

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Rediseño de las plantas de tratamiento aeróbico y anaeróbico
de aguas residuales y creación de programa de educación
ambiental de un complejo comercial y residencial**

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

María Belén Bonifaz Ogarrio,
Mónica Rocío García Alvarez,
Mildred Alejandra Hipp Vásquez y
Julius Andreé Melgar Chávez

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química;

Mónica Elizabeth Jiménez de la Cruz

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química Industrial;

Sofía Landaverde Robles y

María Alejandra Sánchez Rojas

para optar al grafo académico de Licenciadas en Ingeniería Industrial;

Marlen Isabel González Valenzuela y

Mónica Rocío Hernández Cordero

para optar al grado académico de Licenciadas en Psicopedagogía;

Carlo Roberto Martínez Joachin

para optar por el grado de Licenciado en Bioquímica y Microbiología.

Guatemala

2017

**Rediseño de las plantas de tratamiento aeróbico y anaeróbico
de aguas residuales y creación de programa de educación
ambiental de un complejo comercial y residencial**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Rediseño de las plantas de tratamiento aeróbico y anaeróbico
de aguas residuales y creación de programa de educación
ambiental de un complejo comercial y residencial**

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

María Belén Bonifaz Ogarrio,
Mónica Rocío García Alvarez,
Mildred Alejandra Hipp Vásquez y
Julius Andreé Melgar Chávez

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química;

Mónica Elizabeth Jiménez de la Cruz

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química Industrial;

Sofía Landaverde Robles y

María Alejandra Sánchez Rojas

para optar al grafo académico de Licenciadas en Ingeniería Industrial;

Marlen Isabel González Valenzuela y

Mónica Rocío Hernández Cordero

para optar al grado académico de Licenciadas en Psicopedagogía;


Carlo Roberto Martínez Joachin

para optar por el grado de Licenciado en Bioquímica y Microbiología.

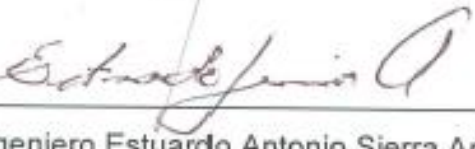
Guatemala


2017

Vo. Bo.

(f) 
Ingeniera Francés Annette Recari Fernández
Coordinadora de Megaproyecto

(f) 
Ingeniero Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano
Director del Departamento de Ingeniería Química

(f) 
Ingeniero Estuardo Antonio Sierra Arias
Director del Departamento de Ingeniería Industrial

(f) 
PhD. Pamela Pennington
Directora del Departamento de Bioquímica y Microbiología

(f) 
Licenciada Carlota Elena Escobar Campollo
Directora del Departamento de Educación Especial y Psicopedagogía

Fecha de Aprobación: Guatemala, 30 de octubre de 2017

PREFACIO

Como grupo, fue interesante participar en el megaproyecto de rediseño de una planta de tratamiento de aguas residuales de un complejo comercial y residencial, pues abrió las puertas a conocer más del tema, así como la perspectiva de otras carreras. Además, nos permitió desarrollar ciertos conceptos relacionados a nuestra área de desarrollo, en relación a un tema que no es el área común de aplicación para algunos.

Fue todo un reto y motivación contribuir con otros compañeros y aprender temas que no habían sido vistos, o bien que solo se tenían conceptos superficiales. Nos permitimos colaborar en conjunto, con el fin de agilizar el proceso de rediseño así como aprender nuevas técnicas e información relacionada con los módulos individuales.

Gracias a los padres de familia por su apoyo incondicional a lo largo del desarrollo del proyecto. Así como a el Ing. José Guillermo Rivera, Ing. Cristina Ericastilla, Ing. Jaime Rosales, Ing. Andrés Chicol, Ing. Dalia Lau, Licda. Silvia Charuco e Ing. Frances Recari, por su apoyo intelectual, revisiones y asesoramiento de los módulos de trabajo. Además agradecemos la ayuda y cooperación del M.Sc.Ing Zenon Much y Laboratorios Doctora Alba Tabarini, por su apoyo durante el proyecto.

CONTENIDO

PREFACIO	xi
LISTA DE CUADROS	xxv
LISTA DE FIGURAS	xxxvii
RESUMEN	xxliii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
A. Objetivo general de megaproyecto	3
B. Objetivos generales de los módulos	3
C. Objetivos específicos	4
III. JUSTIFICACIÓN	9
IV. MARCO TEÓRICO	11
A. Tipos de plantas de tratamiento	11
B. Métodos de tratamiento de aguas residuales	13
C. Caracterización de la materia orgánica agregada en aguas residuales	15
1. Análisis microbiológico del agua.	15
2. Bacterias coliformes.	16
3. Bacteriófagos.	18
4. Análisis fisicoquímico del agua	20
5. Metales pesados	21
6. Nitrógeno.	21
7. Fósforo	22
8. Contaminantes orgánicos.	23
9. Compuestos orgánicos solubles	23
10. Productos secundarios de desinfección	23
11. Pesticidas y agroquímicos	24
12. Compuestos orgánicos emergentes	24
D. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	25
E. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	26
1. Bases para la prueba de DBO5	26
2. Procedimiento de la prueba de DBO5	26
F. Relación DBO/DQO	27
G. Medición y estimación de caudal	27

1.	Canal Parshall.....	27
2.	Punto de medición y cálculo de caudal.....	29
3.	Composición del caudal de agua residual doméstica vertida en sistemas de recolección.....	30
4.	Estimación de crecimiento de caudal.....	30
H.	Pretratamiento.....	31
1.	Tamizaje y sistema de remoción de sólidos.....	31
2.	Remoción de grasas y aceites.....	34
3.	Homogenización de caudal.....	35
I.	Tratamiento primario.....	36
1.	Sedimentación.....	36
J.	Tratamiento secundario.....	38
1.	Tratamiento biológico de aguas residuales.....	38
2.	Tratamiento anaeróbico.....	40
3.	Tratamiento aeróbico.....	45
4.	Transferencia de oxígeno.....	48
5.	Nitrificación biológica.....	56
K.	Tratamiento terciario.....	59
1.	Tratamiento aeróbico.....	59
2.	Eliminación de sólidos suspendidos.....	66
3.	Tratamiento anaeróbico.....	73
L.	Tratamiento cuaternario.....	77
1.	Factores que influyen en el tratamiento cuaternario.....	77
2.	Mecanismos de desinfección.....	78
3.	Tratamiento anaeróbico.....	85
M.	Caudal.....	87
N.	Porcentaje de remoción.....	88
O.	Tanques agitados.....	88
1.	Impulsores agitados.....	89
P.	Válvulas.....	92
1.	Válvulas de compuerta y válvulas de globo.....	93
2.	Válvulas de pistón y de bola.....	94
Q.	Bombas.....	94

1.	Bombas centrífugas.....	94
2.	Consumo de potencia.....	95
3.	Eficiencia.....	95
4.	Curvas características.....	95
5.	Potencia requerida.....	96
6.	Elevación de succión y cavitación.....	96
7.	Selección de bombas.....	97
R.	Presión en un fluido.....	98
1.	Presión media o promedio de las presiones.....	98
2.	Presión hidrostática.....	98
3.	Presión hidrodinámica.....	99
4.	Presión de vapor.....	99
S.	Caídas de presión en tubería.....	103
1.	Caídas de presión por accesorios.....	104
T.	Tratamiento de lodos.....	105
1.	Definición y tipos de lodos.....	105
2.	Operaciones preliminares.....	106
3.	Espesado.....	106
4.	Estabilización.....	108
5.	Compostaje.....	109
6.	Digestión anaeróbica.....	109
7.	Digestión aeróbica.....	114
8.	Acondicionamiento.....	115
9.	Deshidratación.....	115
10.	Eras o patios de secado.....	116
11.	Disposición final.....	118
12.	Aplicación a los suelos.....	118
13.	Valorización energética.....	119
U.	Transporte de Lodos.....	119
1.	Bombas.....	119
V.	Manejo de recurso hídrico en Guatemala.....	123
W.	Tratamiento de aguas residuales.....	124
1.	Tratamiento de aguas residuales y el medio ambiente.....	125
2.	Impacto ambiental.....	125
3.	Uso consciente de recursos hídricos.....	127

4.	Trampas de grasa.....	128
5.	Servicio de alcantarillado.....	129
X.	Normas y marcos legales.....	129
Y.	Educación ambiental.....	130
1.	Educación.	130
2.	Educación ambiental	131
3.	Principios.	131
4.	Objetivos de la educación ambiental.....	132
Z.	Cultura.....	133
1.	Cultura ambiental.....	133
2.	Etapas de la educación para transformar la cultura ambiental.	134
3.	Desarrollo sustentable de la educación y cultura ambiental.	135
AA.	Andragogía	136
1.	Diseño del proceso de capacitación.....	137
2.	Ciclo y proceso de capacitación.	138
3.	Diagnóstico de necesidades.....	138
4.	Observaciones.....	139
5.	Entrevistas.....	140
6.	Programación de capacitación.	140
7.	Planificación.....	140
8.	Ejecución.	140
9.	Evaluación y control.....	141
10.	Seguimiento.....	141
11.	Estrategias de comunicación y aprendizaje.	142
BB.	Manuales	143
1.	Manual de operaciones.	144
2.	Manual de mantenimiento.	144
CC.	Presupuesto.....	145
DD.	Seguridad ocupacional	146
1.	Equipo de protección.	148
V.	ANTECEDENTES.....	149
A.	Complejo comercial y residencial	155
VI.	METODOLOGÍA	157

A.	Módulo 1: Análisis de la calidad del agua comparando el método de tubos múltiples y un método con bacteriófagos.	157
1.	Equipo.....	157
2.	Reactivos	157
3.	Método de tubos múltiples.....	157
4.	Método con Bacteriófagos	159
5.	Metales pesados.....	160
6.	Nitrógeno total	160
7.	Fósforo total.....	160
8.	DQO.....	160
9.	DBO	160
B.	Módulo 2: Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica de un complejo comercial y residencial.	161
1.	Etapla preliminar de investigación.....	161
2.	Análisis técnico de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica del complejo comercial y residencial	161
3.	Rediseño de la etapa de pre-tratamiento	163
4.	Re diseño de la etapa de tratamiento secundario (tratamiento biológico).	164
C.	Módulo 3: Rediseño de tratamientos terciario y cuaternario de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial	166
D.	Módulo 4: Rediseño de tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial	171
1.	Proyección del caudal a un tiempo de 15 años.....	171
2.	Rediseño de la caja de rejillas de limpieza manual.....	171
3.	Dimensionamiento de la trampa de grasas y aceites.....	172
4.	Elección del medidor de caudal.....	172
5.	Rediseño del tratamiento primario.....	172
6.	Dimensionamiento del tratamiento secundario	173
E.	Módulo 5: Rediseño del tratamiento terciario y desinfección de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial	173
1.	Caracterización de agua residual.	173
2.	Evaluación técnica de la planta anaerobia.	174
3.	Propuesta de tratamiento terciario.	174
4.	Diseño de equipos de la etapa terciaria.	176

5.	Diseño de equipos de la etapa de desinfección. Se propuso y diseñó un sistema de cloración como tratamiento de desinfección.	179
6.	Determinación del cumplimiento del artículo 35 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos”.	180
F.	Módulo 6: Rediseño del tratamiento de lodos y patio de secado de las plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica de un complejo comercial y residencial.....	181
1.	Rediseño del tratamiento de lodos	181
2.	Análisis de metales pesados para cumplimiento de parámetros según Acuerdo gubernativo 236-2006 (Análisis externo, soluciones analíticas).	184
G.	Módulo 7: Análisis de costos, operativo y de mantenimiento del rediseño de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial	185
1.	Análisis del estado de la PTAR	185
2.	Presupuesto a partir del rediseño de la PTAR	1855
3.	Elaboración del manual de operación y mantenimiento.....	186
H.	Módulo 8: Presupuesto de rediseño y elaboración de manuales de operaciones y mantenimiento	186
1.	Evaluación de la planta de tratamiento anaeróbica	186
2.	Cotización	1866
3.	Investigación	187
4.	Elaboración de presupuesto del rediseño	187
5.	Elaboración de manuales de operación	187
I.	Módulo 9: Propuesta de programa educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido al personal administrativo del complejo comercial y residencial	188
1.	Alcances.	189
2.	Limitaciones.	189
3.	Metodología.	189
J.	Módulo 10: Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido a los trabajadores de restaurantes y quioscos de un complejo comercial y residencial	195
1.	Muestreo y unidad de análisis.	196
2.	Técnicas de Investigación.	196
3.	Metodología	196

VII.	RESULTADOS.....	201
A.	Módulo 1: Análisis de la calidad del agua comparando el método de tubos múltiples y un método con bacteriófagos	201
B.	Módulo 2: Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica de un complejo comercial y residencial	205
C.	Módulo 3: Rediseño de tratamientos terciario y cuaternario de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial	214
D.	Módulo 4: Rediseño de tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial	218
E.	Módulo 5: Rediseño del tratamiento terciario y desinfección de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial	221
1.	Porcentaje de remoción de bacterias Bioremove 5100.....	221
2.	Propuesta y dimensiones de los equipos de la etapa terciaria	222
3.	Propuesta y dimensiones de los equipos de la etapa de desinfección	225
4.	Porcentajes de remoción teóricos finales de parámetros	227
F.	Módulo 6: Rediseño del tratamiento de lodos y patio de secado de las plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica de un complejo comercial y residencia	228
G.	Módulo 7: Análisis de costos, operativo y de mantenimiento del rediseño de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial	231
1.	Manual de operaciones	231
2.	Perfil de puesto del operario.....	237
3.	Costos del rediseño	239
H.	Módulo 8: Presupuesto de rediseño y elaboración de manuales de operaciones y mantenimiento	242
1.	Manual de operaciones	242
2.	Manual de mantenimiento	261
3.	Presupuesto.....	281
I.	Módulo 9: Propuesta programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido al personal administrativo del complejo comercial y residencial	286
1.	Diagnóstico de necesidades de capacitación	286
2.	Análisis de información.....	295
3.	Diseño inicial de la propuesta del programa de educación ambiental	296
4.	Evaluación	296

J.	Módulo 10: Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido a los trabajadores de restaurantes y quioscos de un complejo comercial y residencial.	296
VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	301
A.	Módulo 1: Análisis de la calidad del agua comparando el método de tubos múltiples y un método con bacteriófagos	301
B.	Módulo 2: Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica de un complejo comercial y residencial	309
C.	Módulo 3: Rediseño de tratamientos terciario y cuaternario de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial	315
D.	Módulo 4: Rediseño de tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial	320
E.	Módulo 5: Rediseño del tratamiento terciario y desinfección de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial	326
F.	Módulo 6: Rediseño del tratamiento de lodos y patio de secado de las plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica de un complejo comercial y residencial.....	331
G.	Módulo 7: Análisis de costos, operativo y de mantenimiento del rediseño de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial	338
H.	Módulo 8: Presupuesto de rediseño y elaboración de manuales de operaciones y mantenimiento	343
I.	Módulo 9: Propuesta programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido al personal administrativo del complejo comercial y residencial	345
J.	Módulo 10: Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido a los trabajadores de restaurantes y quioscos de un complejo comercial y residencial.	346
IX.	CONCLUSIONES	347
X.	RECOMENDACIONES	357
XI.	BIBLIOGRAFÍA	363
XII.	ANEXOS I	381
A.	Número de tubos positivos para método de tubos múltiples y conteo de placas para método de bacteriófagos.....	381
XIII.	ANEXOS II	383
A.	Resultados de la medición de caudal y caracterización del afluente de aguas residuales	383

B.	Datos originales	387
C.	Cálculos de muestra	388
1.	Estimación del caudal de diseño	388
2.	Dimensionamiento del canal de rejillas	390
3.	Dimensionamiento de la trampa de grasas	391
4.	Dimensionamiento del tanque homogeneizador	392
5.	Dimensionamiento del tanque de aireación	393
6.	Sistema de aireación para el tanque aireador	396
D.	Datos calculados.....	397
E.	Datos para el diseño del canal Parshall.....	402
F.	Datos habituales de caudales de agua residual doméstica	405
G.	Factor de fricción para tuberías circulares.....	408
H.	Artículos competentes del Acuerdo Gubernativo 236-2006	409
XIV.	ANEXOS III	411
A.	Datos Originales.....	411
B.	Cálculos de muestra	413
1.	Tanque anóxico	413
2.	Remoción de fósforo.....	414
3.	Clarificador secundario	415
4.	Cámara de contacto	417
5.	Equipos auxiliares.....	417
C.	Datos calculados.....	419
D.	Ficha técnica de varios modelos de clarificador secundario de alta tasa con placas inclinadas de la cual se seleccionó el HQI-CLA-84LP	422
XV.	ANEXOS IV	427
A.	Valores generales para las partículas del sedimentador primario.....	427
B.	Datos generales del consumo energético en Guatemala.....	427
C.	Datos empleados para el cálculo de bombas y tuberías	427
D.	Calculos de muestra	428
1.	Caudal de diseño.....	428
2.	Rejillas de limpieza manual	430
3.	Trampa de grasas.....	430
4.	Sedimentador primario	430
5.	Filtro anaerobio.....	432
6.	Tuberías.....	434

E.	Datos calculados	435
F.	Planos	436
XVI.	ANEXOS V	443
A.	Datos originales	443
B.	Evaluación técnica	445
1.	Datos densidad	445
2.	Datos concentración de sustrato nitrógeno total	446
C.	Cálculos de muestra	446
1.	Porcentaje de remoción de nitrógeno total	446
2.	Dimensionamiento de tanques agitados.	446
3.	Rugosidad tubería de PVC	448
4.	Pérdidas por fricción en tubería de lado de succión de bomba	448
5.	Caída de presión por accesorios en el lado de la succión de la bomba	449
6.	Cabeza de velocidad	449
7.	Cabeza dinámica de succión	450
8.	Cabeza estática de succión	450
9.	Presión de succión	450
10.	Cabeza máxima	450
11.	Potencia y eficiencia	451
12.	Presión de vapor	451
13.	Cabeza de succión neta positiva	452
D.	Manuales de procedimientos y equipos	453
1.	Colorímetro marca HACH DR890	453
2.	Prueba de densidad	461
E.	Bacterias 300 BG MAX marca Novozymes	462
F.	Ficha técnica de cisterna Rotoplas 5,000 L	464
G.	Planos y equipos	465
XVII.	ANEXOS VI	473
A.	Datos originales	473
B.	Datos de placa	476
C.	Cálculos de muestra	476
1.	Masa neta de tejido celular diario en la planta de tratamiento aeróbica.	476
2.	Determinación de la gravedad específica de los lodos en la entrada del digestor para la planta de tratamiento aeróbica.	476

3.	Volumen del digestor convencional.....	477
4.	Cantidad de metano producido en el digestor.....	477
5.	Cantidad de gas total producido en el digestor.....	477
6.	Determinación de energía producida a partir del gas producido.....	477
7.	Porcentaje de estabilización de los lodos en el digestor convencional con 30 días de retención a partir de la cantidad de DBO reducida.....	478
8.	Determinación del área individual del patio de secado de lodos.....	478
9.	Cantidad de agua evaporada diariamente en el patio de secado en la planta aeróbica.....	478
10.	Cantidad de lixiviados diarios en el patio de secado.....	478
11.	Determinación de la bomba de extracción de lodos de la planta aeróbica hacia el patio de secado.....	478
D.	Datos calculados.....	479
E.	Especificaciones de tuberías.....	481
F.	Figuras del rediseño de equipos del tratamiento de lodos.....	482
G.	Imágenes de la planta de tratamiento de aguas residuales actual.....	485
XVIII.	ANEXO VII.....	487
A.	Estado actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): aerobia.....	487
B.	Cotizaciones.....	490
1.	Cotización de pérgola para patio de lodos y escaleras por Artes en Metal.....	490
2.	Cotización de pérgola para patio de lodos por Inmeco.....	491
3.	Cotización de difusores de burbuja fina por ecodena.....	492
4.	Referencia de precio de un soplador para el aireador, compra por amazon.....	493
5.	Cotización de clarificador con paletas inclinadas.....	494
6.	Cotización de bomba dosificadora de cloro por Mapeco.....	495
7.	Cotización de termocupla por Inresa.....	495
8.	Cotización de cal hidratada por EPA.....	496
9.	Cotización de extracción de lodos.....	497
10.	Cotización de análisis de laboratorio y medición de caudal.....	498
11.	Carta del Ingeniero civil Alfredo Jiménez.....	499
12.	Cotización tanque 22,000 L.....	500
13.	Cotización agitador 1 HP.....	502
14.	Cotización agitador 1.5 HP.....	503
15.	Listado de precios de válvulas Amanco.....	504
16.	Listado de precios tubería Amanco.....	505
17.	Cotización bomba dosificadora.....	506

18.	Cotización bomba centrífuga ¾ HP	507
19.	Cotización bomba centrífuga 1 HP	507
20.	Cotización análisis de laboratorio	508
C.	Cálculos de costos	509
XIX.	ANEXOS VIII	513
A.	Entrevista Jefe de Operaciones	513
B.	Encuesta a restaurantes y quioscos de alimentos	514
C.	Bifolear trampas de grasa	515
1.	Validación de herramienta	515
2.	Propuesta de capacitación	515
XX.	ANEXOS IX	517
A.	Entrevista Jefe de Operaciones	517
B.	Encuesta modalidad presencial Departamento de Recursos Hídricos	518
C.	Encuestas en línea personal administrativo	520
D.	Bifoliar alcantarillado	522
XXI.	GLOSARIO	525

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Algunas enfermedades bacterianas transmitidas por agua.....	16
Cuadro 2. Antibióticos medicamentos que pueden ser contaminantes orgánicos emergentes.....	24
Cuadro 3. Productos domésticos/industriales y hormonas sexuales/esteroidales que pueden ser contaminantes orgánicos emergentes	25
Cuadro 4: Periodo de diseño de la captación de agua superficial.	30
Cuadro 5. Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual.	33
Cuadro 6. Tiempos de retención hidráulica de las aguas residuales en una trampa de grasas según el rango de flujos de entrada.....	35
Cuadro 7. Valores típicos para las constantes empíricas a 20 °C.....	36
Cuadro 8. Composición del biogás producido en el tratamiento anaerobio de aguas residuales.....	43
Cuadro 9. Características del metano producido en tratamientos anaerobios.....	43
Cuadro 10. Velocidades típicas en tuberías de aireación.	53
Cuadro 11. Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios de tubería con cuerda estándar.	55
Cuadro 12. Valores comunes de pérdidas de cabeza debido a filtros de aire, silenciadores y válvulas de cheque.....	55
Cuadro 13. Coeficientes cinéticos para bacterias heterotróficas en procesos de lodos activados a 20°C.	58
Cuadro 14. Coeficientes cinéticos para la nitrificación en procesos de lodos activados a 20°C.	58
Cuadro 15. Parámetros de diseño típicos para el proceso Ludzack-Ettinger Modificado (MLE) para la remoción de nitrógeno.	59
Cuadro 16. Productos de la familia del cloro que se pueden encontrar en el mercado.....	81
Cuadro 17. Clasificación de baffles de acuerdo con su rendimiento.....	83
Cuadro 18. Eliminación o destrucción de bacterias mediante diversos procesos de tratamiento.	85
Cuadro 19. Dosis para diversas aplicaciones de la cloración en la recogida, tratamiento y evacuación del agua residual.	87

Cuadro 20. Constantes de la ecuación de Antoine para las presiones de vapor de especies puras (ecuación de Antoine con p en kPa y T en K).	100
Cuadro 21. Coordenadas para la obtención de la viscosidad de líquidos.....	101
Cuadro 22. Rugosidad de tuberías comerciales.....	104
Cuadro 23. Coeficientes para pérdidas de presión por accesorios	104
Cuadro 24. Riesgos y acciones preventivas en una PTAR.	147
Cuadro 25. Equipo de protección.	148
Cuadro 26. Caracterización de las aguas residuales del centro comercial y residencial estudiado.....	149
Cuadro 27. Parámetros de diseño para el clarificador secundario instalado en la planta de tratamiento de aguas residuales en el centro comercial y residencial estudiado.....	151
Cuadro 28. Cristalería y equipo utilizado para la realización del método de Test 'N Tube 10071/10072 del equipo HACH.	175
Cuadro 29. Elementos que conforman el sistema simulado	175
Cuadro 30. Equipos y sustancias utilizadas para la medición de la densidad	177
Cuadro 31. Análisis de calidad fisicoquímica del agua resultante del tratamiento.....	201
Cuadro 32. Análisis de calidad microbiológica del agua recolectada el 10 de julio con el método de tubos múltiples	201
Cuadro 33. Análisis de calidad microbiológica del agua recolectada el 24 de agosto con el método de tubos múltiples	201
Cuadro 34. Análisis de calidad microbiológica del agua recolectada el 4 de septiembre con el método de tubos múltiples	202
Cuadro 35. Unidades formadoras de placa determinadas con el método de bacteriófagos para las muestras filtradas de agua.....	202
Cuadro 36. Comparación del caudal actual y el caudal proyectado a 15 años con una tasa de crecimiento poblacional de 5% anual.	205
Cuadro 37. Porcentaje de reducción de la DBO ₅ en el tanque de aireación durante el proceso de aireación extendida.....	205
Cuadro 38. Tiempos de retención hidráulica en cada equipo diseñado para las etapas de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.	205
Cuadro 39. Especificaciones técnicas del soplador necesario para la cumplir con el requerimiento de oxígeno en el tanque de aireación.....	212

Cuadro 40. Especificaciones técnicas de los difusores de membrana y tuberías utilizados para el sistema de aireación del tanque aireador	212
Cuadro 41. Características del efluente del tanque de aireación, luego de un proceso de crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno de tipo Ludzack-Ettinger Modificado (MLE).....	212
Cuadro 42. Parámetros del diseño del tanque pre-anóxico para la remoción de nitrógeno en la planta de tratamiento aeróbico.....	215
Cuadro 43. Dimensiones del tanque pre-anóxico para la remoción de nitrógeno en la planta de tratamiento aeróbica	215
Cuadro 44. Concentración de fósforo removido por microorganismos heterótrofos y concentración de fosforo en el efluente	215
Cuadro 45. Parámetros del rediseño del clarificador secundario de tipo alta tasa con placas inclinadas	215
Cuadro 46. Dimensiones del clarificador secundario de tipo alta tasa con placas inclinadas	216
Cuadro 47. Materiales de construcción del clarificador secundario de tipo alta tasa con placas inclinadas	216
Cuadro 48. Parámetros del rediseño de la cámara de contacto para realizar la desinfección en la planta de tratamiento aeróbico.....	216
Cuadro 49. Dimensiones de la cámara de contacto para realizar la desinfección en la planta de tratamiento aeróbico	216
Cuadro 50. Datos del rediseño de la cámara de mezclado para realizar la desinfección.....	216
Cuadro 51. Requerimientos para realizar la desinfección de las aguas residuales a partir de hipoclorito de sodio	217
Cuadro 52. Posicionamiento en el tanque y dimensiones de la turbina de cuchillas y de discos para el tratamiento anóxico y de desinfección, respectivamente	217
Cuadro 53. Especificaciones adicionales para la turbina de cuchillas y de discos del tanque anóxico y cámara de mezclado, respectivamente	217
Cuadro 54. Datos de la bomba para la recirculación y purgado de lodos activados	217
Cuadro 55. Comparación entre el caudal de diseño de la planta anaerobia actual de tratamiento de aguas residuales con el caudal de rediseño de la planta proyectado a 15 años con una tasa de crecimiento anual del 5%.	218
Cuadro 56. Dimensiones de la trampa de grasas propuesta para colocar en el canal de entrada de la planta de tratamiento anaerobia.	218

Cuadro 57. Parámetros de diseño de cada uno de los sistemas de rejillas de limpieza manual a ser instalados en el canal de entrada de la planta de tratamiento anaerobia.	218
Cuadro 58. Dimensiones de la canaleta tipo Parshall a instalar en el canal de entrada de la planta anaerobia de tratamiento de aguas residuales.	219
Cuadro 59. Comparación de las dimensiones y parámetros de operación de dos tipos de tanques de sedimentación primaria para la planta anaerobia de tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial.	219
Cuadro 60. Velocidad lineal y de arrastre de las partículas en el tanque sedimentador primario.	219
Cuadro 61. Dimensiones y características del filtro anaerobio de flujo ascendente de la planta de tratamiento de aguas residuales anaerobia del complejo comercial y residencial.	220
Cuadro 62. Características del afluente de agua que abandona el tratamiento biológico de los filtros anaerobios.	220
Cuadro 63. Subproductos generados en el tratamiento biológico con filtros anaerobios de la planta de tratamiento de aguas residuales.	220
Cuadro 64. Porcentaje de remoción de sustrato (nitrógeno total) monitoreado durante 6 horas	221
Cuadro 65. Cumplimiento del parámetro máximo permisible de nitrógeno total establecido en el artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” según porcentaje de remoción de diseño.....	222
Cuadro 66. Resumen de equipos y accesorios propuestos para la etapa terciaria	222
Cuadro 67. Especificaciones técnicas de bomba dosificadora para la dosificación de las bacterias BioRemove 5100.....	223
Cuadro 68. Medidas de 2 tanques agitados cilíndricos verticales de polietileno (Biorreactores) propuestos para la etapa terciaria	223
Cuadro 69. Medidas de dos agitadores verticales de turbina de 6 palas propuestos para los biorreactores de la etapa terciaria	223
Cuadro 70. Características de dos motores de agitadores propuestos para los bioreactores de la etapa terciaria.....	224
Cuadro 71. Características técnicas de una bomba centrífuga propuesta para los bioreactores de la etapa terciaria.....	224
Cuadro 72. Resumen de equipos propuestos para la etapa de desinfección	225

Cuadro 73. Especificaciones técnicas de bomba dosificadora para la dosificación de solución de hipoclorito de calcio	225
Cuadro 74. Medidas de un tanque agitado cilíndrico vertical de polietileno propuesto para la etapa de desinfección	226
Cuadro 75. Medidas de un agitador vertical de turbina de 6 palas propuesto para el tanque agitado de la etapa de desinfección	226
Cuadro 76. Características técnicas de un motor de agitador propuesto para el tanque agitado de la etapa de desinfección	226
Cuadro 77. Cumplimiento de límites máximos permisibles de coliformes fecales con diseño propuesto de la etapa de desinfección	227
Cuadro 78. Cumplimiento de límites máximos permisibles para agua de reuso tipo V: reuso recreativo	227
Cuadro 79. Dimensiones y parámetros de diseño del digestor anaeróbico de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica	229
Cuadro 80. Dosificación de cal específica para la cantidad de lodos generados diariamente ...	229
Cuadro 81. Dimensiones y parámetros de diseño del patio de secado de las plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica	229
Cuadro 82. Diseño del método de extracción para la evacuación de lodos de la planta aeróbica y anaeróbica.....	229
Cuadro 83. Comparación de la concentración de metales pesados en los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica actual con parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.	230
Cuadro 84. Comparaciones de niveles de macronutrientes de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica actual con el porcentaje de nutrientes ideal y valores típicos de lodos estabilizados.....	230
Cuadro 85. Comparaciones de niveles de micronutrientes de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica actual con la concentración de nutrientes ideal	230
Cuadro 86. Hoja de registro de limpieza.....	237
Cuadro 87. Hoja de registro de mantenimiento	237
Cuadro 88. Hoja de registro de caracterización del agua residual	237
Cuadro 89. Perfil del puesto del operario.	238

Cuadro 90. Comparación entre el precio unitario dado por el Ing. Jiménez y los precios de la cámara de construcción de Guatemala	239
Cuadro 91. Costo del equipo de obra gris rediseño, construyendo el total de los equipos.	239
Cuadro 92. Costo del equipo de obra gris del rediseño, construyendo a partir de la planta ya existente.	240
Cuadro 93. Costos del equipo propuesto para el rediseño.	240
Cuadro 94. Equipo con mayor porcentaje de representación en el costo total del rediseño	240
Cuadro 95. Comparación entre el costo de extracción de lodos y la utilización de una bomba contemplando el patio de lodos en la superficie	241
Cuadro 96. Costo total del rediseño de la planta de tratamiento aguas residuales aerobia	241
Cuadro 97. Costo de estudios y licencias para realizar la construcción que se requiere para el rediseño.....	241
Cuadro 98. Costo total del rediseño de una PTAR aerobia.....	241
Cuadro 99. Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos	243
Cuadro 100. Componentes mecánicos del sistema	244
Cuadro 101. Descripción caja de rejillas 1	251
Cuadro 102. Descripción caja de lixiviados	252
Cuadro 103. Descripción caja de rejillas 2.....	253
Cuadro 104. Descripción trampa de grasa	254
Cuadro 105. Descripción canaleta Parshal.....	255
Cuadro 106. Descripción tanque sedimentador primario	256
Cuadro 107. Descripción tanque de filtro anaeróbico 1 y 2.....	257
Cuadro 108. Descripción tanque de reducción de nutrientes 1 y 2	258
Cuadro 109. Descripción tanque de desinfección	259
Cuadro 110. Descripción patio de secado de lodos	260
Cuadro 111. Riesgos sanitarios	265
Cuadro 112. Riesgos químicos.....	266
Cuadro 113. Riesgos con gases orgánicos	267
Cuadro 114. Riesgos eléctricos	268
Cuadro 115. Riesgos con equipos pesados	269

Cuadro 116. Causas y soluciones a los problemas más frecuentes de mantenimiento	279
Cuadro 117. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos	280
Cuadro 118. Monitoreo de parámetros biológicos	280
Cuadro 119. Registro caudal	280
Cuadro 120. Registro patio de lodos	281
Cuadro 121. Registro bombas dosificadoras.....	281
Cuadro 122. Registro mantenimiento fases 01-06	281
Cuadro 123. Registro mantenimiento fases 07-012	281
Cuadro 124. Desglose de costos caja de rejillas 1	281
Cuadro 125. Desglose de costos de caja de rejillas 2.....	282
Cuadro 126. Desglose de costos trampa de grasa	282
Cuadro 127. Desglose de costos canaleta Parshall	282
Cuadro 128. Desglose de costos sedimentador primario.....	282
Cuadro 129. Desglose de costos tanques filtro anaeróbico*	283
Cuadro 130. Desglose de costos de patio de secado de lodos	283
Cuadro 131. Costos tanque de reducción de nutrientes	283
Cuadro 132. Costos bombas dosificadoras	283
Cuadro 133. Costos agitadores	284
Cuadro 134. Costos bombas centrífugas	284
Cuadro 135. Costos accesorios	284
Cuadro 136. Costo trámites legales.....	285
Cuadro 137. Clasificación de recursos	285
Cuadro 138. Entrevista semiestructurada, dirigida al jefe de operaciones del complejo	286
Cuadro 139. Participación de colaboradores y departamentos en los cuales laboran	288
Cuadro 140. Población.....	296
Cuadro 141. Narrativa de entrevista semi estructurada al Jefe de operaciones.....	297
Cuadro 142. Número de tubos positivos para la prueba de tubos múltiples para la muestra tomada el 10 de julio.	381
Cuadro 143. Número de tubos positivos para la prueba de tubos múltiples para la muestra tomada el 4 de septiembre.	381

Cuadro 144. Número de tubos positivos para la prueba de tubos múltiples para la muestra tomada el 24 de agosto.....	381
Cuadro 145. Unidades formadoras de placa por mililitro calculadas para cada caja inoculada con las muestras filtradas.	382
Cuadro 146. Normalización del número de placas contadas en cada caja inoculada con las muestras filtradas.....	382
Cuadro 147. Características actuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aeróbica del complejo comercial y residencial.	387
Cuadro 148. Dimensiones del canal de rejillas instalado actualmente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aeróbica.....	387
Cuadro 149. Dimensiones de la trampa de grasas instalada actualmente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aeróbica.....	387
Cuadro 150. Generación de aguas residuales proveniente de la zona residencial.	397
Cuadro 151. Cantidad total de usuarios y generación de agua residual actual por tipo de usuario.....	398
Cuadro 152. Porcentaje de usuarios por tipo de usuario y tipo de negocio	398
Cuadro 153. Cantidad de usuarios por tipo de usuario y tipo de negocio proyectado a 15 años.....	398
Cuadro 154. Generación de aguas residuales (m ³ /d) por tipo de usuario y tipo de negocio proyectado a 15 años.....	399
Cuadro 155. Dimensiones y parámetros de diseño del canal de rejillas de limpieza manual.....	399
Cuadro 156. Dimensiones y parámetros de diseño de la trampa de grasas y aceites.	399
Cuadro 157. Datos obtenidos para el cálculo del tanque de homogeneización.....	400
Cuadro 158. Dimensiones y parámetros de diseño del tanque homogeneizador de caudal.	401
Cuadro 159. Parámetros de diseño del tanque de aireación para llevar a cabo un proceso de crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno de tipo Ludzack-Ettinger Modificado (MLE).	401
Cuadro 160. Volumen y dimensiones del tanque de aireación para llevar a cabo un proceso de crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno de tipo Ludzack-Ettinger Modificado (MLE).	401
Cuadro 161. Rango de caudales de operación en Canales Parshall.....	402
Cuadro 162. Dimensiones típicas (cm) de Canales Parshall.	403

Cuadro 163. Valores del coeficiente λ y el exponente n para calcular el caudal que fluye por un Canal Parshall, en unidades métricas	404
Cuadro 164. Caudales habituales de agua residual de origen residencial descargada a los sistemas de recolección.....	405
Cuadro 165. Caudales habituales de agua residual de fuentes comerciales.....	406
Cuadro 166. Caudales habituales de agua residual de fuentes institucionales.	407
Cuadro 167. Límites máximos permisibles fijados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de la etapa cuatro para parámetros a utilizar en el diseño de los tratamientos terciario y cuaternario	411
Cuadro 168. Datos requeridos del afluente para diseñar los tratamientos terciario y cuaternario	411
Cuadro 169. Concentración de nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos y coliformes fecales en el efluente.....	411
Cuadro 170. Datos de diseño del tanque de aireación necesarios para dimensionar el tanque anóxico, clarificador secundario y calcular la remoción de fósforo	412
Cuadro 171. Datos teóricos usados para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento terciario y cuaternario	412
Cuadro 172. Cálculos intermedios para el dimensionamiento del tanque pre-anóxico de la planta de tratamiento aeróbico	419
Cuadro 173. Cálculos intermedios para la remoción de fósforo.....	419
Cuadro 174. Cálculos intermedios para el dimensionamiento del clarificador secundario de tipo alta tasa con placas inclinadas	420
Cuadro 175. Cálculos intermedios para los diámetros de tuberías de PVC de las corrientes de salida de los tratamientos terciario y cuaternario	420
Cuadro 176. Cálculos intermedios para la potencia de la bomba centrífuga de tipo vórtice	421
Cuadro 177. Parámetros para la determinación de la velocidad de arrastre del tanque sedimentador primario.	427
Cuadro 178. Densidad de consumo por usuario para el 2016 para EEGSA	427
Cuadro 179. Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios de tubería.	427
Cuadro 180. Especificaciones de las tuberías de agua residual y de metano determinadas.	435
Cuadro 181. Especificaciones de la bomba centrífuga calculada para transportar el agua residual del filtro anaerobio al biorreactor de nitrificación y desnitrificación	435

Cuadro 182. Caracterización del afluente de la planta de tratamiento instalada actualmente en el complejo comercial y residencial	443
Cuadro 183. Datos de caudal del afluente de la planta de tratamiento instalada actualmente en el complejo comercial y residencial	443
Cuadro 184. Caracterización del efluente de la planta de tratamiento instalada actualmente en el complejo comercial y residencial	444
Cuadro 185. Datos de caudal del efluente de la planta de tratamiento instalada actualmente en el complejo comercial y residencial	444
Cuadro 186. Cumplimiento de límites máximos permisibles según Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” para la etapa dos del artículo 21 de dicho acuerdo.....	445
Cuadro 187. Datos medidos de densidad de agua residual con dilución de bacterias	445
Cuadro 188. Promedio de densidad de agua residual con dilución de bacterias.....	445
Cuadro 189. Datos medidos de tiempo y concentración de sustrato, nitrógeno total	446
Cuadro 190. Parámetros del Análisis de Aguas realizado por un laboratorio externo de la Planta de Tratamiento Aeróbica del Complejo Comercial y Residencial	473
Cuadro 191. Parámetros de diseño teóricos utilizados en los cálculos de rediseño.....	473
Cuadro 192. Tiempos medios de retención de sólidos recomendados para el diseño de digestores.....	473
Cuadro 193. Datos teóricos para determinar la cantidad de agua evaporada diariamente en el patio de secado	474
Cuadro 194. Flujo de lodos entrante al tratamiento de lodos	474
Cuadro 195. Análisis de nutrientes de los lodos tratados actualmente en la planta de tratamiento aeróbica	474
Cuadro 196. Parámetros físicos para determinación de la humedad de muestras de lodos	474
Cuadro 197. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías	475
Cuadro 198. Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios de tuberías	475
Cuadro 199. Consumo promedio por usuario.....	475
Cuadro 200. Datos de equipo utilizado para determinación de humedad en la simulación del patio de secado nivel laboratorio	476
Cuadro 201. Masa neta de tejido celular diario en la planta de tratamiento aeróbica	479
Cuadro 202. Gravedad específica de los lodos a la entrada y salida del digestor.....	479

Cuadro 203. Caudal de lodos provenientes de etapas previas de la planta aeróbica y anaeróbica	480
Cuadro 204. Volumen diario producido del metano y otros gases en el digestor y energía producida	480
Cuadro 205. Porcentaje de estabilización en el digestor.....	480
Cuadro 206. Cantidad de agua y lodo retirados diariamente de cada uno de los patios de secado.....	480
Cuadro 207. Cantidad de volumen y masa de arena y grava requerida total en el patio de secado.....	480
Cuadro 208. Caracterización física de los lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica actual	480
Cuadro 209. Datos para el cálculo de bombas.....	481
Cuadro 210. Especificaciones de tuberías en el diseño.....	481

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de tratamiento anaeróbico.....	12
Figura 2: Sistema de tratamiento aeróbico.....	13
Figura 3: Diagrama general del tratamiento de aguas residuales.....	15
Figura 4: Método de los tubos múltiples.....	17
Figura 5: Estructura de un bacteriófago.....	18
Figura 6: Ciclo de vida lítico.....	19
Figura 7: Ciclo de vida lisogénico.....	19
Figura 8. Ciclo del nitrógeno.....	22
Figura 9: Ciclo del fósforo.....	23
Figura 10: Partes de un Canal Parshall, vistas de perfil y planta.....	28
Figura 11: Dimensiones del Canal Parshall.....	29
Figura 12. Balance anaerobio de la materia orgánica.....	40
Figura 13. Proceso de crecimiento en suspensión para remoción de nitrógeno Ludzack-Ettinger Modificado.....	59
Figura 14. Tipos de procesos de desnitrificación: A) desnitrificación pre-anóxica y B) desnitrificación post-anóxica.....	61
Figura 15. Curvas de SDR basadas en la concentración de biomasa a 20°C contra F/M_b para varias fracciones de $rbCOD/bCOD$	64
Figura 16. Descripción del sistema de un clarificador de alta tasa.....	67
Figura 17. Diagrama de flujo del clarificador secundario.....	71
Figura 18. Ciclo del Nitrógeno.....	76
Figura 19. Esquema de mediciones de una turbina.....	82
Figura 20: A) Cámara de contacto de tipo serpentín diseñada por Louise y Fohrman y B) Detalle típico de un baffle.....	82
Figura 21. Efecto de la relación Largo/Ancho en t_{10}/t_0	84
Figura 22. Tanque típico del proceso con agitación.....	88
Figura 23. Guía para la selección de agitadores.....	89
Figura 24. Turbina radial de 6 álabes planos tipo Rushton.....	90

Figura 25. Medidas de un agitador de turbina.	91
Figura 26. Correlaciones de potencia para diversos impulsores y deflectores.	92
Figura 27. Curva característica de bomba centrífuga.....	96
Figura 28. Guía de selección de bombas centrífugas	97
Figura 29. Nomograma para viscosidades de sustancias líquidas.....	102
Figura 30. Diagrama de Moody, fricción tubería vs. Número de Reynolds y rugosidad	103
Figura 31. Digestor anaeróbico de una sola fase y alta carga.	112
Figura 32. Típica vista de planta de un patio convencional de arena	117
Figura 33. Coeficiente de rigidez respecto al porcentaje de sólidos de los lodos.	120
Figura 34. Esfuerzo producido respecto al porcentaje de sólidos.	121
Figura 35. Coeficiente de fricción de los lodos suponiendo un comportamiento como plástico de Bingham.	121
Figura 36. Justificaciones para el tratamiento de aguas.	124
Figura 37. Beneficios de la eliminación de contaminates del agua.	125
Figura 38. Cambios ambientales positivos y negativos al tratar las aguas residuales.	126
Figura 39. Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	128
Figura 40. Proceso de la educación en el ser humano.	130
Figura 41. Principios para el desarrollo de la educación ambiental.	132
Figura 42. Objetivos de la educación ambiental	132
Figura 43. Actitudes que implican una cultura ambiental.	134
Figura 44. Etapas de la educación para una cultura ambiental.....	134
Figura 45. Factores sociales que no afectan el ambiente.	135
Figura 46. Ideas fuerza de la Andragogía.....	137
Figura 47. Características del procedimiento de observación.....	139
Figura 48. Niveles de evaluación para los programas de capacitación.	141
Figura 49. Función de los medios visuales.....	143
Figura 50. Clasificación de recursos.	145
Figura 51. Distribución de la planta de tratamiento anaeróbica actual del complejo comercial y residencial.	153

Figura 52. Distribución de la planta de tratamiento anaeróbica actual del complejo comercial y residencial.	154
Figura 53. Guía de Implementación de la Estrategia Global de Comunicación para el cambio Social y de Comportamiento (CCSyC) en el Altiplano de Guatemala en conjunto con USAID y el proyecto C-Change.	189
Figura 54. Metodología.	195
Figura 55. Temperatura de las muestras de agua recolectadas	202
Figura 56. Contenido de nitrógeno total en las muestras de agua recolectadas	203
Figura 57. Contenido de fósforo total en las muestras de agua recolectadas	203
Figura 58. Color de las muestras de agua recolectadas	203
Figura 59. Demanda química de oxígeno de las muestras de agua recolectadas	204
Figura 60. Demanda biológica de oxígeno de las muestras de agua recolectadas	204
Figura 61. Esquema de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales del complejo comercial y residencial rediseñada con una proyección a 15 años.	213
Figura 62. Diagrama de flujo de tratamientos terciario y cuaternario.....	214
Figura 63. Primera aproximación de la expresión cinética de la remoción del Nitrógeno Total con Bacterias BioRemove 5100 marca Novozymes®.....	221
Figura 64. Diagrama de flujo del tratamiento de lodos	228
Figura 65. Diagrama de procesos: Proceso de tratamiento de aguas residuales en una planta aerobia	231
Figura 66. Fases del tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial.	244
Figura 67. Diagrama de Operaciones de la PTAR del complejo comercial y residencial	245
Figura 68. Fase 01 Caja de rejillas 1	246
Figura 69. Fase 02 Caja de lixiviados	246
Figura 70. Fase 03 Caja de rejillas 2	246
Figura 71. Fase 04 Trampa de grasa	247
Figura 72. Fase 05 Canaleta Parshall	247
Figura 73. Fase 06 Tanque sedimentador primario.....	247
Figura 74. Fase 07 y 08 Tanque de filtro anaeróbico	248
Figura 75. Fase 09 y 010 Tanque de reducción de nutrientes	248

Figura 76. Fase 011 Tanque de desinfección.....	249
Figura 77. Fase 012 Patio de secado de lodos	249
Figura 78. Rombo de seguridad	270
Figura 79. Colador para trampa de grasa.....	274
Figura 80. ¿Sabe cuál es la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales?	288
Figura 81. ¿Identifica cómo opera actualmente la planta tratamiento de aguas residuales?	289
Figura 82. ¿Sabe usted de la situación actual acerca del recurso hídrico en Guatemala?	289
Figura 83. ¿Cuál es la legislación nacional referente al agua potable y qué aspectos monitorea?	289
Figura 84. ¿Qué es un balance hídrico?.....	290
Figura 85. ¿Podría indicar alguna medida de mitigación sencilla de implementar, que permita mejorar la situación actual sobre la falta de lluvia?	290
Figura 86. ¿Sabe usted acerca de las políticas de la empresa sobre el tema de gestión de aguas residuales?	290
Figura 87. Proponga al menos dos políticas que puedan ser implementadas de manera inmediata y que requieran baja inversión de recursos económicos	291
Figura 88. ¿Sabe cuál es la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales?	291
Figura 89. ¿Ha visitado la planta de tratamiento de aguas residuales?.....	292
Figura 90. ¿Sabe usted cómo opera actualmente la planta de tratamiento?.....	292
Figura 91. ¿Sabe usted la situación actual acerca del recurso hídrico en Guatemala?	293
Figura 92. ¿Cuál es la legislación nacional referente al agua potable?	293
Figura 93. ¿Qué es un balance hídrico?.....	294
Figura 94. ¿Podría indicar alguna medida de mitigación sencilla de implementar, que permita mejorar la situación actual sobre la falta de lluvia?	294
Figura 95. ¿Conoce usted las políticas de la empresa sobre el tema de gestión de aguas residuales?	295
Figura 96. Indique cuál de estas políticas puede ser implementada de manera inmediata y que requiere baja inversión de recursos económicos	295
Figura 97. Conocimiento sobre el término de educación ambiental.....	297
Figura 98. Conocimiento sobre cultura ambiental y el beneficio que representa para el ambiente.....	298

Figura 99. Restaurantes y quioscos que posee sistema de trampas de grasa	298
Figura 100. Restaurantes y kioscos de alimentos que realizan mantenimiento adecuado de e l sistema de trampas de grasa.....	299
Figura 101. Colaboradores que consideran que un proceso de capacitación sería útil para aprender sobre el cuidado del ambiente.....	299
Figura 102. Gráfica del factor de fricción para tuberías circulares	408
Figura 103. Vista de planta, lateral y corte del tanque anóxico	425
Figura 104. Vista de planta, lateral, frontal y corte de la unidad de desinfección	426
Figura 105. Curvas características empleadas para la elección de la bomba centrífuga.	435
Figura 106. Curva característica dada por proveedor (Marca Sta-Rite, modelo FSNDH)	451
Figura 107. Detalle de bombas dosificadoras para cloro y bacterias	470
Figura 108. Isométrico de bomba dosificadora con fluxómetro (PulsaFeeder Serie C Plus).....	470
Figura 109. Medidas Bomba Dosificadora (PulsaFeeder Serie C Plus).....	470
Figura 110. Panel de control de bomba dosificadora (PulsaFeeder Serie C Plus)	471
Figura 111. Control de capacidad en panel de control (PulsaFeeder Serie C Plus) Detalle Bomba centrífuga.....	471
Figura 112. Ficha técnica de motor de 1 y 1.5 hp marca Siemens	472
Figura 113. Vista lateral, frontal y de planta del digestor convencional de lodos.....	482
Figura 114. Vista lateral, frontal y de planta del patio de secado convencional de arena de lodo.....	483
Figura 115. Cálculo costo caja de rejas 1	509
Figura 116. Cálculo costo caja de rejas 2.....	509
Figura 117. Cálculo trampa de grasa.....	510
Figura 118. Cálculo tanque sedimentador primario.....	510
Figura 119. Cálculo tanque sedimentador primario.....	511
Figura 120. Cálculo filtro anaeróbico circular.....	511
Figura 121. Cálculo patio de secado de lodos.....	512

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el rediseño de las plantas de tratamiento aeróbico y anaeróbico de aguas residuales, así como la creación de un programa de educación ambiental, de un complejo comercial y residencial ubicado en Ciudad de Guatemala. Esto debido a la ineficiencia y mal mantenimiento de las plantas instaladas actualmente en el lugar, lo que ha provocado un tratamiento incompleto de las aguas residuales que se generan, incumpliendo con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006: *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas residuales y de la Disposición de Lodos*. El proyecto constó de una fase preliminar de investigación, en la que se visitó la zona de interés para analizar las condiciones del agua, de los equipos, del mantenimiento, entre otros. Se definió el tipo de tratamiento que se requiere para ambas plantas, así como sus equipos y materiales para su funcionamiento, y se profundizó en la literatura sobre los temas pertinentes para el desarrollo del trabajo. Seguidamente, se llevó a cabo una fase de diseño, en la que se dimensionaron los equipos necesarios para el tratamiento aeróbico y anaeróbico. Así mismo, se diseñó un plano del lugar para establecer la disposición de dichos equipos en el espacio disponible de terreno. Luego, se realizó un análisis de costos y se estableció un presupuesto general para el proyecto. Por último, se creó un programa de educación ambiental para los usuarios de la planta, de manera que sea bien operada y se le de un mantenimiento adecuado.

El trabajo consta de diez módulos: 1) Análisis de la calidad del agua comparando el método de tubos múltiples y un método con bacteriófagos; 2) Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica de un complejo comercial y residencial; 3) Rediseño de tratamientos terciario y cuaternario de la planta de tratamiento de aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial; 4) Rediseño de tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial; 5) Rediseño del tratamiento terciario y desinfección de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial; 6) Rediseño del tratamiento de lodos y patio de secado de las plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica de un complejo comercial y residencial; 7) Análisis de costos, operativo y de mantenimiento, de un rediseño de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial; 8) Presupuesto de rediseño y elaboración de manuales de operaciones y mantenimiento; 9) Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido al personal administrativo del complejo comercial y residencial; 10) Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido a los trabajadores de restaurantes y quioscos de un complejo comercial y residencial.

Al finalizar el trabajo, se logró el rediseño de todos los equipos necesarios para el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento aeróbica y anaeróbica de un complejo comercial y residencial, de manera que se cumplan los parámetros de aguas residuales establecidos en la normativa local. Se logró también la estimación del costo total de ambas plantas y la elaboración de un presupuesto para el proyecto. Se elaboraron manuales de operación y mantenimiento para ambas plantas y, por último, se logró crear una propuesta de programa de educación ambiental para todos los usuarios de la planta.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso limitado y su calidad está bajo presión constante. La calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones. Preservar la calidad del agua es importante para el abastecimiento de agua potable, la producción de alimentos y la conservación de la vida.

De las fuentes de contaminación del agua, las aguas residuales son el mayor contaminante de los cuerpos de agua a nivel mundial. Las aguas residuales son aquellas que resultan después de cualquier actividad doméstica, comercial o industrial, que alteran propiedades como el pH, temperatura, o bien contienen microorganismos, partículas disueltas de algún metal, contaminantes orgánicos o contaminantes inorgánicos.

Debido a los efectos que produce la contaminación de los cuerpos de agua, es necesario minimizarla con la construcción de una infraestructura adecuada conocida como planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Una planta de tratamiento de aguas consiste en una serie de operaciones que busca reestablecer las propiedades del agua para que esta pueda ser utilizada para actividades como riego o consumo

El tratamiento de aguas residuales es una sucesión de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin remover sólidos suspendidos totales, compuestos orgánicos biodegradables, constituyentes inorgánicos disueltos, metales pesados, nutrientes, patógenos y polutantes orgánicos prioritarios que contienen las aguas generadas por las actividades del ser humano. Esto con el propósito de proteger la salud pública, proteger al medio ambiente de la degradación y contaminación, y de reducir los costos de tratamiento logrando reutilizar las aguas y sólidos cerca de su punto de recolección.

El tratamiento se divide en diversas etapas conocidas como: pre-tratamiento, tratamiento primario, primario avanzado, tratamiento secundario, secundario con remoción de nutrientes, tratamiento terciario y tratamiento avanzado, como desinfección y tratamiento de lodos. En el pre-tratamiento se remueven sólidos grandes, arenas, aceites y grasas que podrían causar problemas en los equipos posteriores. El tratamiento primario consiste en la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica. En el tratamiento secundario se llevan a cabo procesos químicos y biológicos para remover la mayor parte de materia orgánica biodegradable y el resto de sólidos suspendidos. Si es necesario, se incluyen los tratamientos avanzados para desinfectar y remover sólidos y otros constituyentes que no se redujeron en las etapas anteriores.

Un complejo comercial y residencial no poseía el diseño adecuado para tratar sus aguas residuales domésticas por lo que se propuso el rediseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica con el propósito de que las plantas cumplan con los requerimientos legales de descarga de agua. Para cada una de las plantas propuestas se elaboraron los manuales de operaciones y mantenimiento, así como un programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico. Además, se determinaron los presupuestos del rediseño de cada una de las plantas.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general de megaproyecto

Rediseñar las plantas de tratamiento aeróbico y anaeróbico de aguas residuales con una proyección al año 2032 y crear un programa de educación ambiental de un complejo comercial y residencial.

B. Objetivos generales de los módulos

- Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales en los meses de Julio a Septiembre y determinar si cumplen con los parámetros de la etapa 4 del Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
- Rediseñar las etapas de pre-tratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales de un complejo comercial y residencial ubicado en la Ciudad de Guatemala, con el fin de mejorar la calidad del agua del efluente.
- Rediseñar y proponer mejoras de los tratamientos terciario y cuaternario de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales de un complejo comercial y residencial por medio de un análisis del diseño actual para mejorar la calidad del agua en el efluente.
- Establecer criterios para el rediseño de las unidades de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario de una planta de depuración de aguas residuales anaeróbica ubicada en un complejo comercial y residencial.
- Rediseñar la etapa terciaria y la etapa de desinfección de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial, ubicado en zona 16 de la ciudad de Guatemala.
- Mejorar y rediseñar el tratamiento de lodos de las plantas de depuración de aguas residuales de tipo aeróbico y anaeróbico de un complejo comercial y residencial realizando un análisis del diseño y mantenimiento actual para obtener propuestas técnicas de mejora.
- Definir el costo de inversión y parámetros de operación y mantenimiento del rediseño de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial para un caudal de 230 m³/día desde una perspectiva industrial.

- Realizar, desde una perspectiva industrial, un análisis de costos, operaciones y mantenimiento para una propuesta de rediseño de una planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales.
- Diseñar un programa de educación ambiental enfocado en la gestión adecuada del recurso hídrico dirigido al personal administrativo de un complejo comercial y de vivienda.
- Diseñar un programa de educación ambiental que contribuya al manejo efectivo del recurso hídrico, para trabajadores de restaurantes y quioscos del complejo comercial.

C. Objetivos específicos

- Determinar si las aguas resultantes del proceso de tratamiento recolectadas en la planta de tratamiento del complejo en los meses de julio a septiembre cumplen con los parámetros de temperatura, pH, materia flotante, nitrógeno y fósforo total, color, DBO, DQO y coliformes totales establecidas en la etapa 4 del artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
- Aislar bacteriófagos e implementar un método que permita utilizarlos como indicadores para evaluar la presencia de coliformes en las aguas tratadas, de modo que la planta de tratamiento del complejo emplee esta prueba para evaluar la calidad microbiológica de las aguas semanalmente.
- Comparar el método de bacteriófagos con el de tubos múltiples para evaluar cuál detecta con más exactitud el número de coliformes fecales en las muestras de aguas tratadas recolectadas en la planta de tratamiento del complejo, de modo que este pueda ser implementado como parte del control de calidad de la planta.
- Determinar las variaciones del caudal de entrada de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales y establecer un nuevo valor para el caudal de diseño considerando un crecimiento del complejo del 5% anual a un plazo de 15 años, solicitado por el complejo.
- Verificar si en el tanque actual de aireación se remueve la cantidad adecuada de materia orgánica, usando una prueba de DBO₅ para los flujos de ingreso y egreso del tanque, y así determinar si el proceso de aireación extendida que se lleva a cabo es el adecuado.
- Construir un diagrama de flujo del proceso para las etapas de pre-tratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario, y proponer un nuevo diseño de los equipos necesarios, de acuerdo con el caudal proyectado a 15 años.

- Determinar y dimensionar un sistema de remoción de nitrógeno considerando aspectos técnicos para cumplir con el límite máximo permisible descrito en el Acuerdo Gubernativo 236-2006: “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”.
- Establecer si es necesaria la instalación de un sistema con condiciones anaerobias para la remoción de fósforo tomando en cuenta el límite permisible de dicho parámetro dentro del reglamento del país.
- Seleccionar un clarificador secundario para la remoción de sólidos suspendidos de acuerdo con el área disponible con la que cuenta actualmente la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales y las características propias de dicha unidad de tratamiento.
- Dimensionar el tratamiento cuaternario según el parámetro de coliformes fecales establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006: “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” para cumplir con el límite máximo en el efluente.
- Determinar y diseñar los equipos auxiliares necesarios para las unidades de tratamiento seleccionadas y para las corrientes de salida de estas.
- Describir y comparar los parámetros de rediseño con las condiciones actuales de las etapas primaria y secundaria de la planta de tratamiento anaerobia .
- Seleccionar los equipos más adecuados para cada etapa con base en la eficiencia y viabilidad de espacio.
- Potencializar la depuración de aguas residuales de una planta de tratamiento anaeróbica ubicada en un complejo comercial y residencial ubicado en la zona 16 de la Ciudad de Guatemala.
- Determinar si las bacterias BioRemove 5100 marca Novozymes® reducen el Nitrógeno Total para el cumplimiento del límite máximo permisible, de dicho parámetro, establecido en el Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”.
- Proponer y dimensionar los equipos para la reducción del parámetro de Nitrógeno Total y así cumplir con el límite máximo permisible, de dicho parámetro, establecido en el Artículo 20 del

Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”.

- Proponer y dimensionar los equipos de desinfección para la reducción del parámetro de Coliformes Fecales y así cumplir con el límite máximo permisible, de dicho parámetro, establecido en el Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”.
- Determinar si el diseño de la etapa de pretratamiento, etapa primaria, etapa secundaria, etapa terciaria y etapa de desinfección cumple con los límites máximos permisibles, de DBO y coliformes fecales, establecidos en el del Artículo 35 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” como aguas para reuso de Tipo V: Reuso Recreativo.
- Proponer técnicas de mejora en el proceso de estabilización en la planta aeróbica y en la deshidratación de ambas plantas a partir de datos teóricos de diseño y muestras de análisis del agua de la planta actual para obtener lodos estabilizados y deshidratados que puedan ser utilizados posteriormente.
- Definir y diseñar el método de extracción de lodos estabilizados de ambas plantas de tratamiento de aguas residuales, analizando el área de ubicación para facilitar su traslado al área de almacenamiento.
- Caracterizar parámetros químicos de los lodos del patio de secado realizando un análisis químico para verificar que se cumpla con los requerimientos del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.
- Evaluar y proponer el reuso de los lodos estabilizados obtenidos del patio de secado de ambas plantas de tratamiento de aguas residuales, realizando un análisis de nutrientes comparando los resultados con los nutrientes necesarios en distintas plantas vegetales para obtener un beneficio de estos como mejorador de suelos en áreas verdes.
- Determinar el costo del rediseño, mantenimiento y operación.
- Elaborar un manual de operaciones, estandarizándolas, para la utilización de los ingenieros encargados.

- Elaborar un manual de mantenimiento.
- Plantear las buenas practicas dentro de la planta.
- Determinar el presupuesto del material y equipo para el rediseño de las plantas de tratamiento anaeróbicade aguas residuales de un complejo comercial y residencial.
- Elaborar el manual de operaciones de los procesos respecto al uso y operación de la planta de tratamiento anaeróbicade aguas residuales rediseñada de un complejo comercial y residencial.
- Elaborar un manual de mantenimiento de la planta de tratamiento anaeróbicade aguas residuales rediseñada de un complejo comercial y residencial.
- Proporcionar herramientas de comunicación que fortalecen la formación de una cultura ambiental en los departamentos administrativos del complejo.
- Planificar talleres de educación ambiental para concientizar sobre el uso adecuado del recurso hídrico.
- Planificar un proceso de capacitación idóneo para el complejo comercial y residencial sobre el manejo del recurso hídrico y que este contribuya al desarrollo sostenible y a la conciencia ambiental.
- Proporcionar recursos materiales y herramientas para fortalecer la cultura ambiental.

III. JUSTIFICACIÓN

El tratamiento de aguas residuales es un proceso necesario en toda industria o comunidad que genera aguas contaminadas, ya que previene la contaminación excesiva del medio ambiente y ayuda a prevenir enfermedades humanas. Esto lleva a la necesidad de diseñar y construir plantas de tratamiento apropiadas para el debido proceso, que cumplan con los parámetros establecidos en normativas locales. Para el caso de Guatemala, se debe cumplir con los parámetros del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006: Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas residuales y de la Disposición de Lodos. Según el Capítulo I, Artículo 1, dicho Reglamento tiene como objetivo principal “establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como la disposición de lodos [...]”. Se busca con esto, proteger los cuerpos receptores de agua, recuperar los cuerpos receptores en proceso de eutrofización, y promover el desarrollo del recurso hídrico. Además, el tratamiento de lodos generados busca reducir el peso y volumen total de los mismos para facilitar su transporte final, estabilizar la materia para conseguir la destrucción de microorganismos, olores desagradables y reducir el potencial de putrefacción.

Los incentivos para mejorar la calidad del agua en el efluente son de carácter legal y ambiental. El Acuerdo Gubernativo mencionado anteriormente aplica a todos los entes generadores de aguas residuales, así como a las personas que descargan sus aguas negras al alcantarillado público; que producen y utilizan aguas residuales para reuso; y a las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos. Por esto, el complejo debe de cumplir con los parámetros establecidos en dicho reglamento, los cuales no se están cumpliendo. El aspecto ambiental se inclina más por una responsabilidad por preservar las características naturales del Río Contreras, el cual es el cuerpo receptor de estas.

El complejo comercial y residencial estudiado cuenta con una planta de tratamiento aeróbica y anaeróbica de aguas residuales. Estas plantas han presentado deficiencias que se deben a dos razones: (1) al dimensionamiento incorrecto y a la falta de unidades de tratamiento básicas; y, (2) al mantenimiento y operación inadecuados. Por dichas razones, es necesario una evaluación exhaustiva del proceso que se lleva a cabo, las condiciones actuales de la planta y el rediseño en cada uno de los tratamientos que conforman las plantas de tratamiento aeróbica y anaeróbica.

Para la mejora de la operación y mantenimiento de ambas plantas se debe contar con manuales. Esta herramienta permite, tanto a los administradores como a los operarios, conocer e implementar técnicas adecuadas. Esto con el fin de contribuir a que el sistema alcance el

máximo aprovechamiento posible para lo que fue diseñado y minimizar el impacto que pueda producir las aguas vertidas. Al mismo tiempo se especifican cuáles son las buenas prácticas que se deben seguir de acuerdo al tipo de proceso de tratamiento y se recopilan los lineamientos básicos a seguir para cumplir las normas ambientales e incluso prolongar la vida útil de la planta. Además, se debe realizar un presupuesto para obtener la información financiera y de esta forma tomar decisiones económicas respecto a la inversión necesaria para la construcción del rediseño de la planta.

Es importante crear iniciativas culturales y educativas que promuevan el cuidado del agua dentro de los distintos entornos para poder hacer uso de ellos adecuada y conscientemente. Al emprender esta tarea se podrá contribuir a la creación y sostenibilidad de un ambiente sano y limpio, generando una cultura ambiental necesaria, a través de la educación y capacitación de las personas para crear nuevas prácticas de vida que puedan garantizar un uso apropiado y consciente del recurso hídrico.

Se presenta la propuesta de un programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido tanto al personal administrativo como a los trabajadores de restaurantes y quioscos del complejo comercial. Esta pretende, con el diseño y planificación de la capacitación, orientar, modificar y mejorar las acciones de los comercios del complejo para lograr prácticas de uso adecuado del recurso hídrico. A través del programa educativo que incluye evaluación, sensibilización, diseño de capacitaciones utilizando herramientas y materiales, se pretende generar conciencia, promover acciones coherentes para actuar de manera crítica y asertiva de forma individual y en la convivencia de unos y otros. La educación es la clave para alcanzar estas metas sustentadas en teoría y práctica.

IV. MARCO TEÓRICO

Según el Diccionario de la Lengua Española (2014), se define agua residual como: “agua que procede de viviendas, poblaciones o zonas industriales y arrastra suciedad y detritus.” Otra definición, según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006: *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, explica el término de aguas residuales como: “las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas”. El término es equivalente a aguas negras, aguas servidas y aguas albañales.

El tratamiento de aguas residuales es cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006). Los principales constituyentes de interés para remover en el tratamiento son: sólidos suspendidos totales, compuestos orgánicos biodegradables, organismos patógenos, constituyentes inorgánicos disueltos, metales pesados, nutrientes y polutantes orgánicos prioritarios. De estos, los primeros tres son de mayor importancia y, por ello, la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales son diseñadas para su eliminación (Crites & Tchobanoglous, 2000).

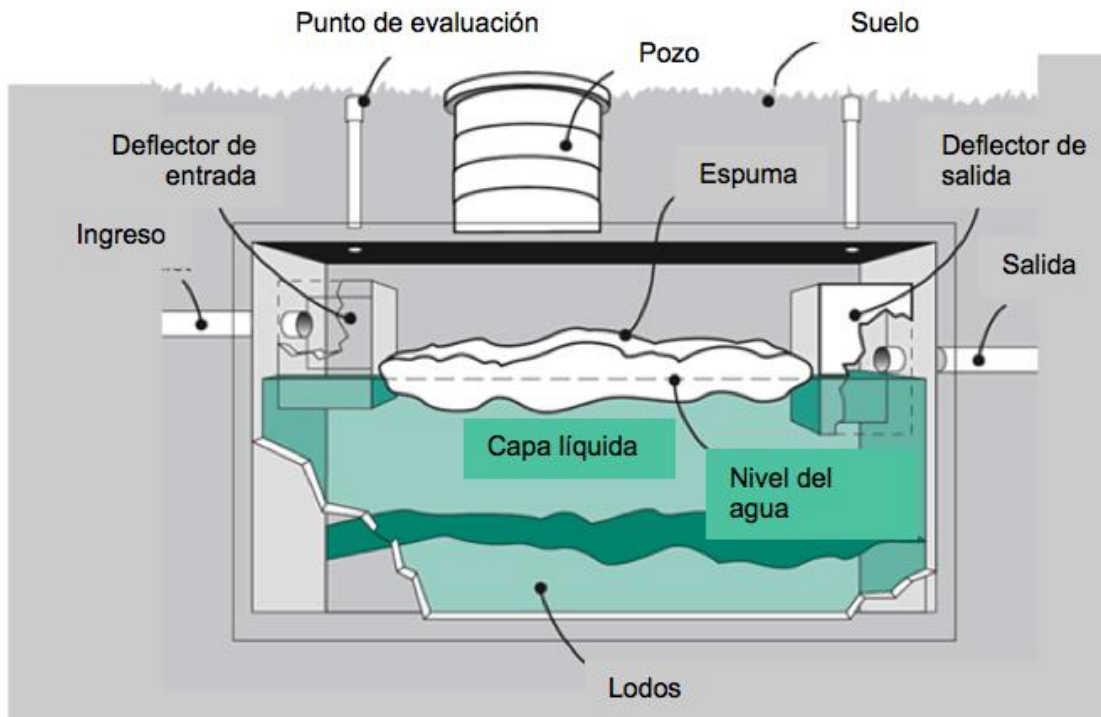
Una planta de tratamiento de aguas residuales está constituida por una serie de operaciones y procesos unitarios integrados para la remoción de los constituyentes antes mencionados. Los objetivos principales de este sistema son: 1) proteger la salud pública, 2) proteger al medio ambiente receptor de la degradación o contaminación, 3) y reducir los costos de tratamiento mediante la retención de aguas y sólidos cerca de su punto reutilizándolos (Crites & Tchobanoglous, 2000).

A. Tipos de plantas de tratamiento

Las plantas de tratamiento de aguas se agrupan en dos tipos fundamentales: aeróbicas y anaeróbicas (Bhandari, 2014):

El tratamiento de aguas residuales anaeróbico (Figura 1) se basa en descomponer la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Los procesos biológicos aeróbicos utilizan colonias microbianas para descomponer las sustancias orgánicas que contienen las aguas residuales. Los microorganismos se alimentan de sustancias biológicas no deseadas en el agua generando flóculos de sustancias orgánicas y lodos que pueden eliminarse fácilmente. (Nollet, 2014).

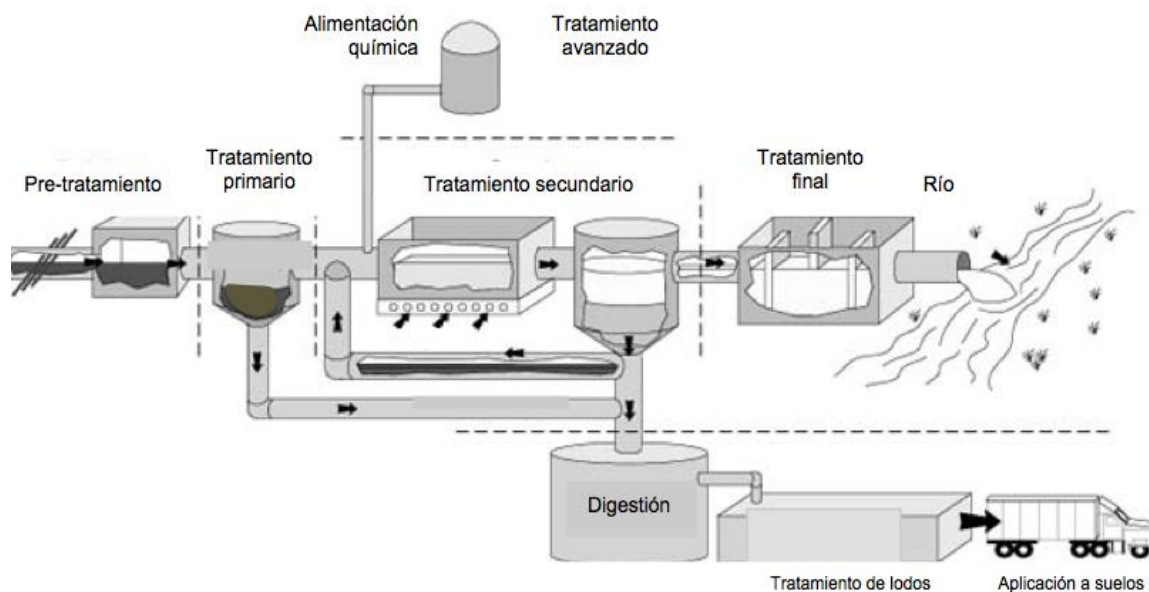
Figura 1: Sistema de tratamiento anaeróbico.



El agua ingresa por la tubería de entrada hacia un tanque donde los residuos los lodos se asientan por gravedad y las bacterias descomponen la materia orgánica generando flóculos y espuma. Los deflectores de entrada y salida actúan como una barrera que permite que sólo el agua pase a la tubería de salida. Posteriormente el agua pasa al patio de filtrado para separar patógenos y nutrientes presentes (Bhandari, 2014).

El tratamiento aeróbico de aguas residuales (Figura 2) es un proceso mediante el cual los microorganismos descomponen el material biodegradable en presencia de oxígeno. Este tipo de planta es utilizado para tratar aguas industriales de alta resistencia, cálida y con altas concentraciones de materia orgánica biodegradable. Este proceso produce biogás (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), gases que se pueden utilizar para producir energía eléctrica y térmica. Al final del proceso, la materia orgánica que no se ha descompuesto completamente se separa en sólidos y líquidos. El líquido puede recircularse a través del proceso y los sólidos pueden utilizarse como fertilizantes (Nollet, 2014).

Figura 2: Sistema de tratamiento aeróbico.



El tratamiento aeróbico de aguas se divide en etapa primaria, secundaria, terciaria y tratamiento de lodos (que es opcional). En la fase primaria se remueven contaminantes físicos y grasas mientras que en el secundario se usan bacterias para eliminar contaminantes orgánicos. En el tratamiento terciario se busca eliminar los microorganismos patógenos (Baruth, 2005).

B. Métodos de tratamiento de aguas residuales

Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas se llaman operaciones unitarias. Por otro lado, los métodos de tratamiento en los que la remoción de contaminantes se lleva a cabo por reacciones químicas o biológicas son denominados procesos unitarios. La combinación de operaciones y procesos unitarios permite la división de niveles de tratamiento conocidos como: pre-tratamiento, tratamiento primario, primario avanzado, secundario, secundario con remoción de nutrientes, terciario y avanzado (Metcalf & Eddy, 2003).

Una planta de tratamiento de aguas residuales se diseña idealmente junto a un sistema de drenajes y tuberías que conducen las aguas residuales hasta el sitio donde se aplicara el tratamiento correspondiente (Figura 3). Todo proceso de tratamiento consta de varias etapas: preliminar, primario, secundario, terciario y tratamiento disposición de lodos (Clarck. *et al.* 2011)

En el tratamiento preliminar, lo que se desea es separar sólidos de mayor tamaño y cantidades excesivas de grasas y aceites. El equipo más utilizado para separar los sólidos son

rejillas o cribas de barras y desarenadores y para las grasas o aceites se utilizan trampas de grasa. Para el tratamiento primario, se busca disminuir la velocidad de las aguas, con el uso de reductores de caudal, para sedimentar sólidos suspendidos. En esta etapa se recomienda utilizar sedimentadores primarios (Jefferson, 2006).

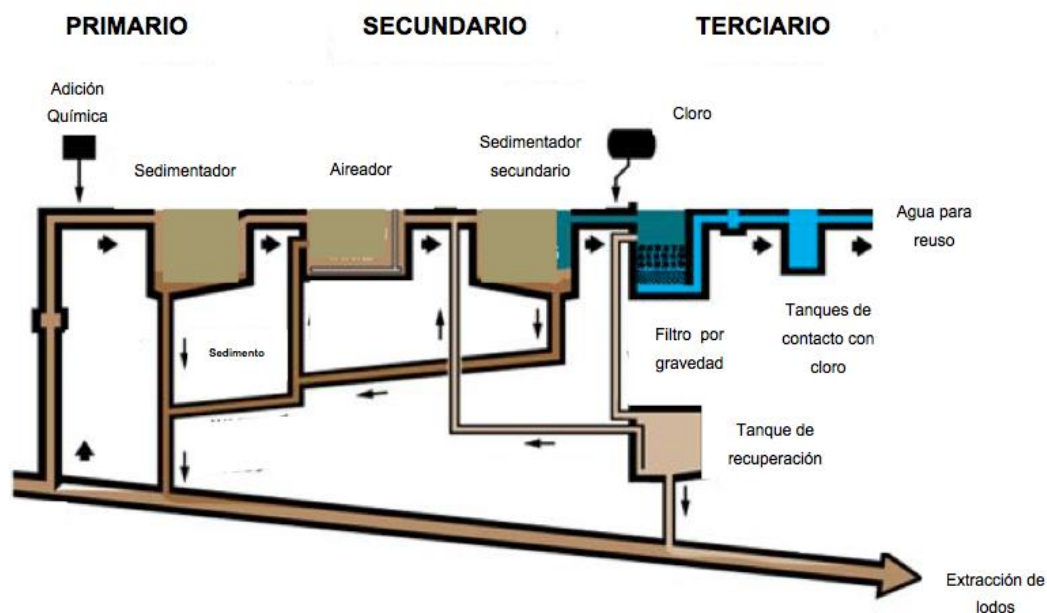
El tratamiento secundario es de tipo biológico; en este caso se utiliza un proceso aeróbico que se basa en el proceso de lodos activados llevando a cabo la biodegradación de la materia orgánica. Para esta etapa se tienen tres procesos básicos: oxidación biológica, aireación y sedimentación. Los elementos ideales para esta etapa son un filtro goteador con tanques de sedimentación secundarios, tanques de aireación, filtro percolador, filtros de arena o lechos de contacto (Jefferson, 2006).

El tratamiento terciario es el último que se le da a las aguas residuales para que estas alcancen la calidad fisicoquímica y biológica necesaria, esperada, establecida, etc. Este tratamiento consiste en procesos de precipitación, cloración, y adsorción. La precipitación consiste en la reducción metales pesados y otros iones para formar sólidos que puedan ser removidos del agua. En la cloración se agrega cloro para eliminar bacterias coliformes, parásitos y virus. La adsorción busca eliminar partículas disueltas al unirlas físicamente a un filtro; esto se usa para eliminar olores y sabores no deseados, así como para eliminar pesticidas y herbicidas (Tchobanglous, 2003).

Estos procesos se aplican para reducir los niveles de compuestos inorgánicos, debido a los efectos negativo que algunos tienen para el medioambiente o para la salud. Por ejemplo, se busca eliminar el nitrógeno para evitar la eutrofización de los ambientes acuáticos mientras que metales pesados como el plomo se eliminan debido a su efecto cancerígeno sobre el humano. Antes de la liberación al cuerpo receptor, el agua tratada puede por cascadas de piedra o graderías para una aireación final (Jefferson, 2006).

El tratamiento de lodos es un proceso opcional, con el fin de evitar que estos contaminen otra vez agua, o dirigirlos a un uso específico. Esto se puede realizar con los siguientes métodos: espesamiento, digestión, secado en lechos de arena, acondicionamiento con productos químicos, filtración al vacío y secado aplicando calor (Jefferson, 2006).

Figura 3: Diagrama general del tratamiento de aguas residuales.



El tratamiento de aguas se divide en tres fases: primario, secundario y terciario. La fase primaria o preeliminar consiste en remover sólidos de gran tamaño y grasas por medio de rejillas y trampas de grasa. La fase secundaria se utilizan bombas de aireación para proveer el oxígeno necesario para que las bacterias lleven a cabo la oxidación aeróbica de la materia orgánica y también para eliminar sólidos disueltos y otras partículas por floculación; posteriormente el agua pasa a tanques donde residuos sólidos remanentes se asientan. Por último en la fase terciaria se eliminan los microorganismos patógenos presentes (bacterias coliformes, virus o parásitos) y cualquier otro residuo remanente que evita que el agua alcance la calidad deseada (LACSD, 2017).

C. Caracterización de la materia orgánica agregada en aguas residuales

1. **Análisis microbiológico del agua.** Este consiste en el análisis de agua para determinar si hay bacterias fecales presentes, y en ciertos casos determinar su identidad. La base de estos análisis es que no se buscan microorganismos patógenos debido a que estos se encuentran relativamente en bajas cantidades en las heces por lo que se usan las bacterias coliformes como indicadores, las cuales se encontrarán en grandes cantidades y su detección es sencilla. Si la muestra contiene una gran cantidad de coliformes fecales, se puede interpretar que el agua está contaminada con restos fecales y podrían estar presentes patógenos gastrointestinales (Abera. *et al.* 2011).

Existen diversos métodos para el análisis microbiológico del agua; desde la determinación de bacterias hasta la detección de virus y parásitos, estos varían en lo referente a recursos, tiempo y equipo necesario (APHA, AWWA, WEF, 2012).

2. **Bacterias coliformes.** Son bacterias Gram negativo, anaerobias facultativas, con forma de bacilo y no esporoformadoras que fermentan lactosa. Estas bacterias pueden encontrarse en el ambiente y están presentes en grandes cantidades en las heces de animales de sangre caliente, incluyendo humanod. Los coliformes más comunes son bacterias de los géneros *Escherichia*, *Klebsiella*, *Hafnia*, *Citrobacter* y *Enterobacter* (Palahniuk, 2010).

Las bacterias coliformes normalmente no causan enfermedades, pero pueden haber casos principalmente en personas inmunodeprimidas, en las que pueden ser causa de infecciones (Chin, 2013). Las bacterias coliformes se dividen en dos grupos: coliformes totales, que son las bacterias que pueden encontrarse en el suelo y en el ambiente, y coliformes fecales que son las bacterias que se encuentran específicamente en las heces de los animales (Cabral, 2010).

a. Coliformes como indicadores de calidad de agua. Evaluar el agua para comprobar la presencia de una gran variedad de patógenos puede resultar poco práctico ya que son muchas las bacterias que pueden estar presentes en el agua y que pueden causar enfermedad (Cuadro 1). Por esto es que se usan organismos indicadores para medir la presencia de patógenos en el agua; las bacterias coliformes son buenos indicadores ya que se encuentran presentes en grandes cantidades en las heces en animales de sangre caliente, son fáciles de aislar y en general, no son patogénicas (Chin, 2013).

Cuadro 1: Algunas enfermedades bacterianas transmitidas por agua.

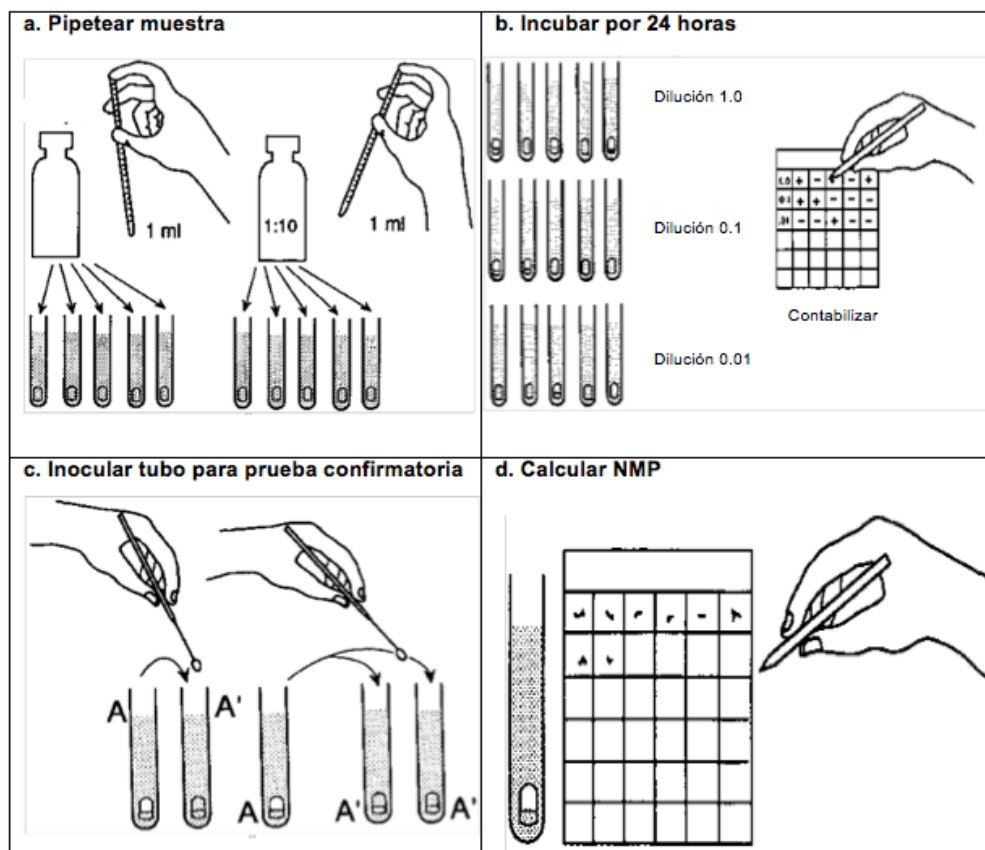
Enfermedad	Agente causante
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i> , serovares O1 y O139
Gastroenteritis causada por vibrios	<i>Vibrio parahaemolyticus</i> principalmente
Fiebre Tifoidea y salmonellosis seria	<i>Salmonella enterica</i> subespecie <i>enterica</i> serovar Paratyphi <i>Salmonella enterica</i> subespecie <i>enterica</i> serovar Typhi <i>Salmonella enterica</i> subespecie <i>enterica</i> Typhimurium
Disenteria bacilar y shigellosis	<i>Shigella dysenteriae</i> <i>Shigella flexneri</i> <i>Shigella boydii</i> <i>Shigella sonnei</i>
Diarrea aguda y gastroenteritis	<i>Escherichia coli</i> , serotipos O148, O157 y O124

Hay enfermedades directamente asociadas con la presencia de bacterias en el agua como el cólera transmitido por los serovares O1 y O139 de *Vibrio cholerae*. Otras enfermedades incluyen la disentería transmitida por *Shigella*, la gastroenteritis causada por *Escherichia coli* serotipo O157, O148 y O124, y la fiebre tifoidea transmitida por *Salmonella enterica* serotipo Typhi (Cabral, 2010).

Una desventaja con la detección de coliformes como bacterias indicadoras es que no pueden usarse para cuantificar la cantidad de patógenos en el agua, sólo indican su posible presencia. Adicionalmente, para evaluar la calidad del agua usando coliformes como indicadores, es necesario que la muestra esté contaminada con material fecal en cantidades suficientes para que la prueba pueda detectarlas, lo cual en ocasiones puede ser difícil (WHO, 2004).

b. Método de los tubos múltiples. Esta técnica se ha usado por muchos años con resultados satisfactorios; es el único método que permite usar muestras de agua semi-sólidas o que estén muy turbias. En este método se inocula la muestra de agua en una serie de tubos con medio selectivo (Figura 4) y luego se incuba por un tiempo determinado (Jain & Bhadra, 2010).

Figura 4: Método de los tubos múltiples.



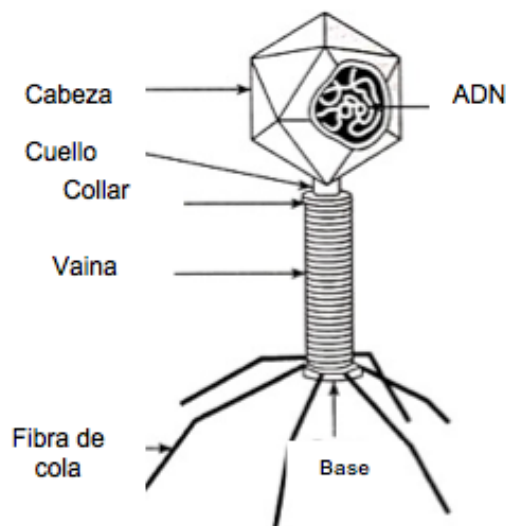
Fuente: (Bartram & Ballace, 1996)

En este método se inocula la muestra de agua en una serie de tubos con medio selectivo y luego se incuba por un tiempo determinado (Figura 4a). Luego de la incubación se evalúa la presencia de gas en los tubos, turbidez y viraje de color del medio (Figura 4b); los que tengan presencia de gas en el medio se les toma como positivos. Posteriormente se inoculan tubos que contienen otro medio selectivo con las muestras que fueron positivas en la prueba anterior (Figura 4c). Se toma nota del número de tubos positivos; el número más probable de bacterias (MPN) se determina en base a la cantidad de tubos positivos (Figura 4d) y usando tablas estadísticas (Jain & Bhadra, 2010).

A pesar que este método es antiguo, se usará debido a que el Acuerdo Gubernativo 236-2006 establece que los métodos que deben emplearse para los análisis de laboratorio deben ser los métodos establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). Adicionalmente, este es un buen método para determinar –aproximadamente – el grado de contaminación del agua, antes de usar otros métodos más sensibles como el de filtrado por membrana (WHO, 2004).

3. Bacteriófagos. Los bacteriófagos son virus que invaden bacterias y, en caso de los fagos líticos, interrumpen el metabolismo y causan la lisis. Estos están compuestos por material genético (ADN o ARN) envuelto por una cápsula proteica conocida como cápside (Figura 5). El cuerpo está hueco en el interior lo cual permite la inyección del material genético una vez se da la unión entre el fago y la bacteria. La unión a la bacteria se da en receptores específicos como lipopolisacáridos, proteínas, ácidos teicóicos entre otros (McGrath & Van Sinderen, 2007).

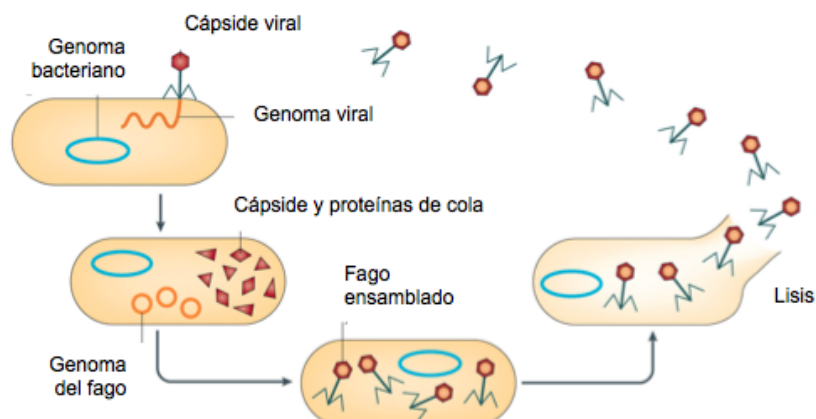
Figura 5: Estructura de un bacteriófago.



Fuente: (Shors, 2013)

a. Ciclo de vida de los bacteriófagos. Los bacteriófagos tienen dos ciclos de vida: lítico y lisogénico. En el ciclo lítico (Figura 6) el virus se une a un receptor e inyecta su ADN en el interior de la bacteria; posteriormente este secuestra la maquinaria de replicación para producir más copias de sí misma y proteínas para formar la cápside y el resto de estructuras. Estas copias se van acumulando en el interior de la bacteria hasta romperse (Shors, 2013).

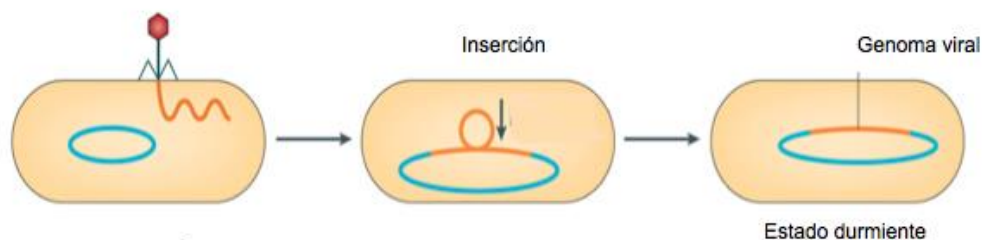
Figura 6: Ciclo de vida lítico.



Fuente: (Feiner. *et al.* 2015).

En el ciclo lisogénico (Figura 7) el virus inyecta su ADN y este se integra al de la bacteria; posteriormente este se queda ahí hasta que un estrés ambiental la haga pasar al ciclo lítico. El daño al ADN también puede causar la entrada al ciclo lítico (Shors, 2013).

Figura 7: Ciclo de vida lisogénico.



Fuente: (Feiner. *et al.*,2015)

b. Aplicaciones de los bacteriófagos en análisis de agua. Las bacterias indicadoras tienen límites como prueba de análisis, debido al tiempo que toma hacer las pruebas (incubación) y las condiciones específicas para que la prueba de resultados confiables (cadena de frío por ejemplo), por lo que es necesario buscar métodos nuevos para el análisis. Los bacteriófagos son una opción atractiva debido a su especificidad y sensibilidad, adicionalmente

son más abundantes en el agua, estando en cantidades de 3 a 10 mayores que las bacterias; así mismo no requieren cadena de frío lo que la muestra pueda ser transportada a través distancias más largas (entre departamentos por ejemplo), o bien permite analizar aguas provenientes de lugares remotos donde no hay laboratorio cerca (Espinosa. *et al.* 2009). En algunos países como África e India donde se han logrado aislar bacteriófagos para patógenos como *Salmonella typhi* y *Escherichia coli* (corto espectro) y uno que infectó tanto a *Pseudomonas aeruginosa* como *Escherichia coli*, indicando que es de amplio espectro (Sundar. *et al.* 2009).

Esta prueba tiene como objetivo el aislamiento de los fagos a partir de la muestra de agua. A partir de los resultados, se puede inferir que si el fago está presente, la bacteria a la que infecta, también lo está. Esto permitiría análisis mucho más sensibles ya que la presencia de un fago es necesario para infectar una bacteria (Palmateer. *et al.* 1991). Por otro lado, hay factores que podrían afectar los resultados, o limitar el alcance de la detección; un ejemplo sería una muestra que contenga una muestra puede contener una gran variedad de bacterias patogénicas, por lo que es necesario desarrollar estrategias que permitan ampliar la detección (Withey. *et al.* 2005).

Hay factores que deben tomarse en cuenta al utilizar bacteriófagos en el análisis de agua. Un ejemplo sería la amplitud de detección del fago ya que se reduce la variedad de bacterias que pueden detectarse. Así mismo puede haber resistencia por parte de la bacteria infectada, o bien la pérdida de infectividad por parte del fago (Withey. *et al.* 2005).

4. **Análisis fisicoquímico del agua.** Consiste en la evaluación de los parámetros físicos del agua como pH, conductividad, temperatura, color y turbidez. En lo referente al análisis de los parámetros químicos, estas características se evidencian en base a las reacciones observadas aunque estas no siempre sean evidentes (Davis, 2010). El Acuerdo Gubernativo 236-2006 establece que los parámetros fisicoquímicos que hay que medir para aguas residuales son:

- pH
- Temperatura
- Color.
- Materia flotante.
- Sólidos suspendidos.
- Grasas y aceites.
- Metales pesados.
- Fósforo y nitrógeno total.

(Gobierno de Guatemala, 2006)

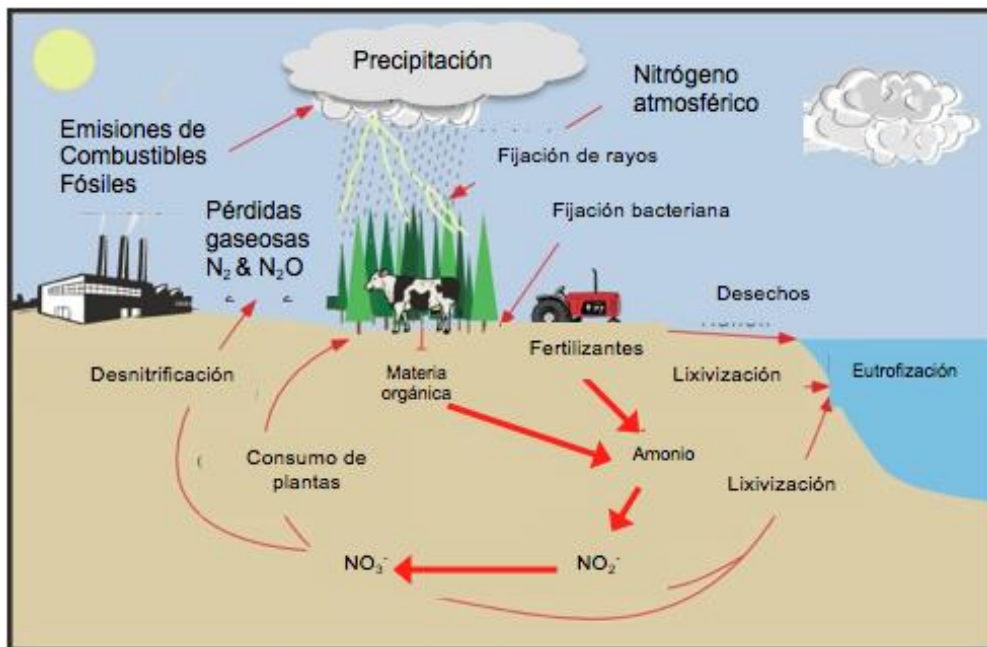
5. **Metales pesados.** Debido al efecto negativo que tienen ciertos metales para la salud, la presencia de metales pesados es una de las formas más graves de contaminación del agua. Los metales son introducidos al agua por una gran variedad de procesos desde industriales hasta naturales: el desgaste de piedras, la deposición atmosférica, minería y quema de neumáticos son algunos de los ejemplos en los que el agua puede contaminarse con metales pesados. Los desechos urbanos son una de las fuentes mayores de contaminación con ciertos metales, los cuales tienden a sedimentarse. Los metales disueltos tienden a ser la mayor causa de toxicidad del agua; factores como pH, temperatura y salinidad pueden afectar la solubilidad de los metales, de los cuales los que causan mayor preocupación son:

- **Arsénico:** Es un elemento que ocurre naturalmente en el ambiente causado por el desgaste y disolución de los minerales del suelo y de las rocas.
- **Cadmio:** Es usado en el chapado de metales y es un ingrediente activo en las baterías recargables.
- **Cromo:** Es un constituyente traza del suelo, una impureza en el carbón, y usado en la manufactura del acero inoxidable. Existe en dos estados de oxidación en el ambiente (3+ y 4+) de los cuales el 3+ es elemento traza esencial en la dieta humana.
- **Plomo:** Ampliamente utilizado en el pasado en pinturas, tuberías y como aditivo en la gasolina hasta que se comprobaron los efectos adversos que tenía sobre la salud. Su uso es altamente regulado en la actualidad.
- **Mercurio:** La gran mayoría es descargado como un contaminante del aire, pero al llegar al agua se lleva a cabo un proceso de metilación (se une a una molécula de carbono). El metilmercurio es muy tóxico y afecta la vida acuática. (Chin, 2013)

6. **Nitrógeno.** Hay varias formas de nitrógeno que pueden existir en el agua (Figura 8) incluyendo: nitrógeno orgánico (proveniente de proteínas, urea y aminoácidos), amonio, nitritos, nitratos y nitrógeno disuelto. En los ambientes acuáticos los microorganismos descomponen el nitrógeno orgánico en un proceso llamado amonificación. El amonio es descompuesto en un proceso llamado nitrificación; estos procesos pueden ocurrir en sedimentos, en el agua y en el suelo. Las plantas absorben y utilizan el nitrógeno como amonio o nitratos presentes en los fertilizantes; los desechos que quedan son ricos en nitratos mientras que las aguas residuales municipales son ricas en nitrógeno orgánico (Chin, 2013).

En condiciones anóxicas, los nitratos pueden ser descompuestos en un proceso mediado por microorganismos que se conoce como desnitrificación en donde el producto es nitrógeno molecular. El nitrógeno se encuentra presente en un ciclo constante por lo que es común encontrarlo en los ambientes acuáticos en cualquiera de sus estados (Chin, 2013).

Figura 8. Ciclo del nitrógeno.

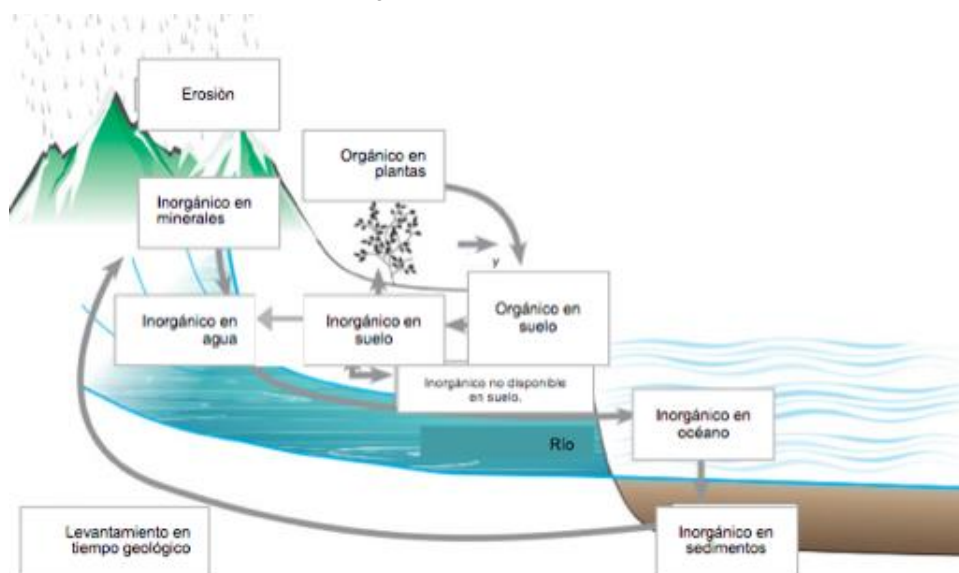


Fuente: (Pidwirny, 2006)

7. **Fósforo.** El fósforo se encuentra normalmente en cantidades pequeñas en las cuencas hidrográficas y se origina comúnmente a partir de detergentes, descargas de aguas residuales y desechos agrícolas (asociado al uso de fertilizantes y operaciones ganaderas). Puede encontrarse de forma orgánica e inorgánica (Figura 9); cuando se encuentra de forma orgánica puede encontrarse en partículas o no particular. El fósforo orgánico particular se origina de materia viva o muerta (como plankton y detrito) y el no particular se origina a partir de los desechos de los seres vivos o por compuestos fosfóricos coloidales (Chin, 2013).

El fósforo inorgánico también puede encontrarse como partículas o no particular; el primero incluye precipitados de fósforo, fósforo adsorbido por las partículas de materia y fósforo amorfo. Por otro lado, el no particular consiste de formas de fósforo insolubles conocidas como ortofosfatos; estas son sales de ácido fosfórico que está disponible para plantas y algas. La estado más oxidado del fósforo en la naturaleza es el 5+ y en forma de fosfato, el cual es obtenido a partir de fertilizantes, detergentes y desechos orgánicos. Este es adsorbido por el sedimento y que luego es llevado a fuentes de agua por la erosión de los suelos. El fósforo se encuentra en transformaciones continuas en los ambientes acuáticos los cuales pueden ser utilizados por los microorganismos presentes (Chin, 2013).

Figura 9: Ciclo del fósforo.



Fuente: (University of Waikato, 2013)

8. **Contaminantes orgánicos.** La mayor parte de materia orgánica presente en el agua consiste en proteínas, carbohidratos, grasas y aceites. Las grasas deben ser removidas para evitar interferencias con los microorganismos presentes y para evitar la formación de películas y emulsiones; la mayoría de aceites presentes se originan de la manteca, margarina, mantequilla y aceites (vegetal y animal). Por otro lado las grasas se encuentran presentes en la carne, semillas y ciertas frutas; debido a la baja solubilidad, se reduce la tasa de degradación microbiana. Este no es el caso para carbohidratos y proteínas (Tchobanglous & Burton, 2003).

9. **Compuestos orgánicos solubles.** Los compuestos orgánicos solubles (VOC's) son compuestos que tienen un punto de ebullición menor o igual a los 100 °C. Estos son de gran importancia ya que una vez se encuentran en estado gaseoso son más móviles lo cual aumenta la posibilidad de ser liberados al medioambiente. Algunos son peligrosos para la salud y contribuyen al aumento en la presencia de hidrocarburos reactivos en la atmósfera, lo que puede llevar a la formación de oxidantes fotoquímicos en la atmósfera (Tchobanglous & Burton, 2003).

10. **Productos secundarios de desinfección.** Se ha observado que cuando se agrega cloro a agua que contiene materia orgánica, se forman una variedad de productos secundarios que contienen cloro. Estos se conocen como subproductos de desinfección y a pesar que se encuentran en concentraciones bajas, se les presta atención ya que se sospecha que muchos son potenciales carcinogénicos. Algunos casos de subproductos de desinfección son los trihalometanos, los ácidos haloacéticos, el triclorofenol y los aldehídos (Tchobanglous & Burton, 2003).

11. **Pesticidas y agroquímicos.** Los pesticidas, herbicidas y otros agroquímicos son tóxicos para muchos organismos, por lo que pueden ser contaminantes significativos para el agua. Estos no son constituyentes comunes de las aguas residuales domésticas, sino que son producto de operaciones de mantenimiento de parques, operaciones agrícolas u operaciones en tierras vacantes. La presencia de estos compuestos en el agua puede afectar la vida acuática directamente, o bien puede ser un impedimento para su consumo (Tchobanglous & Burton, 2003).

12. **Compuestos orgánicos emergentes.** Se han identificado compuestos orgánicos emergentes en aguas de tratamiento, los cuales pueden provenir de antibióticos (para humanos y veterinarios), medicamentos (Cuadro 2), productos industriales y domésticos y hormonas sexuales o esteroidales (Cuadro 3). Conforme se van conociendo los impactos de estos sobre la salud, puede que se establezcan límites de desecho para estos compuestos (Tchobanglous & Burton, 2003).

Cuadro 2. Antibióticos y medicamentos que pueden ser contaminantes orgánicos emergentes

Antibióticos de uso humano y veterinario		
Carbadox	Norfloxacina	Sulfametazina
Clortetraciclina	Oxitetraciclina	Sulfametiazol
Ciprofloxacina	Roxarsona	Sulfametoxazol
Doxiciclina	Roxitromicina	Sulfatiazol
Enrofloxacina	Sarafloxacina	Tetraciclina
Eritromicina	Spectinomina	Trimetoprim
Eritromicina-H ₂ O	Sulfaclopiridazina	Tilosina
Ivermectina	Sulfadimetoxina	Virginamicina
Lincomicina	Sulfamerazina	
Drogas de prescripción y no-prescripción		
Acetaminofen (antipirético)	Fluoxetina (antidepresivo)	Trimetoprim (antibiótico)
Amoxicilina (antibiótico)	Gemfibrozil (agente lipoprótico)	Sulfametaxazol (antibiótico)
Cafeína (estimulante)	Ibuprofen (antiinflamatorio)	Enalaprilat (antihipertensivo)
Cimetidina (antiácido)	Metformina (antidiabético)	Salbutamol (antiasmático)
Cotinina (metabolito nicotínico)	Paraxantina (metabolito cafeínico)	Diltiazem (antihipertensivo)
Dehidronifedipina (antianginal)	Paraxentina (metabolito paxílico)	
Digoxigenina (metabolito digoxínico)	Ranitidina (antiácido)	

Fuente: (Tchobanglous & Burton, 2003).

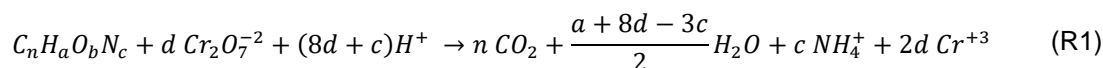
Cuadro 3. Productos domésticos/industriales y hormonas sexuales/esteroidales que pueden ser contaminantes orgánicos emergentes

Productos industriales y domésticos	
Etanol, 2-butoxy-, fosfato (plastificante)	Fenol (desinfectante)
Fluoranteno (Hidrocarburo policíclico aromático)	Para-nonilfenol-total (detergente)
Lindano (pesticida)	Anhídrido ftálico (usado en plásticos)
Naftaleno (Hidrocarburo policíclico aromático)	Pireno (Hidrocarburo policíclico aromático)
NPEO1-total (detergente)	Estimastanol (esterol de planta)
NPEO2-total (detergente)	Tetracloroetileno (solvente)
OPEO1	Triclosan (desinfectante antimicrobiano)
OPEO2	Tri(2-cloroetil)-fosfato (retardante de fuego)
Fenantreno (Hidrocarburo policíclico aromático)	Tri(dicloroisopropil)f-osfato (retardante de fuego)
Metil-paratión (pesticida)	Trifenil-fosfato (plastificante)
Hormonas sexuales y esteroideas	
Cis-andosterona	17a-estradiol
3b-coprostanol	17b-estradiol
Colesterol	Estriol
Equilenina	Estrona
Equilina	17a-etinilestradiol
Mestranol	19-noretisterona
Progesterona	Testosterona

Fuente: (Tchobanglous & Burton, 2003).

D. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La prueba de DQO se realiza para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido (Crites & Tchobanoglous, 2000). Sigue la siguiente ecuación:



donde

$$d = \frac{2n}{3} + \frac{a}{6} + \frac{b}{3} - \frac{c}{2}$$

Esta prueba suele realizarse en equipos especializados, donde la muestra de agua es digerida por un reactor y luego se lee la cantidad de DQO por colorimetría.

E. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

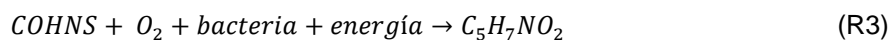
El parámetro más utilizado para medir la contaminación orgánica en las aguas residuales es la prueba DBO₅. La determinación involucra la medición del oxígeno disuelto usado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica. Los resultados de la prueba sirven para determinar de forma aproximada la cantidad de oxígeno requerida para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, para determinar las dimensiones de instalaciones de tratamiento de aguas, para medir la eficiencia de ciertos procesos de tratamiento y para verificar la conformidad con las regulaciones y normativas locales de aguas residuales (Metcalf & Eddy, 2003).

1. **Bases para la prueba de DBO₅.** El proceso ocurre en tres pasos o reacciones principales. Para su explicación, se usa el término COHNS para referirse al desecho orgánico (compuesto por los elementos carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre) y el término C₅H₇NO₂ para representar el tejido celular.

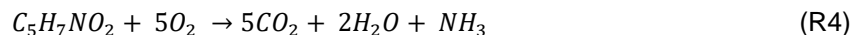
Primero, una parte de los desechos se oxida para obtener energía para la sobrevivencia de células y la síntesis de nuevas células de tejido:



Simultáneamente, otra parte del desecho se convierte en células de tejido nuevas usando energía liberada durante la oxidación:



Finalmente, cuando la materia orgánica es usada por completo, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular para obtener energía para su sobrevivencia. Este último proceso se denomina respiración endógena:



(Metcalf & Eddy, 2003)

2. **Procedimiento de la prueba de DBO₅.** Se coloca una muestra pequeña de agua residual, establecida a partir del contenido de DQO (Demanda Química de Oxígeno) en el agua, en una botella de DBO de 300 mL. Se afora la botella con agua saturada de oxígeno y con los nutrientes requeridos para el crecimiento biológico. Se mide la concentración inicial de oxígeno y luego se cierra el recipiente. Se coloca en una incubadora a 20°C por 5 días y se vuelve a medir la concentración de oxígeno. La DBO de la muestra es la diferencia entre las concentraciones de

oxígeno disuelto medidas antes y después de la incubación, expresado en miligramos por litro, dividido la fracción decimal de la muestra utilizada.

$$DBO, mg/L = \frac{D_1 - D_2}{P} \quad (E1)$$

Donde:

D_1 : oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de ser preparada, mg/L

D_2 : oxígeno disuelto de la muestra diluida después de cinco días de incubación a 20°C, mg/L

P : fracción en volumen de agua residual contenida en la muestra

(Metcalf & Eddy, 2003)

F. Relación DBO/DQO

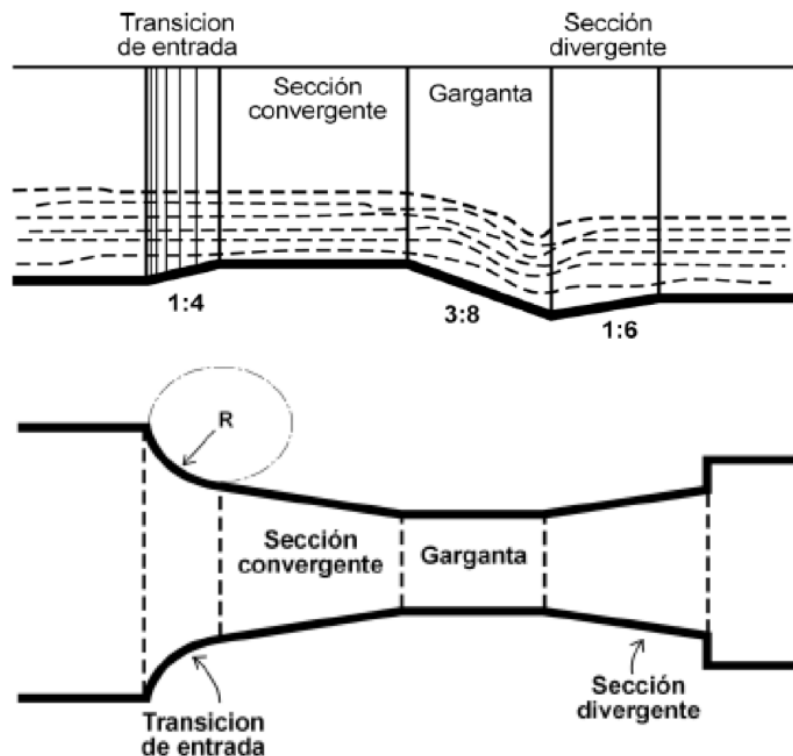
La relación entre estas dos variables proporciona una idea del nivel de contaminación de las aguas. Si la relación (DBO₅/DQO) es menor a 0.2 quiere decir que las aguas residuales son poco biodegradables y es conveniente utilizar tratamientos fisicoquímicos; por el otro lado, si es mayor a 0.4, las aguas son biodegradables por lo que se pueden usar tratamientos biológicos. (Domènech y Peral, 2006)

G. Medición y estimación de caudal

El caudal es una variable de proceso determinante para dimensionar una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que de ella depende la capacidad de la planta. La cuantificación del caudal se realiza a través de medidores de flujo, los cuales son dispositivos que usan principios mecánicos o físicos para permitir que un flujo de agua pueda ser medido. Estos se colocan en los procesos para tener un mayor control sobre el uso y distribución del agua. Existen distintos métodos de medición de caudal en canales abiertos (p.ej. método volumétrico y método hidráulico), así como distintos aparatos de medición, como el Canal Parshall (Lux Monroy, 2010).

1. **Canal Parshall.** Este medidor consiste en una estructura hidráulica que permite cuantificar el agua que pasa por una sección de un canal determinado. Es un medidor de régimen crítico, es decir, que produce una contracción del flujo de modo que en una sección dentro de la estructura se produce el flujo crítico (Lux Monroy, 2010). El Canal Parshall consta de cuatro partes principales como muestra la Figura 10: la transición de entrada, la sección convergente, la garganta y la sección divergente.

Figura 10: Partes de un Canal Parshall, vistas de perfil y planta.



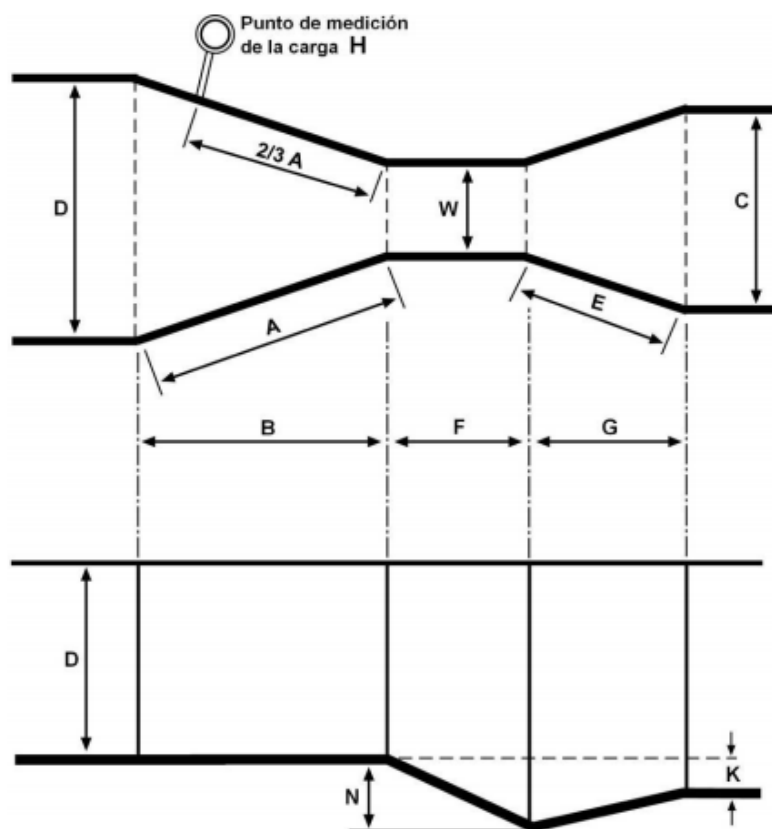
Fuente: (Lux Monroy, 2010)

El canal Parshall tiene como mayor ventaja la facilidad con la que pueden ser construidos. Además, también son recomendables debido a que una sola medida es suficiente para determinar el caudal; la pérdida de carga es mínima; el paso del flujo es libre, por tanto, no hay problemas de obstrucción; y no existe la posibilidad que ocurran sedimentaciones que afecten las mediciones (Lux Monroy, 2010).

a. Dimensiones del Canal Parshall. Un canal Parshall se identifica nominalmente por el ancho de su garganta (W). Los medidores más pequeños y menos utilizados poseen un ancho de garganta de 1 pulg (2.54 cm); el mayor construido es de 50 pies (15.24 m), con una capacidad de 85,000 L/s (Azevedo Netto, 1998). Sus dimensiones se determinan a partir del caudal promedio que pasa por el canal, con el que se fija el ancho de garganta y luego se establecen el resto de medidas según la Figura 11.

En los cuadros presentados en el Anexo II, sección E, se observan los rangos de caudales de operación y las dimensiones típicas para los medidores Parshall hasta de 10 pies (3.05 m).

Figura 11: Dimensiones del Canal Parshall.



Fuente: (Lux Monroy, 2010)

2. Punto de medición y cálculo de caudal. Para calcular el caudal que pasa por el medidor, se realiza una sola medida de carga H . Esta se hace en la sección convergente, en un punto localizado a $2/3$ desde el inicio de la garganta W , como se muestra en la Figura 11. La carga se puede medir fácilmente con una regla o se instala una escala para lecturas junto a la pared (Azevedo Netto, 1998).

Una vez medida la carga, se calcula el caudal a partir de la siguiente ecuación experimental (Azevedo Netto, 1998):

$$Q = \lambda H^n \quad (E2)$$

(Azevedo Netto, 1998)

Los valores del coeficiente λ y el exponente n para los Canales Parshall con distintos tamaños de garganta se presentan en el Anexo II, sección E.

3. **Composición del caudal de agua residual doméstica vertida en sistemas de recolección.** El agua residual doméstica vertida en sistemas de recolección puede provenir de zonas residenciales, comercios, instituciones, espacios recreacionales e instalaciones industriales (Crites & Tchobanoglous, 2000). Para fines del presente trabajo, se consideran únicamente las aguas provenientes de zonas residenciales, comerciales, e instituciones.

En zonas residenciales, el caudal depende principalmente del número de habitantes. Para zonas comerciales, se puede estimar el caudal a partir de información disponible en zonas similares o con valores habituales. Para zonas comerciales mixtas, donde no se conoce el uso del agua, los valores habituales por unidad de área se encuentran entre 800 y 2,000 gal/acre·día (7.5 y 19 m³/ha·día) (Crites & Tchobanoglous, 2000). Caudales habituales de agua residual generados por las distintas fuentes mencionadas anteriormente se muestran en los cuadros presentados en Anexos II, sección F.

4. **Estimación de crecimiento de caudal.** La determinación de los caudales de agua residual a tratar de una determinada población es fundamental a la hora de proyectar las instalaciones para su tratamiento y evacuación. Para obtener un diseño adecuado a las necesidades, hay que tener en cuenta cantidad de habitantes y evolución de la población, datos del consumo de agua, censo de entes que aportan a la red de alcantarillado y tipo de aguas negras generadas. Para las obras de captación de agua residual, los periodos máximos de diseño que se deben utilizar se detallan en el siguiente cuadro (RAS, 2000).

Cuadro 4: Periodo de diseño de la captación de agua superficial.

Nivel de complejidad	Periodo de diseño (años)
Bajo	15
Medio	20
Medio alto	25
Alto	30

Fuente: (RAS, 2000)

El método para la proyección de la población se puede calcular utilizando distintos métodos matemáticos. El método geométrico es útil en poblaciones que muestran una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y se poseen importantes áreas de expansión, las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades.

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (E3)$$

Donde:

P_f : población correspondiente al año para el que se está proyectando la población

P_{uc} : población correspondiente al último censo

T_f : año para el que se quiere proyectar la población

T_{uc} : año del último censo

r: tasa de crecimiento anual

(Villareal Rosales, 2015)

Con el dato de la población a futuro, se estima el caudal de aguas residuales vertidas a partir de los valores habituales para los diferentes tipos de entes generadores.

H. Pretratamiento

1. **Tamizaje y sistema de remoción de sólidos.** El tamizaje es por lo general la primera operación unitaria encontrada en una planta de tratamiento de aguas residuales. Este es uno de los procesos de tratamiento más antiguos, en el cual se remueven objetos de gran tamaño y otros contaminantes del agua residual para proteger las operaciones y los equipos posteriores del proceso como válvulas, bombas, tuberías y filtros biológicos. En la actualidad existen plantas de tratamiento que emplean ambas pantallas de tamizaje, gruesas y finas (WEF & ASCE, 1992).

En el tamizado grueso, con aberturas entre 0.5 y 1.5 pulgadas, se emplean equipos para interceptar y retener sólidos gruesos presentes en el agua cruda. Estos equipos constan, en esencia, de barras de acero verticales o inclinadas espaciadas en intervalos iguales a través del canal por el que fluye el agua residual. El tamiz compuesto de barras paralelas se denomina rejilla y esta permite proteger equipos y otros elementos contra posibles daños y obstrucciones ocasionadas por objetos de gran tamaño. De acuerdo al método de limpieza, las rejillas se clasifican de limpieza manual o mecánica. Las rejillas de limpieza manual cuentan con barras fijadas entre 30 y 45 grados respecto a la vertical para facilitar la limpieza. Estas se usan con bastante frecuencia en plantas de tratamiento pequeñas; los sólidos removidos por las rejillas se colocan sobre una bandeja perforada para drenar el agua antes de su disposición final. Las rejillas de limpieza mecánica emplean cadenas sin fin, cables o mecanismos con ruedas dentadas recíprocantes, que mueven un rastrillo para remover los residuos acumulados por la rejilla (Crites & Tchobanoglous, 1998).

El término “tamiz” se emplea también para describir rejillas de mayas finas. El uso de tamices con secciones finas es bastante ventajoso en sistemas de tratamiento donde los lodos generados se estabilizan por compostaje, ya que la remoción de partículas sólidas pequeñas del agua residual cruda trae como resultado la producción de un compost de alta calidad. Las aberturas en los tamices con secciones finas se oscilan entre 0.01 a 0.125 pulgadas (Crites & Tchobanoglous, 1998).

Consideraciones para el diseño

Para el diseño de cribas, se deben tener las siguientes consideraciones: ubicación, velocidad de aproximación del agua, abertura entre rejillas, pérdidas hidráulicas, modo de limpieza y controles pertinentes. La información básica para el diseño convencional de rejillas de limpieza manual o mecánica se presenta en el Cuadro 5. A continuación, se describen las ecuaciones necesarias:

- Área en la zona de la rejilla

$$A_R = B_c * \frac{L}{L + b} * \left(1 - \frac{G}{100}\right) \quad (E4)$$

Donde:

A_R = área útil del canal en la zona de la rejilla, m²

B_c = ancho del canal, m

L = espacio entre barrotes, m

b = ancho de barrotes, m

G = grado de colmatación (usualmente se utiliza un valor del 30%)

(Villareal Rosales, 2015)

- Número de barrotes

$$N = \frac{B_R - L}{L + b} \quad (E5)$$

Donde:

N = número de barrotes

B_R = ancho del canal en la zona de rejilla, m

L = espacio entre barrotes, m

b = ancho de barrotes, m

(Villareal Rosales, 2015)

- Longitud de rejillas:

$$L_R = \frac{H}{\sin\theta} \quad (E6)$$

Donde:

L_R = longitud de rejillas, m

H = altura de la rejilla, m

θ = ángulo de inclinación adoptado, °

(Villareal Rosales, 2015)

- Flujo volumétrico en el canal de las rejillas

$$Q = Av \quad (E7)$$

Donde:

Q = caudal del afluente, m³/s

A = área transversal del canal de entrada, m²

v = velocidad linear del canal de entrada, m/s

Cuadro 5. Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual.

Parámetro	Unidad	Método de limpieza	
		Manual	Mecánica
Tamaño de la barra			
Ancho	mm	5-15	5-15
Profundidad	mm	25-38	25-38
Abertura entre barras	mm	25-50	15-75
Pendiente respecto a la vertical	°	30-45	0-30
Velocidad de aproximación			
Máxima	m/s	0.3-0.6	0.6-1.0
Mínima	m/s		0.3-0.5
Pérdidas hidráulicas permitidas	mm	150	150-600

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

Adicionalmente, se debe considerar la determinación de pérdidas de carga producidas con el paso del agua a través de las cribas. Dichas pérdidas hidráulicas son función de la velocidad de aproximación del fluido y de la velocidad de flujo a través de los barrotos. Se pueden estimar utilizando la siguiente ecuación:

$$h_L = \frac{1}{C} * \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right) \quad (\text{E8})$$

Donde:

h_L = pérdida de carga, m

C = coeficiente de descarga empírico que considera las pérdidas por turbulencia (normalmente se toma un valor de 0.7)

V = velocidad del flujo a través de las aberturas entre barras, m/s

v = velocidad de aproximación en el canal, m/s

g = aceleración debida a la gravedad, 9.81 m/s²

(Metcalf & Eddy, 2003)

2. **Remoción de grasas y aceites.** Las aguas residuales provenientes principalmente de restaurantes, lavanderías y estaciones de servicio contienen, por lo general, cantidades considerables de grasas, aceites y detergentes. Estos compuestos tienden a acumularse sobre la superficie de los sistemas de disposición sobre el suelo, limitando la capacidad de infiltración del terreno. También ocasionan graves problemas debido a su persistencia (Crites & Tchobanoglous, 2000). Debido a lo anterior, es importante colocar equipos para la remoción de grasas y aceites, que impidan el daño de equipos posteriores en el proceso y mejoren la eficiencia del proceso general.

Una trampa de grasas y aceites es un dispositivo utilizado para separar los residuos sólidos y las grasas que lleva el flujo de agua afluyente. Retiene por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación el material graso. Bajo el principio del sifón, los flotantes quedan retenidos en la superficie del líquido. Normalmente, se construyen con acero inoxidable o cemento y sus dimensiones varían en proporción con las necesidades específicas de cada establecimiento, desde 50-100 L en una cocina grande, hasta 45,000 L en plantas industriales.

Consideraciones para el diseño de una trampa de grasas

Según la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, ASIA (2015), una trampa de grasas debe tener una relación ancho-largo de 1:1.8 a 1:4. Los tiempos de retención hidráulica recomendados se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Tiempos de retención hidráulica de las aguas residuales en una trampa de grasas según el rango de flujos de entrada.

Flujo de entrada (L/s)	Tiempo de retención hidráulica (min)
2-9	3
10-19	4
>20	5

Fuente: (ASIA, 2015)

El volumen total de la trampa de grasas se determina de la siguiente forma:

$$V = Q_r \cdot t_o \quad (\text{E9})$$

Donde:

Q_r = caudal residual, m³/d

t_o = tiempo de retención hidráulica, d

(ASIA, 2015)

Otros parámetros a considerar para la construcción de la trampa de grasas son los siguientes.

- El fondo de la trampa es plano, sin pendiente.
- Entre el nivel del agua y el techo de la trampa se debe dejar un espacio de 0.30 como mínimo.
- El ingreso de las aguas a la trampa de grasas debe ser a través de una tubería en forma de T de 50 mm (2 pulg.) de diámetro como mínimo. Esta debe colocarse 0.20 m bajo el nivel del líquido para evitar que la capa grasa la obstruya.
- La salida de las aguas se debe llevar a cabo a través de otra tubería en forma de T con un diámetro mínimo de 50 mm (2 pulg), cuya parte inferior debe estar a 0.15 m separada del fondo de la trampa. La parte superior de la tubería debe estar como mínimo a 0.05 m del techo para que tenga una buena ventilación.
- Para un mejor flujo del agua residual, se deben colocar las tuberías de entrada y salida a una diferencia de nivel mínima de 0.05 m (ASIA, 2015).

3. Homogenización de caudal. La homogenización del caudal es un método utilizado para: 1) corregir los problemas operacionales causados por las variaciones de caudal; 2) para mejorar el rendimiento de los procesos subsecuentes; y 3) para reducir el tamaño y costos de los equipos del resto de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se trata simplemente de la amortiguación de las variaciones de caudal para lograr un flujo constante o casi constante (Metcalf & Eddy, 2003). Esto se realiza en tanques de homogenización colocados previo a la entrada de las aguas residuales al proceso de tratamiento primario y secundario.

Para dimensionar un tanque de homogenización es necesario realizar un análisis basado en un balance de masas. Este consiste en comparar el volumen de agua residual que ingresa a la planta en un determinado tiempo, con el volumen de agua promedio horario, calculado para un periodo de 24 horas. Si el volumen entrante es menor que el valor promedio, el tanque comienza a ser drenado; en cambio, si el volumen entrante es mayor que el valor promedio, el tanque se llena. La diferencia acumulada equivale al volumen necesario para el almacenamiento de agua residual (Crites & Tchobanoglous, 2000).

I. Tratamiento primario

Los datos típicos de rendimiento de remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y de los sólidos suspendidos totales (SST) en los sedimentadores primarios se encuentran en función del tiempo de retención y la concentración de los constituyentes. Existen curvas de rendimiento obtenidas de observaciones reales en tanques de sedimentación. Sin embargo, las relaciones pueden ser modeladas empleando constantes empíricas (Metcalf & Eddy).

Cuadro 7. Valores típicos para las constantes empíricas a 20 °C.

Ítem	a	b
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

1. **Sedimentación.** El agua residual cruda contiene partículas suspendidas más pesadas que el agua; estas partículas tienden a asentarse por gravedad bajo algunas condiciones. La sedimentación por gravedad es un método efectivo para remover suspensiones presentes en agua residual cruda, que van desde pequeñas concentraciones de partículas discretas hasta grandes concentraciones de flóculos. En muchas ocasiones, el principal propósito de la separación por gravedad es producir un efluente clarificado, pero también promover la formación de un lodo con una concentración de sólidos que pueda manejarse y tratarse fácilmente (WEF & ASCE, 1992).

a. Tipos de sedimentación. Con base en la concentración de partículas y la tendencia de estas a interactuar entre sí, se pueden presentar cuatro clases de sedimentación: sedimentación de partículas discretas; sedimentación de partículas floculantes; sedimentación por zona; sedimentación por compresión (Crites & Tchobanoglous, 1998).

En la sedimentación discreta las partículas mantienen su individualidad, o sea, no se somete a un proceso de coalescencia con otras partículas. Las partículas en este tipo de sedimentación se denominan discretas ya que las propiedades físicas (tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso. El fundamento para la sedimentación de partículas discretas es la Ley de Newton, que se basa en la suposición que las partículas son completamente esféricas con diámetros homogéneos (Ramalho, 1996).

En el fenómeno de sedimentación floculenta, las partículas floculadas se van aglomerando entre sí en su descenso por coalescencia. La aglomeración que ocurre va acompañada por cambios en la densidad y también, consiguientemente, en la velocidad de asentamiento (Aguilar, Sáez y Lloréns, 2002).

Cuando las partículas se agregan y forman una manta que decanta como una masa total presentando una interfase distintiva entre el efluente clarificado se tiene un caso de sedimentación por zonas (Aguilar, Sáez y Lloréns, 2002).

Finalmente, la sedimentación por compresión es en la que las partículas se encuentran concentradas de tal manera que se forma una estructura y la deposición solo se lleva a cabo por la compresión de dicha estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación del líquido sobrenadante (Aguilar, Sáez y Lloréns, 2002).

b. Tipos de tanques de sedimentación. Hay cuatro tipos de tanques sedimentadores: rectangular, circular, cuadrado y apilado. La selección del tipo de tanque para cierta aplicación puede estar gobernado por el tamaño de la planta de tratamiento, condiciones del lugar, la experiencia y juicio del diseñador de la planta y los costos asociados (Crites & Tchobanoglous, 1998).

Criterios de diseño del sedimentador primario

- Área transversal de la sección circular del tanque

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (E10)$$

Donde:

A = área transversal de la sección circular del tanque, m²

D = diámetro de la sección circular del tanque, m

- Velocidad de arrastre

$$v_H = \left(\frac{8k(s-1)gd}{f} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (E11)$$

Donde:

v_H = velocidad de arrastre, m/s

k = constante de cohesión

s = gravedad específica

g = aceleración de la gravedad, m/s²

d = diámetro de partícula sedimentable, μm

f = factor de fricción de Darcy-Weisbach

- Remoción de la demanda biológica de oxígeno

$$R_{DBO} = \frac{t}{a + bt} \quad (E12)$$

Donde:

R_{DBO} = remoción de DBO, %

t = tiempo de retención hidráulica, h

a = constante empírica

g = constante empírica

- Remoción de los sólidos suspendidos totales

$$R_{SST} = \frac{t}{a + bt} \quad (E13)$$

Donde:

R_{SST} = remoción de SST, %.

t = tiempo de retención hidráulica, h

a = constante empírica

g = constante empírica

J. Tratamiento secundario

1. Tratamiento biológico de aguas residuales. El tratamiento biológico de aguas residuales tiene cuatro objetivos principales: 1) transformar constituyentes biodegradables disueltos en productos de salida aceptables, 2) capturar e incorporar sólidos coloidales suspendidos y no sedimentables en flóculos biológicos, 3) transformar o remover nutrientes como fósforo y nitrógeno, y, en ocasiones, 4) remover trazas de compuestos orgánicos específicos (Metcalf & Eddy, 2003).

El tratamiento biológico se lleva cabo por medio de una serie de procesos que se caracterizan por el uso de microorganismos, especialmente bacterias, para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. Estos microorganismos aprovechan dichos componentes que contiene el agua para su propio crecimiento. Generalmente, la materia orgánica es la principal fuente de energía y de carbono que utilizan, además de nutrientes que contienen nitrógeno y fósforo. En ciertos sistemas llamados aerobios, la presencia de oxígeno disuelto también es imprescindible para llevar a cabo los procesos biológicos (Condorchem Envitech, 2013).

En los procesos de oxidación de la materia orgánica es importante conocer quién es el aceptor final de electrones durante el metabolismo celular. Esto también define las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas residuales (Condorchem Envitech, 2013). Según el tipo de aceptor final de electrones, se pueden diferenciar tres sistemas distintos:

- **Sistemas aerobios:** el oxígeno es el aceptor final de electrones preferido por cualquier célula. Esto provoca que haya un gran crecimiento de bacterias, lo que genera altos rendimientos energéticos y alta generación de fangos. El ciclo involucra la conversión de dióxido de carbono en compuestos orgánicos de carbono que forman parte de los tejidos de plantas y microorganismos vivos, y su posterior transformación de nuevo en dióxido de carbono. La materia orgánica de plantas y animales muertos se descompone primero en productos iniciales intermedios antes de su conversión final en productos estabilizados (Crites & Tchobanoglous, 2000).
- **Sistemas aerobios:** el oxígeno es el aceptor final de electrones preferido por cualquier célula. Esto provoca que haya un gran crecimiento de bacterias, lo que genera altos rendimientos energéticos y alta generación de fangos. El ciclo involucra la conversión de dióxido de carbono en compuestos orgánicos de carbono que forman parte de los tejidos de plantas y microorganismos vivos, y su posterior transformación de nuevo en dióxido de carbono. La materia orgánica de plantas y animales muertos se descompone primero en productos iniciales intermedios antes de su conversión final en productos estabilizados (Crites & Tchobanoglous, 2000).
- **Sistemas anaerobios:** la materia orgánica que actúa como fuente de carbono es el aceptor final de electrones. En este metabolismo, la mayor parte del carbono se usa para la formación de subproductos del crecimiento (p.ej. biogás), mientras que la fracción de carbono usada para la síntesis celular es baja (Condorchem Envitech, 2013).
- **Sistemas anóxicos:** en este caso, los aceptores finales de electrones son los nutrientes como nitratos, sulfatos, hidrógeno, etc. Cuando el aceptor final de electrones es el nitrato, el nitrógeno de la molécula de nitrato es transformado en nitrógeno gas, permitiendo la

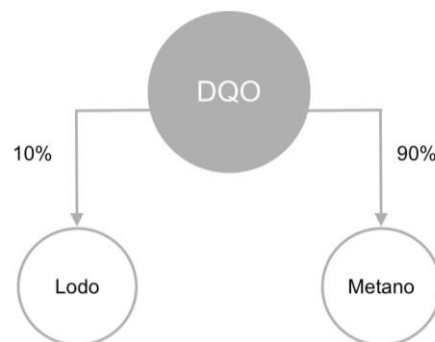
eliminación biológica del nitrógeno del agua residual en un proceso llamado desnitrificación (Condorchem Envitech, 2013).

Para cada sistema mencionado, existen dos tipos de procesos biológicos principales usados para el tratamiento de aguas residuales: crecimiento en suspensión y biofilm. Para propósitos del presente módulo, se consideran únicamente los procesos de crecimiento en suspensión. En estos, los microorganismos responsables del tratamiento se mantienen en una suspensión líquida gracias a métodos de mezclado (Metcalf & Eddy).

2. Tratamiento anaeróbico. En las plantas de tratamiento anaerobias, existen dos clasificaciones de procesos anaerobios: de crecimiento suspendido y de crecimiento adherido. En general, los sistemas más comunes incluyen a los digestores de lodos, fosas sépticas, reactores anaerobios de flujo ascendente, filtros anaerobios de flujo ascendente, entre otros (De Lemos, 2007).

En el campo del tratamiento de aguas residuales, la contaminación orgánica es evaluada a través de la DQO, que básicamente mide la concentración de materia orgánica. A continuación, se muestra un esquema del balance anaerobio de la materia orgánica para los sistemas mencionados (Ortiz, 2011).

Figura 12. Balance anaerobio de la materia orgánica.



a. **Filtro anaerobio de flujo ascendente.** Los filtros anaerobios de flujo ascendente son usualmente utilizados como tratamientos secundarios en el proceso de depuración de aguas residuales. Son sistemas precedidos por sedimentadores o digestores para complementar y aumentar el rendimiento del sistema. La principal característica de un filtro anaerobio de este tipo es que disponen de un medio de soporte dentro del tanque, el cual tiene como objetivo primordial garantizar una mayor cantidad de sólidos, promover la proliferación bacteriana sobre su superficie, favoreciendo de esta forma la oxidación anaerobia de materia orgánica por parte de los microorganismos presentes (Alvarado, 2011).

El principio físico de su funcionamiento radica en el llenado del tanque en forma ascendente, pues el afluente proveniente del tratamiento primario ingresa al filtro por la parte inferior y el proceso de llenado lo lleva a cruzar la totalidad del medio filtrante en forma ascendente. Por último, el efluente sale por la parte superior del filtro, a cierta altura sobre el medio empacado (Alvarado, 2011).

b. Materiales de empaque. En los filtros anaerobios, el medio filtrante está completamente sumergido en el agua residual y por esta razón no hay presencia de aire en absoluto dentro del sistema; esta característica permite mantener las condiciones anaerobias que se requieren en el proceso. El filtro anaerobio se llena con material de baja superficie específica. Algunos de los materiales empleados como medio filtrante en reactores biológicos son piedras de ríos, cuarzo, bloques de cerámica, piedra caliza, granito, pelotas de polietileno, bambú, grava o bien, rellenos sintéticos. Los filtros más modernos usan materiales plásticos porque no presentan problemas de taponamiento y además, son fáciles de manejar (Conagua, 2009).

El propósito del empaque es retener los sólidos dentro del reactor y depositar cualquier partícula formada en su superficie o retener materia orgánica en el espacio vacío. Algunos de los principales propósitos de la capa de soporte son: actuar como dispositivo para separar los sólidos de los gases formados; promover el flujo uniforme en el reactor; aumentar el área de contacto entre los componentes del agua residual y los sólidos biológicos contenidos en el reactor; posibilitar la acumulación de biomasa e impedir el lavado de sólidos en el sistema de tratamiento (Conagua, 2009).

Para minimizar los efectos de taponamiento en el empaque, es necesario limpiar a lo alto de todo el filtro y remover el exceso de sólidos retenidos. En general, los tamaños ideales para el medio filtrante que brindan los mejores resultados en la depuración del agua varían entre 2.5 y 7.5 centímetros, con tamaño uniforme. Los materiales más finos pueden ocasionar obstrucciones en el cuerpo del lecho y los materiales más gruesos pueden provocar una mala limpieza del agua (Conagua, 2009).

c. Bioquímica y microbiología del proceso. El proceso de digestión anaerobia ha sido aplicado para el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales, así como también para la estabilización de lodos generados en dichas plantas. En el proceso anaerobio ocurre una serie de procesos bioquímicos y microbiológicos en los que los compuestos orgánicos son convertidos a metano y otros gases (Conagua, 2009).

Existen cuatro grupos de bacterias partícipes en la transformación de moléculas orgánicas complejas en moléculas simples, como lo son las del dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄). Las cuatro agrupaciones bacterianas operan en una relación sinérgica (Conagua, 2009).

La primera categoría está conformada por las bacterias hidrolíticas. Este consorcio de bacterias anaerobias descompone las moléculas orgánicas complejas en moléculas de monómeros solubles que se asemejan a los aminoácidos, glucosa, ácidos grasos y glicerol. La hidrólisis de las moléculas complejas es catalizada por enzimas extracelulares parecidas, como, por ejemplo, celulasas y proteasas (Conagua, 2009).

Las bacterias fermentativas acidogénicas son las siguientes en el proceso anaerobio. Estas bacterias transforman los azúcares, aminoácidos y ácidos grasos a ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas, acetato, CO₂ e hidrógeno. El acetato es el principal producto de fermentación, pero los productos formados varían con el tipo de bacteria, así como con las condiciones del cultivo (Conagua, 2009).

Las bacterias acetogénicas conforman el tercer grupo de microorganismos, los cuales convierten los ácidos grasos y alcoholes en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono, que son utilizados por los microorganismos metanogénicos. Este grupo requiere tensiones bajas de hidrógeno para la conversión de ácidos grasos, por lo que se necesita un seguimiento frecuente de la concentración de hidrógeno. Bajo una alta presión parcial de H₂, la formación de acetato disminuye y el sustrato es convertido en propiónico, ácido butírico y etanol, en lugar de metano. Las bacterias acetogénicas crecen mucho más rápido que las bacterias metanogénicas (Conagua, 2009).

Finalmente, la última categoría de bacterias está comprendida por las bacterias metanogénicas. Este grupo de microorganismos está comprendido de bacterias gram-positivas y gram-negativas, con una amplia variedad de formas. Los microorganismos crecen lentamente en las aguas residuales; su tiempo de generación es alrededor de 3 días a 25 °C y aumenta a 50 días cuando se trabaja a 10 grados Celsius (Conagua, 2009).



La reacción anterior es la ecuación que gobierna el fenómeno de producción de metano en los filtros anaerobios es la siguiente: el hidrogeno utilizado por los metanógenos ayuda a mantener las presiones parciales a niveles bajos para conversión de ácidos volátiles y alcoholes

en acetato. Las bacterias específicas que convierten el acetato en CH_4 y CO_2 se denominan bacterias acetoclásticas o bacterias divisoras de acetato (Conagua, 2009).

Cuadro 8. Composición del biogás producido en el tratamiento anaerobio de aguas residuales.

Compuesto	Porcentaje % (v/v)
Metano	60 – 70
Dióxido de carbono	15 – 40
Sulfuro de hidrógeno	0.05 – 5
Nitrógeno	0 – 20

Fuente: (RAS, 2000)

Cuadro 9. Características del metano producido en tratamientos anaerobios.

Descripción	Valor	Unidades
Producción a 35 °C	0.4	m ³ / kg DQO
Densidad a 35 °C	0.6346	kg/m ³
Contenido energético	50.1	kJ/g

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

d. Factores que afectan el proceso anaerobio. Existen características del agua residual que pueden ser factores determinantes del buen funcionamiento del proceso anaerobio, como lo son: el contenido de compuestos tóxicos, la concentración de la materia orgánica, la temperatura, el potencial de hidrógeno, los nutrientes, entre otros (Conagua, 2009).

(1) Temperatura. El proceso anaerobio de depuración de aguas residuales se lleva a cabo en el intervalo de temperaturas de 25 a 40 °C, con una temperatura óptima de 35 grados Celsius que se encuentra dentro del rango del proceso mesofílico. La temperatura es un factor importante debido a que la actividad metabólica de la población de los microorganismos, la tasa de transferencia de gases y las características de sedimentación de los sólidos biológicos varían con respecto a este factor (Conagua, 2009).

(2) Potencial de hidrógeno. El pH del agua residual en el tratamiento anaerobio debe estar alrededor de 6.6 y 7.6, valores fuera de este intervalo pueden afectar el proceso; a valores por debajo de 6 es posible que por el efecto de una cantidad elevada de ácidos grasos volátiles acumulados en el reactor, las bacterias que producen el metano se inhiban; a valores por encima de 8 se presenta un fenómeno de generación de iones tóxicos para el proceso anaerobio que afecta directamente a las bacterias (Conagua, 2009).

El problema principal es mantener el potencial por encima de 6.6, debido a que los ácidos producidos durante el arranque, sobrecarga u otro desequilibrio en el proceso pueden causar una rápida caída del pH, inhibiendo de esta forma la producción de metano (Conagua, 2009).

(3) Alcalinidad total. La alcalinidad es una medida para la determinación de la capacidad de amortiguamiento de un proceso. Este factor se encuentra presente en el agua como bicarbonatos. La alcalinidad es uno de los factores más significativos que puede afectar negativamente en la economía del proceso anaerobio. La concentración total de alcalinidad debe estar entre 2000 y 4000 mg/L de CaCO_3 para reducir el efecto de acidez y para mantener un pH aceptable. El principal consumidor de alcalinidad es el dióxido de carbono, el cual es producido en las fases de fermentación y metanogénesis. Si la cantidad de alcalinidad no está disponible en el afluente de agua residual o no puede ser producido por la degradación de proteínas y aminoácidos, se puede añadir bicarbonato de sodio o carbonato de calcio (Metcalf & Eddy, 2003).

e. Criterios de diseño del filtro anaerobio. Los filtros anaerobios de flujo ascendente en plantas depuradoras de aguas residuales son construidos en forma de tanques cilíndricos o rectangulares con diámetros y anchuras comprendidos entre 2-8 metros y 3-13 metros respectivamente. El medio filtrante puede ser colocado en toda la profundidad del tanque, o bien, entre el 50 y 70 por ciento del volumen superior del tanque (Metcalf & Eddy, 2003).

- Volumen nominal (efectivo) del líquido

$$V_n = \frac{QS_o}{L_{org}} \quad (E14)$$

Donde:

V_n = volumen nominal del líquido en el filtro anaerobio, m^3

Q = caudal del afluente, m^3/d

S_o = DQO del afluente, $\text{kg DQO}/\text{m}^3$

L_{org} = tasa de carga orgánica, $\text{kg DQO}/\text{m}^3\text{d}$

- Altura del filtro anaerobio

$$H = hm + b + d \quad (E15)$$

Donde:

H = altura total del filtro, m

hm = altura del medio filtrante, m

b = altura del borde libre, m

d = altura bajo del dren, m

- Eficiencia de remoción del filtro anaerobio

$$E = 100[1 - 0.87(TRH)^{-0.5}] \quad (E16)$$

Donde:

E	=	eficiencia de un filtro anaerobio, %
TRH	=	tiempo de residencia hidráulica, h
0.87	=	coeficiente empírico del sistema
0.50	=	coeficiente empírico del medio filtrante

- Concentración de DBO esperada en el efluente

$$DBO_{ef} = S_o - \frac{ES_o}{100} \quad (E17)$$

Donde:

DBO _{ef}	=	concentración total de DBO en el efluente, kg DBO/m ³
S _o	=	concentración total de DBO en el afluente, kg DBO/m ³
E	=	eficiencia remoción, %

- Volumen de metano generado

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (E18)$$

Donde:

V	=	volumen del gas, m ³
n	=	moles del gas, mol
R	=	constante universal de los gases ideales, atm L/mol K
T	=	temperatura absoluta, K
P	=	presión absoluta, atm

3. Tratamiento aeróbico

a. Cinética del crecimiento microbiano. El funcionamiento de los procesos biológicos depende directamente del crecimiento microbiano y la utilización de sustrato. Lo que se busca básicamente es agotar el donante de electrones, es decir, remover el sustrato, por medio de oxidación para producir biomasa, contribuyendo a la concentración de sólidos suspendidos totales en el reactor. La tasa de utilización del sustrato se puede modelar por medio de la siguiente ecuación para sustratos solubles:

$$r_{su} = -\frac{kXS}{K_s + S} \quad (E19)$$

Donde:

r_{su} = tasa de cambio de la concentración de sustrato debido a su utilización, g/m³·d

k = tasa de máxima utilización del sustrato, g sustrato/g microorganismos·d

X = concentración de microorganismos, g/m³

S = concentración del sustrato limitante en la solución, g/m³

K_s = constante de velocidad media, g/m³

(Metcalf & Eddy, 2003)

Cuando el sustrato se está consumiendo a una velocidad máxima, las bacterias también están creciendo a su velocidad máxima. Por tanto, la tasa específica máxima de crecimiento de bacteria se puede relacionar con la tasa máxima de utilización de sustrato por medio de la siguiente ecuación:

$$\mu_m = kY \quad (E20)$$

Donde:

μ_m = tasa específica máxima de crecimiento bacteriano, g células nuevas/g células·d

k = tasa máxima de utilización de sustrato, g/g·d

Y = coeficiente de rendimiento real, g/g

(Metcalf & Eddy, 2003)

b. Diseño de un proceso de crecimiento en suspensión. Para el diseño y operación de un proceso de crecimiento en suspensión se deben calcular los siguientes parámetros:

- Tiempo de retención hidráulica (τ) en el tanque de aireación.

$$\tau = \frac{Q}{V} \quad (E21)$$

Donde:

Q = caudal de ingreso de aguas residuales, m³/d

V = volumen del tanque de aireación, m³

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Relación alimento-microorganismo (F/M), definida como la tasa de DBO o DQO aplicada por unidad de volumen del licor mezclado.

$$F/M = \frac{S_o}{\tau X} \quad (E22)$$

Donde:

S_o = concentración de DBO o DQO en el afluente, g/m³

τ = tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación, d

X = concentración de biomasa en el licor mezclado en el tanque de aireación, g/m³

(Metcalf & Eddy, 2003)

Para sistemas diseñados con un tiempo de retención de sólidos entre 20 y 30 días, el valor de F/M varía en un rango de 0.10-0.05 g DBO/g VSS·d. Por otro lado, para sistemas con un SRT entre 5 y 7 días, el valor puede encontrarse en un rango de 0.3-0.5 g DBO/g VSS·d (Metcalf & Eddy, 2003).

- Tasa específica de utilización del sustrato (U), obtenida dividiendo $-r_{su}$ de la ecuación E19 por X.

$$U = \frac{kS}{K_s + S} \quad (E23)$$

Donde:

k = tasa de máxima utilización del sustrato, g sustrato/g microorganismos·d

S = concentración del sustrato limitante en la solución, g/m³

K_s = constante de velocidad media, g/m³

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Tiempo de retención de sólidos (SRT).

$$\frac{1}{SRT} = YU - k_d \quad (E24)$$

Donde:

Y = coeficiente de rendimiento real, g/g

k_d = coeficiente de decaimiento endógeno, g VSS/g VSS·d

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Concentración del sustrato disuelto en el efluente (S).

$$U = \frac{K_s[1 + (k_d)SRT]}{SRT(Yk - k_d) - 1} \quad (E25)$$

- Carga orgánica volumétrica entrante (L_{org}).

$$L_{org} = \frac{(Q)(S_o)}{(V)(10^3 g/kg)} \quad (E26)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Concentración de DBO en el efluente (BOD_e).

$$BOD_e = sBOD + \left(\frac{1 \text{ g BOD}}{1.42 \text{ g VSS}} \right) \left(\frac{0.85 \text{ g VSS}}{\text{g TSS}} \right) (TSS, mg/L) \quad (E27)$$

Donde:

sBOD = Demanda Bioquímica de Oxígeno soluble, mg/L

BOD = Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L

VSS = Sólidos Suspendidos Volátiles, mg/L

TSS = Sólidos Suspendidos Totales, mg/L

(Metcalf & Eddy, 2003)

El volumen del reactor se puede calcular usando cualquiera de los parámetros de carga expuestos anteriormente:

- Con base en la relación F/M:

$$V = \frac{(Q)(S_o)}{(X)(F/M)} \quad (E28)$$

- Con base en el tiempo de retención de sólidos SRT:

$$V = \frac{(SRT)(Q)(S_o)(Y)}{X} \quad (E29)$$

- Con base en la carga orgánica volumétrica:

$$V = \frac{(Q)(S_o)}{(L_{org})} \quad (E30)$$

(Crites & Tchobanoglous, 2000)

4. Transferencia de oxígeno. La transferencia de oxígeno es la operación en la que el oxígeno se transfiere del estado gaseoso a una fase líquida. Esto es importante principalmente en los procesos aeróbicos, como la producción de lodos activados, la filtración biológica o la digestión aeróbica. Para llevar a cabo una transferencia de oxígeno suficiente para suplir los requerimientos del proceso, es necesario implementar sistemas de aireación que introduzcan oxígeno puro o aire al agua. Los diferentes dispositivos para la aireación se evalúan con base en la cantidad de oxígeno transferido por unidad de aire introducida al agua en condiciones equivalentes (Metcalf & Eddy, 2003).

Para estimar la velocidad de transferencia de oxígeno en sistemas de aireación se utiliza la siguiente ecuación:

$$r_M = K_L a (C_s - C) \quad (E31)$$

Donde:

r_M = tasa de oxígeno usada por los microorganismos

$K_L a$ = coeficiente global de transferencia de oxígeno

C_s = concentración inicial de oxígeno

C = concentración de oxígeno en la solución

(Metcalf & Eddy, 2003)

El valor del coeficiente global de transferencia de oxígeno es función de la temperatura y se ve afectado también por la intensidad de mezclado, la geometría del tanque y las características del agua residual. Para corregir dichos efectos, se utilizan los siguientes factores de corrección:

- Corrección por temperatura.

$$K_L a_{(T)} = K_L a_{(20^\circ C)} \theta^{T-20} \quad (E32)$$

Donde:

$K_L a_{(T)}$ = coeficiente global de transferencia de oxígeno a la temperatura T, s⁻¹

$K_L a_{(20^\circ C)}$ = coeficiente global de transferencia de oxígeno a 20°C, s⁻¹

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Corrección por efectos de intensidad de mezclado y geometría del tanque:

$$\alpha = \frac{K_L a \text{ (agua residual)}}{K_L a \text{ (agua corriente)}} \quad (E33)$$

Donde:

α = es el factor de corrección, el cual tiene valores típicos entre 0.3 y 1.2.

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Corrección por las características del agua residual:

$$\beta = \frac{C_s \text{ (agua residual)}}{C_s \text{ (agua limpia)}} \quad (E34)$$

Donde:

β = es el factor de corrección, el cual tiene valores típicos 0.7 y 0.98. Para aguas residuales se suele utilizar un factor de 0.95.

(Metcalf & Eddy, 2003)

El valor de oxígeno requerido se calcula aplicando todos los factores de corrección antes mencionados para un requerimiento estándar de oxígeno. La interrelación de estos factores se expresa como:

$$TRTO = TETO \left(\frac{\beta C_{sTH} - C_L}{C_{s20}} \right) (1.024^{T-20}) (\alpha) (F) \quad (E35)$$

Donde:

TRTO = tasa real de transferencia de oxígeno en condiciones de campo, kg O₂/h

TETO = tasa estándar de transferencia de oxígeno en el agua de la llave a 20°C y cero de oxígeno disuelto, kg O₂/h

B = factor de corrección para la salinidad y tensión superficial.

C_{sTH} = concentración media de la saturación de oxígeno disuelto en el agua limpia de un tanque de aireación a una temperatura y una altitud H, mg/L

C_L = concentración de oxígeno de funcionamiento, mg/L

C_{s20} = concentración de saturación de oxígeno disuelto en el agua limpia a 20°C y 1 atm, mg/L

T = temperatura de funcionamiento, °C

α = es el factor de corrección por intensidad de mezclado y geometría del tanque

F = factor de obstrucción para difusores finos y muy finos, típicamente de 0.65 a 0.9.

(Metcalf & Eddy, 2003)

Para calcular la concentración C_{sTH} se utiliza la siguiente expresión:

$$C_{sTH} = (C_{sTH}) \frac{1}{2} \left(\frac{P_d}{P_{atmH}} + \frac{O_t}{21} \right) \quad (E36)$$

Donde:

C_{sTH} = concentración de la saturación de oxígeno en el agua limpia a una temperatura T y una altitud H, mg/L

P_d = presión a la profundidad de liberación de aire, kPa

P_{atmH} = presión atmosférica a altura H, kPa

P_{atmH} = porcentaje de la concentración de oxígeno que sale del tanque, generalmente de 18 a 20.

(Metcalf & Eddy, 2003)

Para determinar la presión atmosférica a la altura de operación, se puede utilizar la siguiente relación:

$$p_{atmH} = p_a * \exp \left[- \frac{gM(z_H - z_a)}{RT} \right] \quad (E37)$$

Donde:

p_a = presión a la altura de referencia, 1.01325×10^5 N/m²

g = aceleración debida a la gravedad, 9.81 m/s²

M = moles de aire = 28.97 kg/kg-mol

z_H = elevación, m

z_a = elevación de referencia, m

R = constante universal de los gases = 8314 kg·m²/s²·kg-mol·K

T = temperatura, K

(Metcalf & Eddy, 2003)

Por otro lado, para determinar la presión a la profundidad de liberación de aire, se utiliza la ecuación siguiente:

$$P_d = P_{atm} + \rho gh \quad (E38)$$

Donde:

P_{atm} = presión atmosférica a la altura H, Pa

ρ = densidad del agua, kg/m³

g = aceleración debida a la gravedad, 9.81 m/s²

h = profundidad a la que se libera el agua, m

(McCabe, 2007)

Los dos métodos básicos para la aireación de aguas residuales son: 1) inyección de aire u oxígeno puro en el agua por medio de difusores sumergidos o cualquier otro dispositivo de aireación; 2) agitación mecánica de las aguas para promover una solución del aire desde la atmósfera. En este módulo se consideran únicamente los difusores sumergidos.

a. Difusores. Los sistemas de difusión de aire se pueden clasificar en tres categorías: 1) difusores porosos o de poro fino; 2) difusores no porosos; 3) otros dispositivos de difusión, como aireadores jet, aireadores de aspiración y aireadores de tubo en U (Metcalf & Eddy, 2003).

Los difusores porosos suelen ser de cerámica o materiales plásticos, siendo los más utilizados los difusores de domo, de disco y de membrana. Estos pueden colocarse sobre colectores de aire a lo largo del tanque o se pueden instalar en un sistema de tuberías cuadrículado en el fondo del tanque para proveer una aireación uniforme. Estos tipos de difusores tienen alta eficiencia de transferencia de oxígeno (entre 25 y 37%) y producen burbujas finas. Se pueden utilizar para cualquier sistema de lodos activados y digestión aeróbica (Metcalf & Eddy, 2003). La cantidad de difusores a colocar depende de la cantidad de oxígeno requerida por el sistema y el caudal máximo que pueda proveer cada unidad de difusión.

b. Sopladores. Para la aireación de tanques se suelen usar sopladores de tipo centrífugo, de lóbulos de desplazamiento positivo o difusores de varilla de guía de entrada. Los primeros son ideales para operaciones que requieren una capacidad mayor a 425 m³/min de aire libre. Manejan presiones de descarga entre 48 y 62 kN/m². Por otro lado, los sopladores de lóbulos de desplazamiento positivo son utilizados cuando la capacidad requerida es menor a los 425 m³/min de aire libre, y trabajan a presiones mayores a los 55 kN/m² (Metcalf & Eddy, 2003).

Es importante recalcar que en este tipo de sistemas el flujo de aire puede variar, pero la presión debe mantenerse constante bajo distintas condiciones ambientales. Los difusores de

varilla de guía de entrada son dispositivos más recientes que amortiguan la variación de presiones. Su capacidad varía de 85 a 1700 m³/min a presiones hasta de 170 kN/m² (Metcalf & Eddy, 2003).

La potencia requerida para los sopladores que realizan una compresión adiabática se determina con la siguiente ecuación:

$$P_w = \frac{W_{aire}RT_1}{29.7ne} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right] \quad (E39)$$

Donde:

P_w = potencia requerida para cada soplador, kW

W_{aire} = flujo másico de aire, kg/s

R = constante de gases en ingeniería para el aire = 8.314 kJ/k-mol·K

T_1 = temperatura absoluta de ingreso, K

P_1 = presión absoluta de ingreso, atm

P_2 = presión absoluta de salida, atm

$n = (k-1)/k = 0.283$ para aire

$k = 1.395$ para aire

29.7 = constante de conversión para el SI

e = eficiencia del soplador (normalmente varía entre 0.70 y 0.90)

(Metcalf & Eddy, 2003)

Cuando se aumenta la presión de un fluido compresible de forma adiabática, la operación conlleva un aumento de la temperatura. Para el cambio isentrópico de presión de un gas ideal, la relación de temperatura es:

$$\frac{T_b}{T_a} = \left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{1-1/\gamma} \quad (E40)$$

Donde:

T_a, T_b = temperaturas absolutas de entrada y salida, respectivamente

p_a, p_b = presiones de entrada y salida, respectivamente

γ = relación de calores específicos c_p/c_v

(McCabe, 2007)

c. Tuberías de aire. Las tuberías para el sistema de aireación sirven para transportar aire comprimido de los sopladores a los difusores de aire. Debido a que se manejan presiones bajas, se pueden utilizar tuberías ligeras. Las tuberías se deben diseñar de forma que las caídas de presión a lo largo del sistema sean inferiores al 10% respecto a la caída de presión en los difusores (Metcalf & Eddy, 2003). Las velocidades típicas para tuberías se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Velocidades típicas en tuberías de aireación.

Diámetro de tubería		Velocidad (m/min)
pulg	mm	
1-3	75-225	360-540
4-10	100-250	540-900
12-24	300-600	800-1200
30-60	750-1500	1100-2000

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

En tuberías, es importante determinar las pérdidas por fricción a lo largo de la trayectoria del fluido. Para ello, se debe calcular primero el número de Reynolds con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D\bar{V}\rho}{\mu} \quad (E41)$$

Donde:

D = diámetro del tubo

\bar{V} = velocidad promedio del fluido

μ = viscosidad del fluido

ρ = densidad del fluido

(McCabe, 2007)

Con el número de Reynolds y para tuberías circulares, se procede a determinar el factor de Fanning¹. Las pérdidas por fricción de superficie se pueden estimar con la ecuación:

$$h_{fs} = 4f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (E42)$$

Donde:

h_{fs} = pérdidas por fricción de superficie

f = factor de fricción de Fanning

L = longitud de la tubería

D = diámetro de la tubería

\bar{V} = velocidad promedio del fluido

(McCabe, 2007)

Además, se deben considerar las pérdidas por expansión o contracción de la sección transversal, y las pérdidas por efecto de válvulas y accesorios:

¹ Se utiliza el gráfico presentado en Anexos II, sección G.

- Pérdida por fricción debida a una expansión súbita de la sección transversal.

$$h_{fe} = K_e \frac{\bar{V}a^2}{2} \quad (E43)$$

Donde:

$\bar{V}a$ = velocidad media en la parte estrecha del conducto

K_e = coeficiente de pérdida por expansión, dado por la siguiente expresión:

$$K_e = \left(1 - \frac{S_a}{S_b}\right)^2 \quad (E44)$$

Donde,

S_a = área de sección transversal de los ductos de la corriente de ingreso.

S_b = área de sección transversal de los ductos de la corriente de salida.

(McCabe, 2007)

- Pérdida por fricción debida a una contracción súbita de la sección transversal.

$$h_{fc} = K_c \frac{\bar{V}b^2}{2} \quad (E45)$$

Donde:

$\bar{V}b$ = velocidad media de la corriente a la salida de la sección estrecha

K_c = coeficiente de pérdida por contracción, dado por la siguiente expresión:

$$K_c = 0.4 \left(1 - \frac{S_a}{S_b}\right) \quad (E46)$$

(McCabe, 2007)

- Pérdida por fricción debida al efecto de válvulas y accesorios.

$$h_{ff} = K_f \frac{\bar{V}a^2}{2} \quad (E47)$$

Donde:

$\bar{V}a$ = velocidad media en la tubería que conduce al accesorio

K_f = factor de pérdida para el accesorio. En el Cuadro 11 se presentan dichos factores para accesorios.

(McCabe, 2007)

Cuadro 11. Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios de tubería con cuerda estándar.

Accesorio	K_f
Codo estándar	
45°	0.35
90°	0.75
T	
En líneas rectas	0.4
Usados como codo	1.0
Retorno, 180°	1.5
Válvula de compuerta	
Semiabierta	4.5
Completamente abierta	0.17
Válvula de ángulo, completamente abierta	2.0
Válvula de globo, completamente abierta	

Fuente: (McCabe, 2007)

Las pérdidas antes mencionadas pueden condensarse en la siguiente expresión para calcular la fricción total:

$$h_f = \left(4f \frac{L}{D} + K_c + K_e + K_f \right) \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (\text{E48})$$

(McCabe, 2007)

Además, se pueden agregar pérdidas de fricción por otros dispositivos conectados a la tubería, según muestra el Cuadro 12.

Cuadro 12. Valores comunes de pérdidas de cabeza debido a filtros de aire, silenciadores y válvulas de cheque.

Dispositivo instalado	Pérdida de cabeza	
	mm	pulg
Filtro de aire	13-76	0.5-3
Silenciador		
Soplador centrífugo	13-38	0.5-1.5
Soplador de desplazamiento positivo	152-216	6-8.5
Válvula de cheque	20-203	0.8-8

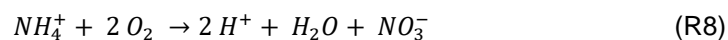
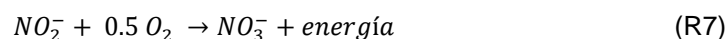
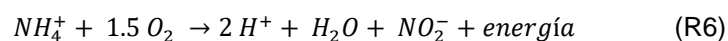
Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

5. **Nitrificación biológica.** La nitrificación es un proceso biológico que sucede en dos pasos. Primero se da la oxidación de amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$) por las bacterias Nitrosomonas, que resulta en la producción de nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$). Seguidamente, el nitrito es oxidado por las bacterias Nitrobacter para obtener nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$). La importancia de este proceso reside en la eliminación del amonio, el cual es un compuesto tóxico para seres vivos; en la necesidad de controlar la eutrofización; y en la reducción de nitrógeno para la reutilización del agua en aplicaciones posteriores (Metcalf & Eddy, 2003).

Para procesos de crecimiento en suspensión, es normal que se lleve a cabo la nitrificación en el mismo tanque de aireación donde sucede la remoción de DBO. Debido a que las bacterias nitrificadoras crecen más lento que las bacterias heterotróficas, los sistemas con nitrificación generalmente tienen tiempos de retención más largos que los que están diseñados únicamente para la remoción de DBO.

La nitrificación es un proceso autotrófico, es decir, la energía necesaria para el crecimiento bacteriano se obtiene de la oxidación de compuestos de nitrógeno. Para la síntesis de células nuevas, los organismos nitrificadores usan dióxido de carbono (carbono inorgánico) (Suárez y Jácome, 2007).

Como se mencionó anteriormente, el proceso sucede en dos etapas. Inicialmente, las bacterias nitrificantes oxidan el amonio que traen las aguas residuales, además del nitrógeno liberado por las reacciones heterotróficas. Posteriormente, sucede la oxidación del nitrito. Finalmente sucede la reacción global. A continuación se detallan las respectivas reacciones.



(Suárez y Jácome, 2007)

Para sistemas en los que se opera a temperaturas menores a los 28°C , la cinética de oxidación del amonio es limitante en cuanto a velocidad respecto a la cinética de oxidación del nitrito, por tanto, los diseños se basan en la cinética de saturación de la oxidación de amonio. La tasa de nitrificación se ve afectada por la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Considerando lo anterior, la tasa de crecimiento específico se modela de la siguiente forma:

$$\mu_n = \left(\frac{\mu_{nm,T} N}{K_{n,T} + N} \right) \left(\frac{DO}{K_o + DO} \right) - k_{dn,T} \quad (\text{E49})$$

Donde:

μ_n = tasa específica de crecimiento de las bacterias nitrificadoras, g células nuevas/g células·d

$\mu_{nm,T}$ = tasa específica máxima de crecimiento de las bacterias nitrificadoras, g células nuevas/ g células·d

N = concentración de nitrógeno, g/m³

$K_{n,T}$ = constante de velocidad media, g/m³

DO = concentración de oxígeno disuelto, g/m³

K_o = coeficiente de saturación media para la DO, g/m³

$k_{dn,T}$ = coeficiente de decaimiento endógeno para organismos nitrificadores, g VSS/g VSS·d

(Metcalf & Eddy, 2003)

Para un proceso de crecimiento en suspensión en tanque de aireación con nitrificación, los requerimientos totales de oxígeno se pueden determinar con la siguiente ecuación:

$$R_o = Q(S_o - S) - 1.42 P_{X,bio} + 4.33Q(NO_x) \quad (E50)$$

Donde:

R_o = oxígeno total requerido, g/d

$P_{X,bio}$ = biomasa desechada como sólidos suspendidos volátiles (VSS), g/d

Q = caudal

NO_x = contenido de nitrógeno en el afluente, mg/L

S_o = concentración de sustrato en el afluente, g/m³

S = concentración del sustrato en el efluente, g/m³

(Metcalf & Eddy, 2003)

Para la ecuación anterior, se calcula la biomasa desechada como sólidos suspendidos volátiles de la siguiente manera:

$$P_{X,bio} = \frac{QY(S_o - S)}{1 + (k_{d,T})SRT} + \frac{(f_d)(k_{d,T})QY(S_o - S)SRT}{1 + (k_{d,T})SRT} + \frac{QY_n(NO_x)}{1 + (k_{dn,T})SRT} \quad (E51)$$

Donde:

Y = rendimiento observado, g VSS/g remoción de sustrato

SRT = tiempo de retención de sólidos

f_d = fracción de biomasa que permanece como restos de célula

(Metcalf & Eddy, 2003)

En el diseño de procesos biológicos de crecimiento en suspensión con nitrificación, se suelen utilizar los valores de las constantes cinéticas presentadas en los cuadros 13 y 14.

Cuadro 13. Coeficientes cinéticos para bacterias heterotróficas en procesos de lodos activados a 20°C.

Coeficiente	Unidad	Rango	Valor típico
μ_m	g VSS/g VSS·d	3.0-13.2	6.0
K_s	g bCOD/m ³	5.0-40.0	20.0
Y	g VSS/ g bCOD	0.30-0.50	0.40
k_d	g VSS/ g VSS·d	0.06-0.20	0.12
f_d	Adimensional	0.08-0.20	0.15
Valores θ			
μ_m	Adimensional	1.03-1.08	1.07
k_d	Adimensional	1.03-1.08	1.04
K_s	Adimensional	1.00	1.00

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

Cuadro 14. Coeficientes cinéticos para la nitrificación en procesos de lodos activados a 20°C.

Coeficiente	Unidad	Rango	Valor típico
$\mu_{m,n}$	g VSS/g VSS·d	0.20-0.90	0.75
K_n	g N/m ³	0.5-1.0	0.74
Y_n	g VSS/ g N	0.10-0.15	0.12
k_{dn}	g VSS/ g VSS·d	0.05-0.15	0.08
K_o	g/m ³	0.40-0.60	0.50
Valores θ			
μ_n	Adimensional	1.06-1.123	1.07
K_n	Adimensional	1.03-1.123	1.053
k_{dn}	Adimensional	1.03-1.08	1.04

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

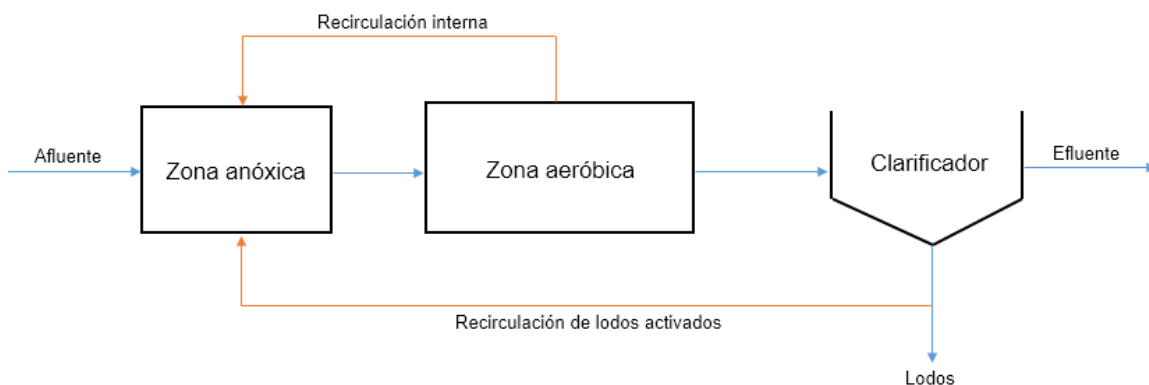
a. Proceso de crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno Ludzack-Ettinger Modificado (MLE). El proceso de Ludzack-Ettinger Modificado (MLE por sus siglas en inglés) es uno de los procesos para la remoción de nitrógeno más utilizados y se puede adaptar fácilmente a instalaciones de lodos activados ya existentes. Tiene una recirculación interna que provoca el aumento de la concentración de nitrato en la zona anóxica. Con esto, tanto la tasa de desnitrificación, como la eficiencia general de remoción de nitrógeno aumentan. La razón del flujo de recirculación interna suele estar entre 2 y 4 (Metcalf & Eddy, 2003). Los parámetros de diseño típicos para este tipo de procesos se describen en el siguiente cuadro:

Cuadro 15. Parámetros de diseño típicos para el proceso Ludzack-Ettinger Modificado (MLE) para la remoción de nitrógeno.

Parámetro de diseño	Unidad	Valor
SRT	d	7-20
SSLM ²	mg/L	3000-4000
Tiempo de retención hidráulica (τ)		
Zona anóxica	h	1-3
Zona aeróbica	h	4-12
Total	h	5-15
Tasa de recirculación de lodos activados	% de afluente	50-100
Tasa de recirculación interna	% de afluente	100-200

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

Figura 13. Proceso de crecimiento en suspensión para remoción de nitrógeno Ludzack-Ettinger Modificado.



K. Tratamiento terciario

1. Tratamiento aeróbico

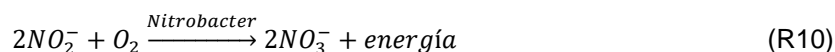
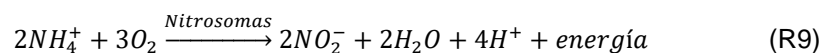
a. Eliminación de nutrientes. Los compuestos inorgánicos que representan una amenaza seria en la contaminación de los mantos de agua son el nitrógeno y el fosforo. La consecuencia más relevante de contaminación es la eutrofización, la cual es una respuesta del ecosistema debido al aumento de nutrientes causando un crecimiento exponencial de algas. Esto causa mala apariencia de las aguas, malos olores por descomposición de plantas y niveles bajos de oxígeno disuelto, lo cual afecta negativamente a la respiración de la fauna y flora acuática. (Knobelsdorf, 2005).

² SSLM: sólidos suspendidos en el licor de mezcla.

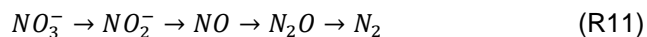
El nitrógeno y fósforo se encuentran en el agua, mayormente, en su fracción soluble (amonio, nitratos, polifosfatos y ortofosfatos). La fuente de nitrógeno en el agua se debe principalmente por las conversiones metabólicas de los compuestos derivados de los excrementos (urea y proteínas). El fósforo proviene de los detergentes sintéticos. (Knobelsdorf, 2005)

La remoción de dichos nutrientes se puede realizar a través de tratamientos biológicos. Estos procesos se basan en la utilización de microorganismos, los cuales asimilan las sustancias en suspensión o disueltas con el fin de incorporarlas a su metabolismo celular y de obtener energía para sus funciones vitales. La clasificación principal de los tratamientos biológicos se puede dividir en dos, cultivo en suspensión (en el cual se basará este trabajo) y cultivo fijo. En estos procesos se dan distintas reacciones microbiológicas que se pueden llevar a cabo bajo condiciones aerobias (presencia de oxígeno disuelto), anóxicas (ausencia de oxígeno disuelto, presencia de nitratos) y anaerobias (ausencia de oxígeno disuelto y nitratos).

b. Remoción biológica de nitrógeno. En la remoción biológica de nitrógeno ocurre la nitrificación y desnitrificación. La nitrificación es la oxidación biológica del nitrógeno amoniacal. Esto se da en dos etapas, en la primera el ion amonio se oxida a nitritos (R9) y luego estos se oxidan a nitratos (R10). Las reacciones las llevan a cabo dos géneros de bacterias autótrofas aerobias llamadas nitrificantes.

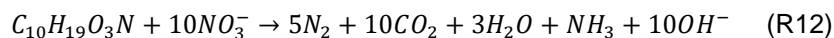


La desnitrificación es la reducción biológica del nitrato a nitrógeno gas. En este proceso, el nitrato se transforma en nitrito y este a su vez en óxido nítrico, luego en óxido nitroso y finalmente en nitrógeno gas que se libera a la atmósfera (R11). Los organismos responsables de dichas reacciones son heterótrofos aerobios facultativos, los cuales en condiciones anóxicas son capaces de utilizar los nitratos y nitritos como aceptores de electrones en lugar del oxígeno disuelto.

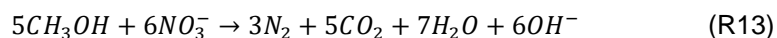


En el proceso de desnitrificación se da una transferencia de electrones, de un donador de electrones, fuente de carbono orgánico, a un aceptor de electrones, nitrato. La fuente de carbono orgánico puede provenir de la materia orgánica presente en el agua residual o de un sustrato externo (metanol, etanol o ácido acético).

- Aguas residuales



- Metanol

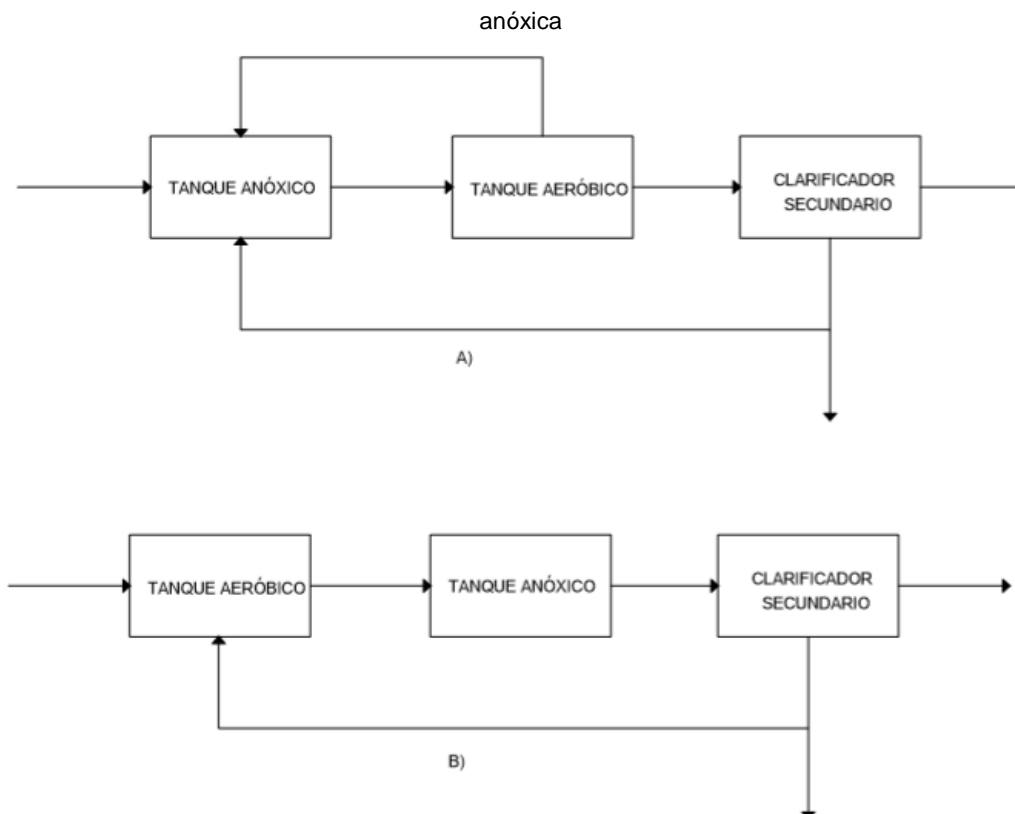


- Ácido acético



En la Figura 14 se muestran dos diagramas de bloques que representan los dos procesos más comunes para la desnitrificación por lodos activados (tratamiento biológico con cultivo en suspensión). El diagrama A es el proceso modificado de Ludzak-Ettinger, el más utilizado en plantas de tratamiento municipales. A este proceso se le conoce como desnitrificación pre-anóxica debido a que el tanque anóxico se encuentra antes del tanque de aireación en donde ocurre la nitrificación. La materia orgánica (DBO) contenida en las aguas residuales es la que provee los electrones para que se dé la oxidación-reducción del nitrato. Por otro lado, el diagrama B muestra el proceso de desnitrificación post-anóxica. En este tratamiento el tanque anóxico se encuentra después del tanque de aireación, por lo que el DBO fue previamente removido y se requiere de una fuente de carbono orgánico externa como metanol, etanol o ácido acético, generalmente, para que se reduzcan los nitratos.

Figura 14. Tipos de procesos de desnitrificación: A) desnitrificación pre-anóxica y B) desnitrificación post-



Uno de los métodos para determinar el volumen del tanque anóxico y la cantidad de nitrógeno removido es utilizar balances de masa del nitrógeno y la tasa de desnitrificación específica (SDNR) como parámetro de diseño. Para el cálculo del volumen del tanque anóxico se utiliza la Ecuación E52, en donde el tiempo de retención hidráulico varía de acuerdo con la remoción de nitratos que se quiera alcanzar. El tanque anóxico requiere de agitación mecánica y los rangos típicos de requerimiento de energía van de 8 a 13 kW/10³m³ (Metcalf & Eddy, 2003).

$$V_{nox} = \tau Q \quad (E52)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

V_{nox} = volumen de tanque anóxico

τ = tiempo de retención hidráulico

Q = caudal de entrada al tanque anóxico

Otro parámetro de diseño muy importante es la demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable (rbCOD); de no contar con este valor se puede utilizar una aproximación del 15% a 25% de la demanda química de oxígeno biodegradable (bCOD). Este último, a su vez, tiene la siguiente relación:

$$bCOD \cong 1.6(BDO) \quad (E53)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

$bCOD$ = demanda química de oxígeno biodegradable

BDO = demanda bioquímica de oxígeno

El balance de masa del nitrógeno se requiere ya que a partir de este se determina cuánto nitrato se produce en la zona de aireación y cuál es la tasa de recirculación interna necesaria para alcanzar la concentración de nitrógeno deseada en el efluente. Se asume que el nitrógeno total de Kjeldahl (amoníaco + nitrógeno orgánico, TKN) en el afluente es biodegradable y se desprecia el nitrógeno orgánico soluble en el efluente.

$$\begin{array}{ccccccc} NO_3^- \text{ producido} & = & NO_3^- \text{ en} & + & NO_3^- \text{ en} & + & NO_3^- \text{ en} \\ \text{en zona} & & \text{efluente} & & \text{recirculación} & & \text{recirculación} \\ \text{aeróbica} & & & & \text{interna} & & \text{de lodos} \\ & & & & & & \text{activados} \end{array}$$

$$QNO_x = N_e(Q + IRQ + RASQ) \quad (E54)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

$$IR = \frac{NO_x}{N_e} - 1.0 - R \quad (E55)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

IR = tasa de recirculación interna

NO_x = concentración de nitratos producidos en el tanque aeróbico

N_e = concentración de nitratos en el efluente

R o RAS = tasa de recirculación de lodos activados

Al determinar la tasa de recirculación interna, se puede conocer el caudal másico de NO_3 que ingresa al tanque anóxico a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{nox} = [(IRQ) + (RQ)]/N_e \quad (E56)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

Q_{nox} = caudal másico de alimentación de NO_3

IR = tasa de recirculación interna

R o RAS = tasa de recirculación de lodos activos

Q = caudal de afluente

N_e = nitrato en el efluente

El $SDNR$ es la tasa de reducción de nitratos en el tanque anóxico de acuerdo con la concentración de sólidos suspendidos volátiles en la mezcla de licor ($MLVSS$). La cantidad de nitrógeno removido se calcula de la siguiente manera:

$$NO_r = (V_{nox})(SDNR)(MLVSS) \quad (E57)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

NO_r = nitrato removido

V_{nox} = volumen del tanque anóxico

$SDNR$ = tasa de desnitrificación específica

$MLVSS$ = sólidos suspendidos volátiles en la mezcla de licor

Los valores de diseño del $SDNR$ a $20^\circ C$ se pueden determinar gráficamente (Figura 15). La relación F/M_b (sustrato para microorganismos) se basa únicamente en la concentración de la biomasa activa de microorganismos heterótrofos en la mezcla de licor, por lo que se puede aplicar sin importar la concentración de sólidos no biodegradables en la mezcla de licor y del tiempo de retención de sólidos (SRT).

$$F/M_b = \frac{Q(S_o)}{V_{nox}(X_b)} \quad (E58)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

F/M_b = relación F/M a partir del DBO

Q = caudal de afluente

S_o = concentración de DBO en el afluente

V_{nox} = volumen anóxico

X_b = concentración de biomasa en la zona anóxica

La concentración de biomasa en la zona anóxica se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$X_b = \left[\frac{Q(SRT)}{V} \right] \left[\frac{Y(S_o - S)}{1 + k_d(SRT)} \right] \quad (E59)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde, $(S_o - S) \approx S_o$

Q = caudal de afluente

SRT = tiempo de retención de sólidos en el tanque aeróbico

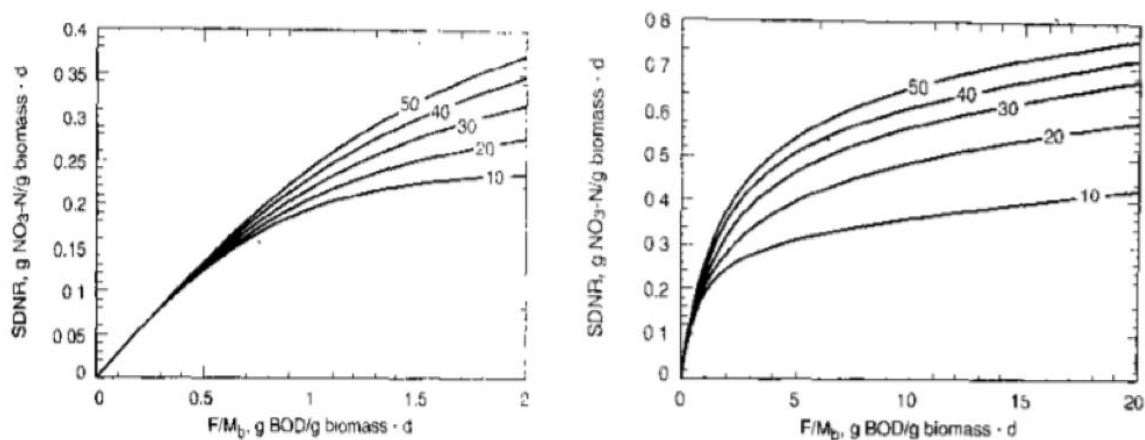
V = volumen del tanque aeróbico

Y = rendimiento de crecimiento

S_o = concentración de bCOD en el afluente

k_d = decaimiento por respiración endógena

Figura 15. Curvas de SNDR basadas en la concentración de biomasa a 20°C contra F/M_b para varias fracciones de rbCOD/bCOD.



Los valores de SNDR determinados a partir de la Figura 15 se deben corregir por temperatura y tasa de recirculación interna. Se hace una corrección por temperatura, siempre y

cuando, el afluente tenga una temperatura diferente a 20°C. La corrección por IR se realiza ya que a mayores tasas el rbCOD se diluye dentro del tanque anóxico debido a la mezcla de licor proveniente del tanque de aireación, lo que resulta en tasas de desnitrificación bajas. Si se tiene F/M menores o iguales a 1, no se requiere de corrección.

- Corrección de SNDR por temperatura.

$$SDNR_T = SNDR_{20} \theta^{T-20} \quad (E60)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

θ = coeficiente de temperatura (1.026)

T = temperatura, °C

- Corrección por recirculación interna (IR).

Si IR = 2:

$$SNDR_{adj} = SNDR_{IR1} - 0.0166 \ln(F/M_b) - 0.0078 \quad (E61)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Si IR = 3-4:

$$SNDR_{adj} = SNDR_{IR1} - 0.029 \ln(F/M_b) - 0.012 \quad (E62)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

$SNDR_{adj}$ = SNDR ajustado por efectos de IR

$SNDR_{IR1}$ = SNDR con IR igual a 1

F/M_b = relación F/M a partir del DBO basado en la concentración de biomasa activa

c. Remoción biológica de fósforo. En los tratamientos biológicos, el fósforo en el afluente se incorpora en las células de la biomasa, la cual se remueve del proceso como lodos de purga. (Metcalf & Eddy, 2003) En el caso de los microorganismos presentes en los lodos activados, estos incorporan en su tejido celular el fósforo en forma de compuestos orgánicos fosfatados. La biomasa de los lodos activados contiene entre 1.5 a 2% de fósforo, en términos de materia seca. (Knobelsdorf, 2005) Por esta razón para determinar la remoción de fósforo se debe de conocer la demanda química de oxígeno biodegradable particulada (bpCOD) y a su vez se requiere conocer la demanda química de oxígeno biodegradable soluble (bsCOD).

$$bsCOD = bCOD - rbCOD \quad (E63)$$

(Patel y Shah)

Donde,

$sbCOD$ = demanda química de oxígeno biodegradable soluble

$bCOD$ = demanda química de oxígeno biodegradable

$rbCOD$ = demanda bioquímica de oxígeno fácilmente biodegradable

$$bpCOD = bCOD - bsCOD \quad (E64)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

$bpCOD$ = demanda química de oxígeno biodegradable particulada

$bCOD$ = demanda química de oxígeno biodegradable

$sbCOD$ = demanda química de oxígeno biodegradable soluble

Al determinar $bpCOD$ se puede conocer la producción de biomasa que posteriormente removerá el fósforo.

$$Biomasa\ producida = \left[\frac{Y}{1+k_d(SRT)} \right] * bpCOD \quad (E65)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

Y = rendimiento de crecimiento

SRT = tiempo de retención de sólidos en el tanque aeróbico

k_d = decaimiento por respiración endógena

$bpCOD$ = demanda química de oxígeno biodegradable particulada

Como se mencionó anteriormente, los lodos activados utilizan el fósforo únicamente para la síntesis de nuevas células. Sin embargo, si estos se trabajan a condiciones anaeróbicas y aerobias se puede asimilar más fósforo del requerido para la síntesis celular. El fósforo en la fase anaerobia puede constituir alrededor un 50% del peso seco de los organismos acumuladores de fósforo (OAF) y en la fase aerobia entre un 2.5 a 5%. (Knobelsdorf, 2005)

2. Eliminación de sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos que no hayan sido removidos en los tratamientos anteriores se pueden remover a partir de procesos de sedimentación, microtamizado, filtración y coagulación. La eliminación de dichos sólidos es muy importante ya que pueden constituir en gran parte de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del efluente. (Ramalho, 2003)

a. Sedimentación. Se le llama sedimentación a la operación por la cual se remueven las partículas de una suspensión por medio de la gravedad. También, se le puede llamar clarificación o espesamiento. (Rojas, 1999).

En el tratamiento de aguas residuales, la sedimentación se usa principalmente para remover sólidos suspendidos sedimentables, tratamiento primario, y también para remover material orgánico o biomasa que se forma en los sistemas de tratamiento secundario. Los tipos de tanques de sedimentación más comunes son los tanques rectangulares o circulares con pantallas de entrada y vertederos efluentes. En los últimos años, se han introducido los sedimentadores de tasa alta, esto con el objetivo de obtener el mismo grado de clarificación que en los sedimentadores convencionales, pero con menor uso de terreno.

Sedimentación de alta tasa se refiere a la sedimentación con elementos poco profundos con módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas. Al momento de diseñar este tipo de sedimentadores se realiza la suposición que se da una sedimentación simple, que ocurre cuando se sedimentan partículas discretas, es decir que las partículas no cambian de forma, tamaño y densidad durante el proceso.

Los sedimentadores de alta tasa mejoran la capacidad de sedimentación mediante elementos de sedimentación, antes mencionados, que se encuentran inclinados con respecto a la horizontal y subdividen el espacio en compartimientos, haciendo que el caudal se divida y se logre un flujo laminar en los mismos. El ángulo de inclinación, generalmente, es de 60° y el espaciamiento entre compartimientos de 0.05 m. (Rincón *et al*, 2014) En este tipo de clarificadores, el agua entra por la parte inferior del módulo, asciende por entre las secciones y se descarga por medio de tuberías perforadas o canaletas ubicadas en la parte superior. También, cuenta con un área específica, como tolvas cónicas, en el fondo para la recolección de los lodos (Figura 16). Por otro lado, la clarificación es mejor ya sea utilizando o no químicos y se consigue la remoción de DBO_5 en un rango de 35 a 40% y de sólidos suspendidos totales del 60%. (WEF, 2005)

Figura 16. Descripción del sistema de un clarificador de alta tasa.

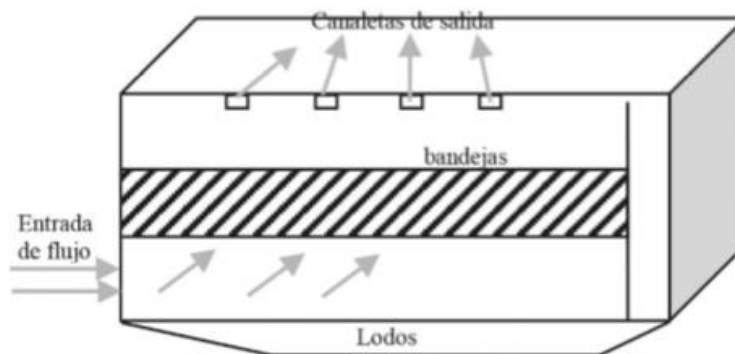


Figura: (Rincón *et al*, 2014)

Para el diseño de sedimentadores, el parámetro que más se utiliza es la carga o tasa superficial de sedimentación ya que a partir de este se obtiene el área superficial de sedimentación, característica principal en los clarificadores.

$$CS = \frac{Q}{A} \quad (E66)$$

(Rojas, 1999)

Donde,

CS = carga o tasa superficial de sedimentación

Q = caudal de entrada al sedimentador

A = área superficial de sedimentación

Otro parámetro importante que considerar al momento de diseñar es la tasa de carga de sólidos al sedimentador. Los valores que se utilizan, generalmente, son de 100 a 150 kg/m²d, sin embargo, hay clarificadores de 240 kg/m²d. (WEF, 2005)

$$SLR = \frac{(Q-Q_R)X}{A} = \frac{(1+R)QX}{A} \quad (E67)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

SLR = tasa de carga de sólidos al sedimentador

Q = caudal de entrada al sedimentador

Q_R = caudal de recirculación de lodos activados

X = concentración de sólidos suspendidos en la mezcla de licor

A = área superficial de sedimentación

R o RAS = tasa de recirculación de lodos activados

Para el diseño de clarificadores de alta tasa se deben conocer los siguientes parámetros:

- Velocidad promedio del fluido

$$v_o = \frac{Q}{A \sin(\theta)} \quad (E68)$$

(Rincón et al, 2014)

Donde,

v_o = velocidad promedio del fluido

Q = caudal de entrada al sedimentador

A = área superficial de sedimentación

θ = ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de tasa alta

- Número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{v_o d}{\nu} \quad (E69)$$

(Rincón et al, 2014)

Donde,

N_{Re} = Número de Reynolds

v_o = velocidad promedio del fluido

d = espaciamiento entre compartimientos

ν = viscosidad cinemática del fluido

- Velocidad crítica de asentamiento

En este tipo de sedimentadores se acostumbra a dejar el primer cuarto de la longitud del sedimentador libre de los elementos de sedimentación para permitir que el caudal ingrese adecuadamente. Sin embargo, en la entrada a los compartimientos existe una región de transición en donde el flujo se convierte gradualmente en flujo completamente laminar. Por lo que la longitud relativa del sedimentador de tasa alta (L) se debe de corregir por la longitud relativa para la región de transición (L').

$$L = \frac{l}{d} \quad (E70)$$

(Rojas, 1999)

Donde,

L = longitud relativa del sedimentador de tasa alta

l = longitud del sedimentador de tasa alta

d = espaciamiento entre compartimientos

*Se recomienda que L sea igual a 20 y en general menor a 40.

$$L' = 0.013 N_{Re} \quad (E71)$$

(Rojas, 1999)

Donde,

L' = longitud relativa para la región de transición

N_{Re} = Número de Reynolds

$$L_c = L - L' \quad (E72)$$

(Rojas, 1999)

Donde,

L_c = longitud relativa del sedimentador de tasa alta en flujo laminar

L = longitud relativa del sedimentador de tasa alta

L' = longitud relativa para la región de transición

$$v_{cs} = \frac{S_v v_o}{\text{seno}(\theta) + L_c \cos(\theta)} \quad (\text{E73})$$

(Rojas, 1999)

Donde,

v_{cs} = velocidad crítica de asentamiento

S_c = parámetro de eficiencia

$S_c = 1$ para placas paralelas

$S_c = 4/3$ para tubos circulares

$S_c = 11/8$ para conductos cuadrados

v_o = velocidad promedio del fluido

θ = ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de tasa alta

L_c = longitud relativa del sedimentador de tasa alta en flujo laminar

Teóricamente, toda partícula con velocidad de sedimentación mayor o igual a la velocidad crítica será removida.

$$v_s = \frac{(\rho_p - \rho)Vg}{3\pi\mu d_p} \quad (\text{E74})$$

(Rojas, 1999)

Donde,

v_s = velocidad de asentamiento de la partícula

ρ_p = densidad de la partícula

ρ = densidad del fluido

V = volumen de la partícula

g = aceleración gravitacional

μ = viscosidad dinámica del fluido

d_p = diámetro hidráulico de la partícula

- Tiempo de retención en los compartimientos

En general, el tiempo de retención en los sedimentadores de tubos es de 3 a 6 min y en los sedimentadores de placas de 15 a 25 min.

$$t_c = \frac{l}{v_o} \quad (\text{E75})$$

(Rojas, 1999)

Donde,

t_c = tiempo de retención en los compartimientos

l = longitud del sedimentado de tasa alta

v_o = velocidad promedio del fluido

Algunas relaciones importantes para el clarificador de alta tasa de placas:

- Área proyectada de un solo plato

$$A_p = (a)(b)\cos(\theta) \quad (E76)$$

(WEF, 2005)

Donde,

A_p = área proyectada de un solo plato

a = largo del plato

b = ancho del plato

θ = ángulo de inclinación del plato

- Área total proyectada

$$A_{tp} = n(a)(b)\cos(\theta) \quad (E77)$$

(WEF, 2005)

Donde,

A_{tp} = área total proyectada

n = número de platos inclinados

a = largo del plato

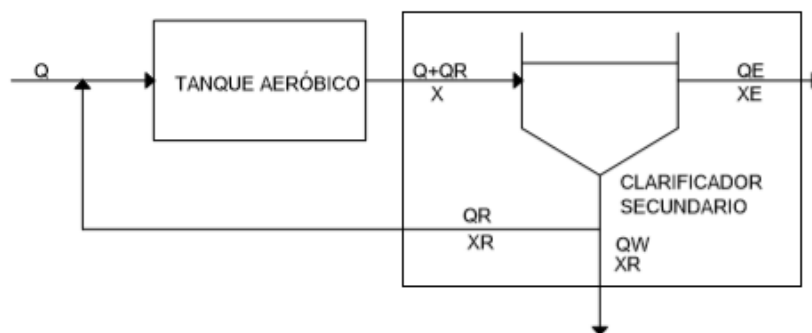
b = ancho del plato

θ = ángulo de inclinación del plato

Los sedimentadores secundarios son una parte fundamental en el tratamiento biológico por lodos activados ya que controlan dos de las variables más importantes: la primera, regular la cantidad de lodos activados que recirculan y la segunda, controlar la cantidad de lodos activados a purgar.

El caudal de recirculación de lodos activados se determina a partir de un balance de masa alrededor del clarificador (Figura 17).

Figura 17. Diagrama de flujo del clarificador secundario



$$0 = X(Q + Q_R) - Q_R X_R - Q_W X_R - Q_E X_E \quad (\text{E78})$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Asumiendo que la concentración de sólidos suspendidos en el efluente es cero, el balance de masa despejando para el caudal de recirculación de lodos suspendidos es:

$$Q_R = \frac{QX - Q_W X_R}{X_R - X} \quad (\text{E79})$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

Q_R = caudal de recirculación de lodos activados

Q = caudal de afluente

X o $MLSS$ = concentración de sólidos suspendidos en una mezcla de licor proveniente del tanquede aireación

Q_W = caudal de purga del clarificador secundario

X_R = concentración de lodos activados en la salida del clarificador secundario

Y, la tasa de recirculación de lodos activados se expresa como:

$$R = \frac{Q_R}{Q} \quad (\text{E80})$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde,

R o RAS = tasa de recirculación de lodos activados

Q_R = caudal de recirculación de lodos activados

Q = caudal de entrada al sedimentador

El caudal de purga de lodos activados se determina a partir del tiempo de retención de sólidos (SRT) ya que lo que se busca es mantener constante ese valor fijado en el diseño, como se muestra a continuación.

$$SRT = \frac{\text{Sólidos suspendidos en el sistema, g}}{\text{Sólidos suspendidos a purgar, g/d}} \quad (\text{E81})$$

$$SRT = \frac{(V + V_{clr})X}{Q_W X_R + Q X_e} \quad (\text{E82})$$

(Kirkpatrick, 1991)

Donde,

SRT = tiempo de retención de sólidos en el tanque aeróbico

V = volumen del tanque de aireación

V_{clr} = volumen del clarificador secundario

X o $MLSS$ = concentración de sólidos suspendidos en una mezcla de licor proveniente del tanque de aireación

Q_w = caudal de purga de lodos activados del clarificador secundario

X_R = concentración de lodos activados en la salida del clarificador secundario

Q = caudal de afluente

X_e = concentración de sólidos suspendidos en el efluente

b. Otros procesos de eliminación de sólidos suspendidos. El proceso de microtamizado se realiza comúnmente con tambores rotativos; los medios de filtración pueden ser arena, antracita o tierra de diatomeas y para la coagulación se utiliza sulfato de alúmina, polielectrolitos o cal.

(1) Adsorción con carbón activado. El carbón activado es muy utilizado como adsorbente en las plantas de tratamiento de aguas residuales para eliminar olores y sabores. El proceso de adsorción se puede llevar a cabo de forma continua o discontinua. La operación continua se realiza en columnas que contienen el carbón activado en mallas, se utilizan de 40 a 80 mallas. En la operación discontinua se mezcla el carbón con el agua residual para luego decantar. El proceso continuo es más económico que el discontinuo y se tienen más aplicaciones (Ramalho, 2003).

(2) Osmosis inversa. El tratamiento de aguas residuales a partir de osmosis inversa consiste en poner en contacto el agua contaminada con una membrana adecuada a una presión superior a la presión osmótica de la solución. En estas circunstancias, el agua con una concentración mínima de contaminantes pasa a través de la membrana. Los contaminantes restantes se concentran en el compartimiento del agua residuales y se obtiene agua purificada en el otro compartimiento (Ramalho, 2003).

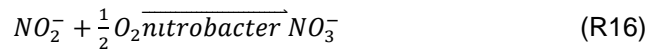
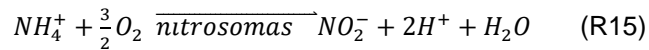
3. Tratamiento anaeróbico

a. Eliminación de nutrientes

(1) Nitrificación biológica. Proceso mediante el cual se convierte a nitrato el nitrógeno presente en el agua residual bruta o decantada. Proceso autotrófico (energía necesaria para el crecimiento bacteriano se obtiene de la oxidación de compuestos de nitrógeno, principalmente del amoníaco) (Metcalf & Eddy, 1995).

Es un proceso que se realiza en dos etapas, en el que toman parte dos familias de microorganismos, los Nitrosomas y los Nitrobacter. En la primera etapa, el amonio se convierte a

nitrito; en la segunda, el nitrito se convierte a nitrato. El proceso de conversión se describe del siguiente modo:



En ambas ecuaciones se produce energía, los microorganismos utilizan la energía desprendida en estas reacciones para el crecimiento y mantenimiento celular. (Metcalf & Eddy, 1995)

Si el cociente $\frac{DBO_5}{NKT} > 5$ entonces el proceso se puede clasificar como proceso combinado de oxidación de carbono y nitrificación y si el cociente es < 3 el proceso se puede clasificar como proceso de nitrificación de etapas separadas (Metcalf & Eddy, 1995).

Para la nitrificación se utiliza un tiempo de residencia mucho mayor en el reactor biológico al que se utiliza normalmente en el proceso convencional. Los compuestos orgánicos se oxidan al igual que los nitrogenados convertidos en nitritos y finalmente en nitratos en presencia de bacterias nitrificantes. Esta fase puede darse en una sola etapa en la cual se combina la oxidación del carbono junto con la nitrificación o en dos etapas en donde se separa la oxidación de la nitrificación (Ramalho,2006).

Se utilizan dos etapas separadas cuando hay inhibidores de la nitrificación. Estos se eliminan considerablemente en la etapa 1, entre un 75-85%. La etapa 1 es un proceso de lodos activos de carga elevada y el tiempo de residencia en el reactor biológico es aproximadamente de 2 horas. La etapa 2 es una nitrificación selectiva en presencia de un cultivo enriquecido e bacterias nitrificantes y el tiempo de residencia en el reactor biológico es de aproximadamente 3 horas. Esta separación de etapas produce niveles de N-NH₄⁺ en el efluente menores a 5mg/L (Ramalho,2003).

El agua no debe de contener metales pesados, cianuros, compuestos halogenados, fenoles, mercaptanos, guanidinas y tiourea ya que todos estos son compuestos tóxicos para las bacterias nitrificantes y el proceso en una sola etapa sería inviable. Si ninguno de estos está presente se puede alcanzar un efluente con niveles de N-NH₄⁺ menores de 10 mg/L (Ramalho,2006).

(2) Desnitrificación. Proceso anaerobio en el que los nitritos y nitratos producidos en la nitrificación se convierten en nitrógeno gaseoso y óxido de nitrógeno mediante bacterias desnitrificantes. La desnitrificación puede llevarse a cabo sin adición de una fuente externa de carbono orgánico, como por ejemplo metanol o aguas residuales industriales, para mantener las exigencias de las bacterias desnitrificantes. Se debe de colocar un reactor flash después de las etapas de desnitrificación para separar aeróbicamente el exceso de producto orgánico agregado y para aumentar el nivel de oxígeno disuelto para que no se produzcan desnitrificaciones adicionales en el clarificador final (Ramalho,2003).

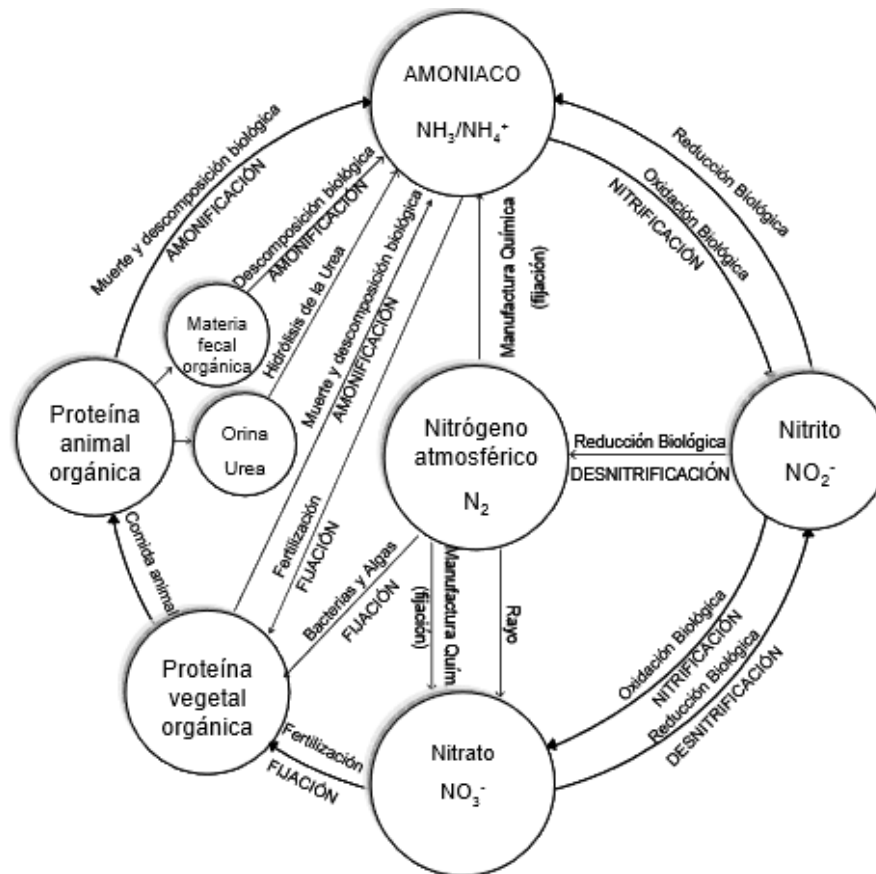
El método más adecuado para eliminar el nitrógeno es la nitrificación/des nitrificación debido a:

- Elevado rendimiento potencial de eliminación
- Alta estabilidad y fiabilidad del proceso
- Relativa facilidad de control del proceso
- Reducidas necesidades de espacio
- Coste moderado

Este es un proceso de dos etapas. En la primera de ellas, el amoníaco se transforma por vía aerobia a nitrato (NO_3^-) (nitrificación) y en la segunda los nitratos se convierten a nitrógeno gas (desnitrificación) (Metcalf & Eddy, 1995).

La desnitrificación se puede llevar a cabo biológicamente bajo condiciones anóxicas. En la reducción del $N^-NO_3^-$ intervienen dos tipos de sistemas enzimáticos: asimilativos y catabólicos. En el primero el $N^-NO_3^-$ se convierte a nitrógeno amoniacal para que las células lo usen en la biosíntesis y en el segundo se forma nitrógeno gas a partir del $N^-NO_3^-$, este proceso resulta en la desnitrificación del agua residual (Metcalf & Eddy, 1995).

Figura 18. Ciclo del Nitrógeno.



Fuente: (Zhu *et al*, 2008)

(3) Nitrificación y desnitrificación simultánea. En este proceso la nitrificación y desnitrificación ocurren en un mismo tanque. Existen dos mecanismos en los que se puede llevar a cabo este proceso, uno físico y otro biológico. El proceso físico de nitrificación – desnitrificación simultánea (SDN) ocurre como consecuencia de concentraciones de gradientes de oxígeno disuelto (OD), tanto en flóculos de un sistema de biomasa como en biopelículas, debido a las limitaciones de difusión del O_2 (Garzón-Zúñiga, 2005). El proceso biológico ocurre debido a que las bacterias nitrificantes se encuentran en la región aerobia, mientras que las desnitrificantes en la zona anóxica. La presencia de un gradiente de concentración de O_2 en flóculos de lodos y en biopelículas ha sido verificada por mediciones con micro electrodos y técnicas con trazadores de N. Una de las explicaciones biológicas se basa en que muchas bacterias desnitrificantes presentan actividad nitrificante en condiciones aerobias y algunas bacterias nitrificantes pueden desnitrificar a bajas concentraciones de OD. De esta manera, la nitrificación y desnitrificación simultánea es la consecuencia de la oxidación del $N-NH_4^+$ por nitrificantes heterótrofos y los $N-NO_3^-$ y $N-NO_2^-$ son reducidos por desnitrificantes aerobios (Zhu *et al*, 2008).

Los parámetros que influyen en este proceso son el pH, el tiempo de retención hidráulico (TRH) y el tiempo de retención celular (Zhu *et al*, 2008).

(4) Eliminación de fósforo. Para eliminar el fósforo se puede utilizar la precipitación química, el proceso de lodos activados, balsas de estabilización, ósmosis inversa y electrodiálisis. Las balsas de estabilización producen eliminaciones elevadas de nitrógeno si las condiciones de luz y temperatura favorecen el crecimiento de las algas, a mayor temperatura se pueden alcanzar separaciones de 80%. La ósmosis inversa y electrodiálisis son métodos muy costosos (Ramalho,2003).

L. Tratamiento cuaternario

El tratamiento cuaternario o desinfección es el último proceso del tratamiento de agua. Este tiene como objetivo eliminar la mayoría de los microorganismos presentes en las aguas residuales y así asegurar una mejor calidad. El hecho que no todos los microorganismos se eliminan es la principal diferencia entre desinfección y esterilización, en donde se da la destrucción total de los microorganismos. Se requiere que los tratamientos previos sean eficientes ya que la desinfección para alcanzar su eficiencia máxima requiere que el agua tenga una turbiedad cercana a la unidad (Barrenechea y Vargas).

1. Factores que influyen en el tratamiento cuaternario

a. Microorganismos presentes y su comportamiento. El tipo de microorganismos que se encuentran en el agua afectan significativamente en el proceso de desinfección. Estos tienen diferentes reacciones frente al desinfectante por la resistencia de sus membranas celulares a la penetración del mismo.

El número de microorganismos presentes en el agua no afecta al proceso de desinfección. Lo que quiere decir que se requiere de la misma concentración y tiempo de contacto del desinfectante para eliminar una cantidad grande o pequeña de microorganismos; siempre y cuando la temperatura y pH sean los mismos.

b. Naturaleza y concentración del agente desinfectante. La concentración del desinfectante determina el tiempo de contacto necesario para eliminar todos los microorganismos presentes en el agua. También, desinfectantes como el cloro y sus derivados pueden formar especies químicas cloradas con diferente eficiencia desinfectante.

c. Temperatura del agua. Se debe de considerar la temperatura del agua ya que esta afecta, de forma inversamente proporcional, a la solubilidad de los agentes desinfectantes en estado gaseoso.

d. Naturaleza y calidad del agua. Si el agua a tratar contiene materia en suspensión la desinfección disminuye debido a que podría actuar como protección para los microorganismos. También, si hay materia orgánica se pueden dar reacciones con los desinfectantes químicos y cambiar su estructura.

e. pH. El pH del agua es de suma importancia controlarlo ya que influencia significativamente en la acción del desinfectante. Cada desinfectante cuenta con un rango específico de pH óptimo, sin embargo, la práctica ha demostrado que entre más alcalina sea el agua se requiere mayor dosis de desinfectante para una misma temperatura y tiempo de contacto.

f. Tiempo de contacto. El tiempo de contacto, como se mencionó anteriormente, está ligado al tipo de desinfectante que se utilice. Sin embargo, en términos generales cuanto mayor sea el tiempo de contacto, mayor será la probabilidad de eliminar a los microorganismos en el agua de acuerdo con una cantidad específica de desinfectante (Barrenechea y Vargas).

2. Mecanismos de desinfección. Los mecanismos de desinfección en una planta de tratamiento de aguas residuales pueden ser químicos y físicos.

a. Tratamientos físicos. Dentro de los tratamientos físicos se encuentra la radiación ultravioleta. La desinfección por radiación ultravioleta se basa en que las ondas cortas de UV inciden y dañan perjudicialmente el material genético de los microorganismos y virus, por lo que les es imposible su replicación. El ADN absorbe los rayos UV en un rango de 200 a 300 nm (Davis, 2010).

b. Tratamientos químicos. Los compuestos químicos que se utilizan para la desinfección del agua, por lo general, son oxidantes fuertes y que tengan una gran eficiencia en la eliminación de microorganismos (Barrenechea y Vargas).

(1) Cloro (Cl_2). El mecanismo que más se emplea en el tratamiento cuaternario es el que utiliza cloro y sus compuestos derivados como agentes de desinfección. El incremento en su uso se debe a su fácil acceso, bajo costo y capacidad oxidante. Una de sus mayores desventajas es la producción de compuestos organoclorados que pueden ser cancerígenos o dañinos al medio ambiente (Solsona y Méndez, 2002).

Este agente penetra en la célula de la bacteria causando su inactivación; los procesos de respiración, transporte y ácidos nucleicos se ven seriamente afectados. En los polivirus el revestimiento de la proteína se ve afectado (Davis, 2010). En el Cuadro 16 se muestran los productos de la familia del cloro que se pueden encontrar en el mercado.

Entre los factores que se deben de considerar para elegir qué tipo de producto utilizar son: la cantidad de desinfectante que se necesita, el abastecimiento del producto, la capacidad técnica con la que se cuenta para el uso, la operación y mantenimiento de los equipos, los riesgos a la salud durante su almacenamiento y manipuleo, y la capacidad económica para asumir costos de inversión, operación y mantenimiento.

La cantidad que se necesita de desinfectante está en función del caudal de aguas residuales a tratar y la dosis requerida depende de la calidad del agua y las normas de cada país. De acuerdo con el cloro gas, no se recomienda para caudales menores a 500 m³/d. Las ecuaciones que se utilizan para la preparación de soluciones de productos no gaseosos y calibración de dosificador se presentan a continuación.

- Preparación a partir de hipoclorito de sodio

$$V_d = \frac{C_o * V_o}{C_f} - V_o \quad (E83)$$

(Solsona y Méndez, 2002)

Donde:

V_d = agua de disolución

C_o = concentración inicial de solución madre

V_o = volumen inicial de solución madre

C_f = concentración final o esperada de la solución

- Preparación a partir de hipoclorito de calcio

$$V_d = \frac{\%(P)}{C_f} \quad (E84)$$

(Solsona y Méndez, 2002)

Donde:

V_d = agua de disolución

% = porcentaje de cloro activo en el producto

P = peso del sólido de hipoclorito de calcio

C_f = concentración esperada de la solución

- Calibración de dosificador.

Los dosificadores se pueden clasificar de acuerdo con su fuerza de impulsión. Es decir, los que trabajan bajo presión atmosférica y los que trabajan bajo presión positiva o negativa.

$$M = \frac{D*Q}{C} \quad (E85)$$

(Solsona y Méndez, 2002)

Donde:

M = cantidad de cloro a dosificar

D = dosis de cloro

Q = caudal a tratar

C = concentración de la solución

Dos de los factores más importantes a considerar al momento de diseñar un sistema de cloración son: (1) el mezclado y (2) el tiempo de contacto entre el desinfectante y las aguas residuales. El mezclado se recomienda que se de en un tiempo de 5-15 segundos (EPA, 1986). Entre los métodos para realizar el mezclado se encuentran los difusores en línea, saltos hidráulicos y mezcladores mecánicos. El mezclado por medio de mezcladores mecánicos se puede realizar usando hélices o turbinas y se requiere de una cámara de mezclado para alcanzar el tiempo requerido de la operación y se dosifique el desinfectante.

- Potencia requerida para mezclado

$$P = G^2 \mu V \quad (E86)$$

(U.S. EPA., 1986)

Donde:

P = potencia

G = gradiente de velocidad promedio

μ = viscosidad dinámica

V = volumen

- Determinación del diseño estándar de una turbina.

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3}; \quad \frac{H}{Dt} = 1; \quad \frac{j}{Dt} = \frac{1}{12}; \quad \frac{E}{Dt} = \frac{1}{3}; \quad \frac{W}{Da} = \frac{1}{5}; \quad \frac{L}{Da} = \frac{1}{4} \quad (E87)$$

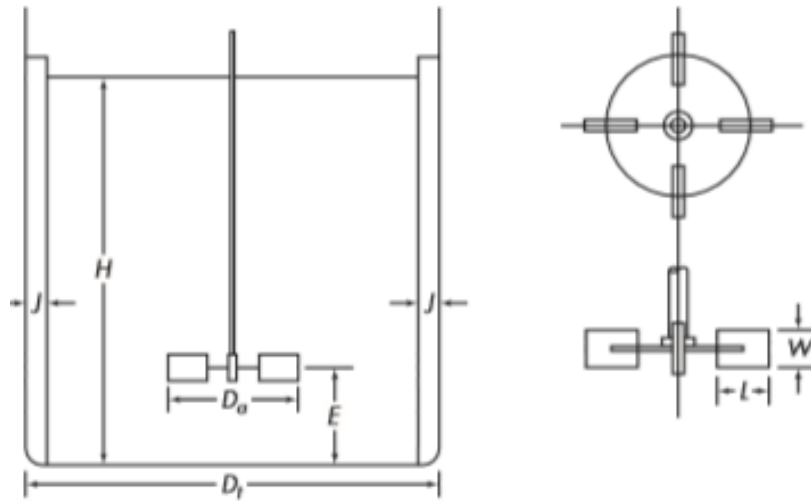
(McCabe *et al*, 2007)

Cuadro 16. Productos de la familia del cloro que se pueden encontrar en el mercado

Nombre y formula	Nombre comercial o común	Características	% de cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
Cloro gas (Cl₂)	Cloro licuado o gaseoso	Gas licuado a presión	99.5 %	Muy buena	Gas altamente tóxico	Cilindros de 40 a 70 kg. Recipientes de 1 a 5 toneladas.
Cal clorada (CaO.2CaCl₂.3H₂O)	Cal clorada, polvo blanqueador, hipoclorito de cal, cloruro de cal	Polvo blanco seco	15-35 %	Media. (Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperaturas altas, humedad y/o luz sola. Pérdida de 1% al mes)	Corrosivo	Latas de 1.5 kg. Tambores de 45 a 135 kg. Bolsas plásticas o de papel de 25 a 40 kg.
Hipoclorito de sodio (NaClO)	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1-15% como máximo. (Concentraciones mayores a 10% son inestables)	Baja. (Pérdida de 2 a 4% por mes; mayor si la temperatura excede los 30°C)	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas de plástico y vidrio, y garrafones.
	Hipoclorito de sodio por electrólisis <i>in situ</i>	Solución líquida amarillenta	0.1-0.6 %	Baja	Oxidante	Cualquier volumen
Hipoclorito de calcio (Ca(ClO)₂.4H₂O)	HTH, perclorón	Polvo, gránulos y tabletas. Sólido blanco.	Polvo: 20-35% Granulado: 65-70% Tabletas: 65-70%	Buena. (Pérdida de 2 a 2.5% por año)	Corrosivo. Inflación posible al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos.	Latas de 1.5 kg, tambores 45 a 135 kg. Baldes plásticos

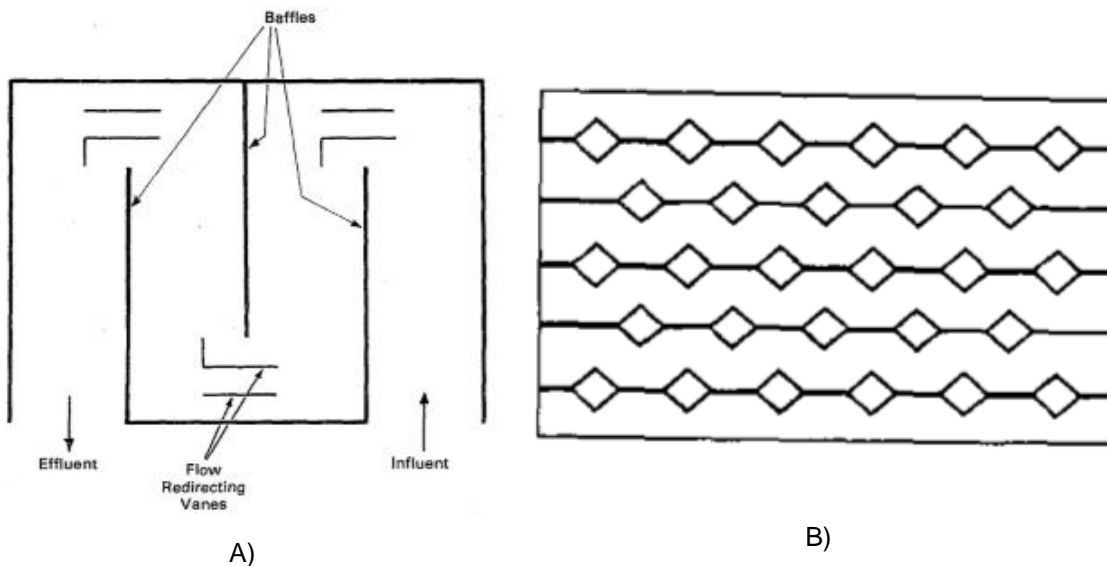
Fuente: (Solsona y Méndez, 2002)

Figura 19. Esquema de mediciones de una turbina.

Fuente: (McCabe *et al*, 2007)

Para asegurar que el tiempo de contacto entre el desinfectante y las aguas residuales se cumpla se utilizan cámaras de contacto. Las cámaras de contacto más comunes son las de tipo serpentin debido a que requiere menos espacio, sin embargo, se deben considerar las zonas hidráulicas muertas que pueden disminuir el tiempo de retención hidráulico. Para mejorar el rendimiento de las cámaras se acostumbra a colocar orientadores de flujo y baffles. La configuración de Louise y Fohrman para los orientadores de flujo, además de eliminar las zonas hidráulicas muertas, provee mínimas caídas de presión (Figura 20A).

Figura 20: A) Cámara de contacto de tipo serpentin diseñada por Louise y Fohrman y B) Detalle típico de un baffle



Fuentes: A) (U.S. EPA., 1986); B) (Metcalf & Eddy, 2003)

El diseño de las cámaras de contacto depende de la concentración del desinfectante y del tiempo de contacto (Ct). Sin embargo, por la no idealidad del flujo la EPA ha adoptado que el valor de Ct se calcule a partir del tiempo en que el 90% de las aguas residuales estarán expuestas al proceso de desinfección. A este tiempo se le llama t_{10} . Este último, se puede obtener por medio de la clasificación de baffles (Figura 20B).

$$a = \frac{t_{10}}{t_0} \quad (E88)$$

(Davis, 2010)

Donde:

a = clasificación de baffle

t_{10} = tiempo en el que 90% de las aguas residuales son expuestas al proceso de desinfección

t_0 = tiempo de retención hidráulico requerido

- Volumen de la cámara de contacto.

$$V = t_0 Q \quad (E89)$$

(Davis, 2010)

Donde,

t_0 = tiempo de retención hidráulico requerido

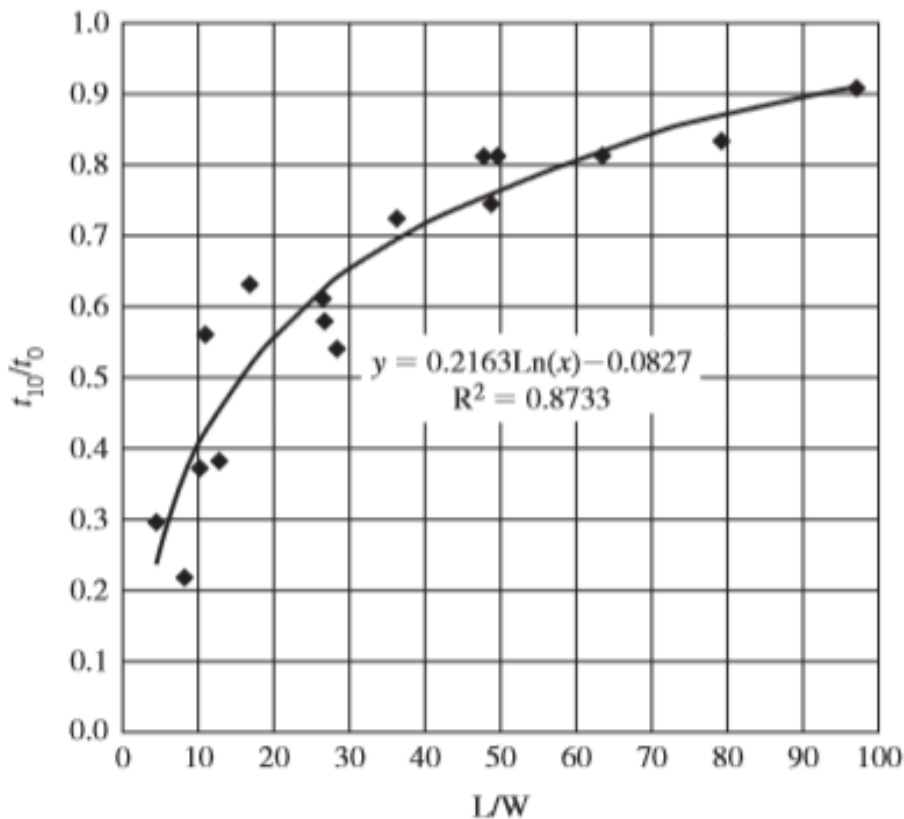
Q = caudal

Cuadro 17. Clasificación de baffles de acuerdo con su rendimiento

Rendimiento	t_{10}/t_0	Descripción
Muy pobre	0.1	Sin baffles, agitado, relación L/W baja, velocidades altas de flujo en la entrada y salida
Pobre	0.3	Una o varias entradas y salidas sin baffle, no hay baffles entre canales
Promedio	0.5	Algunos baffles en la entrada o salida y entre los canales
Superior	0.7	Baffle en la entrada, entre los canales y rebosadero en la salida
Perfecto	1	Buena relación L/W (flujo en tubería), baffles en la entrada, salida y entre canales.

Fuente: (Davis, 2010)

La relación entre el largo y el ancho de la cámara de contacto se puede determinar gráficamente a partir de la relación t_{10}/t_0 (Figura 21).

Figura 21. Efecto de la relación Largo/Ancho en t_{10}/t_0 .

Fuente: (Davis, 2010)

(2) Ozono (O_3). El ozono es un gas alótopo del oxígeno. Este es muy inestable, que a temperatura y presión del ambiente se descompone muy rápido para volver a la molécula de oxígeno. Por dicha razón no se puede almacenar y se debe de generar *in situ* y usarse inmediatamente (Solsona y Méndez, 2002). El ozono tiene un elevado potencial oxidante, lo que permite inactivar microorganismos del agua. En el caso de las bacterias ataca la membrana y afecta las actividades enzimáticas y de los ácidos nucleicos; en los virus se ve afectada la cápside vírica. El O_3 también puede eliminar los compuestos orgánicos que dan sabor, olor y color desagradable al agua (Davis, 2010).

(3) Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2). El peróxido de hidrógeno, agua oxigenada, es un líquido incoloro muy inestable que se descompone rápidamente en oxígeno y agua. Tiene una gran actividad desinfectante frente a todo tipo de microorganismos como bacterias, virus, protozoos, hongos y esporas. Este actúa provocando la pérdida de la función de las proteínas bacterianas y ataca la membrana celular y ADN (Davis, 2010).

3. Tratamiento anaeróbico

a. Desinfección por cloración. Este desinfectante es el más universalmente utilizado. La razón de esto es porque satisface la mayoría de los requisitos necesarios (Metcalf & Eddy, 1995).

Los compuestos de cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gaseoso, el hipoclorito sólido, el hipoclorito de calcio y el dióxido de cloro. Los hipocloritos sódico y cálcico se suelen emplear en las plantas pequeñas, especialmente en las prefabricadas, en las que la simplicidad y seguridad son criterios e mayor peso que el costo. El hipoclorito de sodio también se emplea en las plantas de gran tamaño, principalmente por cuestiones de seguridad relaciones con las condiciones locales. El dióxido de cloro también se emplea en las instalaciones de tratamiento, debido a que tiene algunas propiedades poco frecuentes (no reacciona con el amoníaco). A pesar de que también se emplean otros compuestos del cloro, el análisis más utilizado es el cloro gaseoso (Metcalf & Eddy, 1995).

Las bacterias también se pueden eliminar, durante el tratamiento del agua residual, empleando medios mecánicos, en el cuadro X, se indican algunos rendimientos de eliminación típicos para diferentes procesos de tratamientos. Los primeros cuatro procesos están considerados como procesos físicos. Las eliminaciones conseguidas se obtienen como subproducto de la función primaria del proceso (Metcalf & Eddy, 1995).

Cuadro 18. Eliminación o destrucción de bacterias mediante diversos procesos de tratamiento.

Procesos	Porcentaje de eliminación (%)
Tamices de malla gruesa	0-5
Tamices de malla fina	10-20
Desarenadores	10-25
Sedimentación primaria	25-75
Sedimentación química	40-80
Filtros percoladores	90-95
Fangos activados	90-98
Cloración del agua residual tratada	98-99

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

b. Hipoclorito de calcio. El hipoclorito de calcio se comercializa en forma seca o líquida. El hipoclorito de calidad contiene, por lo menos, un 70% de cloro disponible. En forma seca, se suministra en gránulos o en polvo, tabletas comprimidas, o en pastillas. Existe una gran variedad de tamaños de recipientes, dependiendo de los fabricantes. Los gránulos y pastillas de hipoclorito de calcio se disuelven fácilmente en agua y, bajo condiciones de almacenamiento adecuadas, son relativamente estables. Debido a su potencial de oxidación, el hipoclorito de calcio se debe almacenar en lugares frescos y secos, alejado de otros productos químicos, en contenedores resistentes a la corrosión. Muchas de las consideraciones en materia de seguridad asociadas al transporte, almacenamiento y dosificación del cloro líquido gaseoso se eliminan empleando hipoclorito de calcio o de sodio. El hipoclorito es más caro que el cloro líquido, pierde parte de su actividad durante el almacenamiento, y puede resultar difícil de manipular. Debido a que tiende a cristalizar, el hipoclorito de calcio puede provocar obturaciones de las bombas de dosificación, conducciones y válvulas. El hipoclorito de calcio se emplea, principalmente, en instalaciones de pequeño tamaño (Metcalf & Eddy, 1995).

El método más satisfactorio para la dosificación de hipoclorito de calcio o de sodio consiste en el uso de bombas dosificadoras de pistón de baja capacidad. Generalmente, las bombas se comercializan con capacidades de hasta 450 L/día, con carrera ajustable a cualquier valor por debajo de este límite. Algunos fabricantes comercializan bombas de gran capacidad o bombas múltiples. Las bombas se pueden instalar para el suministro de un caudal constante, o pueden proporcionar dosificaciones variables por variación de la velocidad en función de una señal analógica. También se puede controlar la carrera de la bomba (Metcalf & Eddy, 1995).

c. Consumo diario de cloro. Los principales factores que intervienen en la consecución de una efectiva eliminación de bacterias son el mezclado efectivo de la solución de cloro con el agua residual, el tiempo de contacto, y el cloro residual. El tiempo de contacto suele venir especificado por los organismos de control y puede variar entre 15 y 45 minutos, siendo habitual un tiempo de contacto de 15 minutos a caudal punta (Metcalf & Eddy, 1995).

Con la Ecuación E90 se puede determinar la cantidad de cloro a dosificar utilizando una bomba dosificadora para solución líquida (Metcalf & Eddy, 1995).

$$M = \frac{D \times Q}{C} \quad (\text{E90})$$

Donde:

M = cantidad de cloro a dosificar, L/h

D = dosis de cloro, mg/L

Q = caudal de agua a tratar, L/h

C = concentración de la solución, mg/L

Cuadro 19. Dosis para diversas aplicaciones de la cloración en la recogida, tratamiento y evacuación del agua residual.

Aplicación	Intervalo de dosis, mg/L
Red de alcantarillado	
Control de corrosión	2-9
Control de olores	2-9
Control de crecimientos de películas biológicas	1-10
Tratamiento	
Reducción de DBO	0.5-2
Control de espumas en digestores y tanques Imhoff	2-15
Oxidación del sobrenadante del digestor	20-140
Oxidación del sulfato ferroso	
Control de moscas en los filtros	0.1-0.5
Control de la inundación en los filtros	1-10
Eliminación de grasas	2-10
Control del bulking del fango	1-10
Evacuación (desinfección)	
Agua residual bruta (precloración)	6-25
Efluente primario	5-20
Efluente del proceso de precipitación química	2-6
Efluente de plantas de filtros percoladores	3-15
Efluente del proceso de fangos activados	2-8
Efluente filtrado	1-5

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

M. Caudal.

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección de la tubería por unidad de tiempo. Normalmente, se identifica como el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. También se puede identificar como el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Se puede definir por dos ecuaciones, las cuales se muestran a continuación (McCabe, 2007).

$$Q = Av \quad (E91)$$

$$Q = V/t \quad (E92)$$

Donde:

Q = caudal, m³/día

A = área, m²

v = velocidad lineal, m²/s

V = volumen, m³

t = tiempo, s o días

N. Porcentaje de remoción.

Comúnmente llamada eficiencia de remoción en tratamiento de aguas residuales. Este porcentaje puede ser empleado para cualquier parámetro a medir y está dado por la siguiente ecuación (Metcalf & Eddy, 2003).

$$\eta = \left[\frac{S_{afl} - S_{efl}}{S_{afl}} \right] \times 100 \quad (E93)$$

Donde:

η = porcentaje de remoción

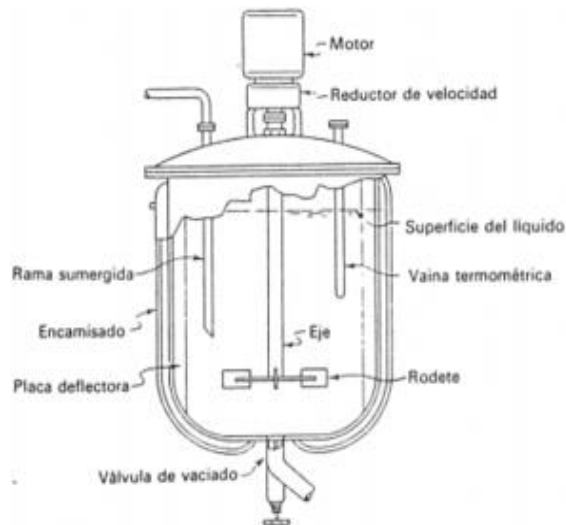
S_{afl} = concentración del sustrato en el afluente, mg/L

S_{efl} = concentración del sustrato en el efluente, mg/L

O. Tanques agitados

Los líquidos se agitan con más frecuencia en algún tipo de tanque o recipiente, por lo general de forma cilíndrica y provisto de un eje vertical. La parte superior del tanque puede estar abierta al aire, pero generalmente está cerrada. Las proporciones del tanque varían dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. Si embargo, en muchas situaciones se utiliza un diseño estandarizado como el que se muestra en la Figura 22. La profundidad del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque. Un agitador va instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje sostenido en la parte superior. El eje es accionado por un motor, a veces directamente conectado al eje, pero es más común que se encuentre conectado a éste a través de una caja reductora de velocidad. El agitador provoca que el líquido circule a través del tanque y eventualmente regrese él mismo (McCabe, 2007).

Figura 22. Tanque típico del proceso con agitación.



Fuente: (McCabe. 2007)

1. **Impulsores agitados.** Los agitadores de impulsor o rodete se dividen en dos clases. Los que generan corrientes paralelas al eje del impulsor se llaman impulsores de flujo axial; y aquellos que generan corrientes en dirección radial o tangencial se llaman impulsores de flujo radial (McCabe, 2007).

Los tres principales tipos de impulsores para líquidos de baja a moderada viscosidad son las hélices, turbinas e impulsores de alta eficiencia. Cada uno de ellos comprende muchas variantes. Para líquidos muy viscosos, los impulsores más adecuados son los de hélice y agitadores de anclaje (McCabe, 2007).

La selección del mejor agitador, para una aplicación en particular va a depender del tipo de mezcla que se requiera, la capacidad del tanque, las propiedades del fluido, y en especial de la viscosidad. Se puede realizar una selección del tipo de agitador basándose en la viscosidad del fluido y el volumen del tanque (Coulson, 2004).

Figura 23. Guía para la selección de agitadores.

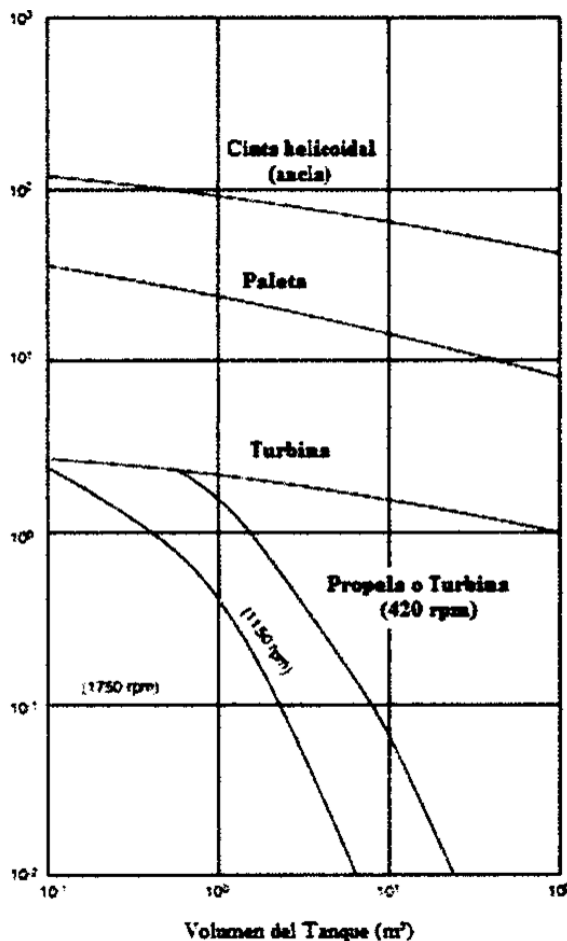
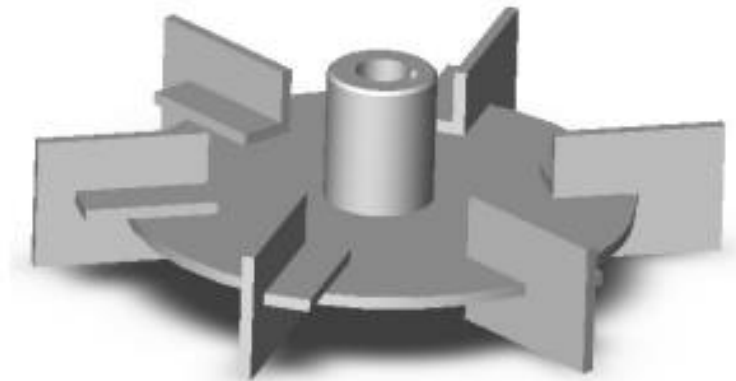


Figura: (Coulson, 2004)

a. Turbinas. Las palas rectas empujan el líquido en forma radial y tangencial, casi sin movimiento vertical al agitador. Las corrientes que genera se desplazan hacia afuera hasta la pared del tanque y entonces fluyen hacia arriba o hacia abajo. Tales agitadores son llamados a veces paletas. En los tanques de proceso, los agitadores industriales típicos de paletas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm (McCabe, 2007).

Figura 24. Turbina radial de 6 álabes planos tipo Rushton.



Fuente: (Coulson, 2004)

b. Diseño estándar de tanque agitado. El diseñador de un tanque agitado dispone de un gran número de elecciones sobre el tipo y localización del agitador, las proporciones del tanque, el número y dimensiones de las placas deflectoras, etc. Cada una de estas decisiones afecta a la velocidad de circulación de líquido, los modelos de velocidad y el consumo de potencia. Se utilizan las siguientes ecuaciones (McCabe, 2007):

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad (\text{E94})$$

$$\frac{H}{D_t} = 1 \quad (\text{E95})$$

$$\frac{j}{D_t} = \frac{1}{12} \quad (\text{E96})$$

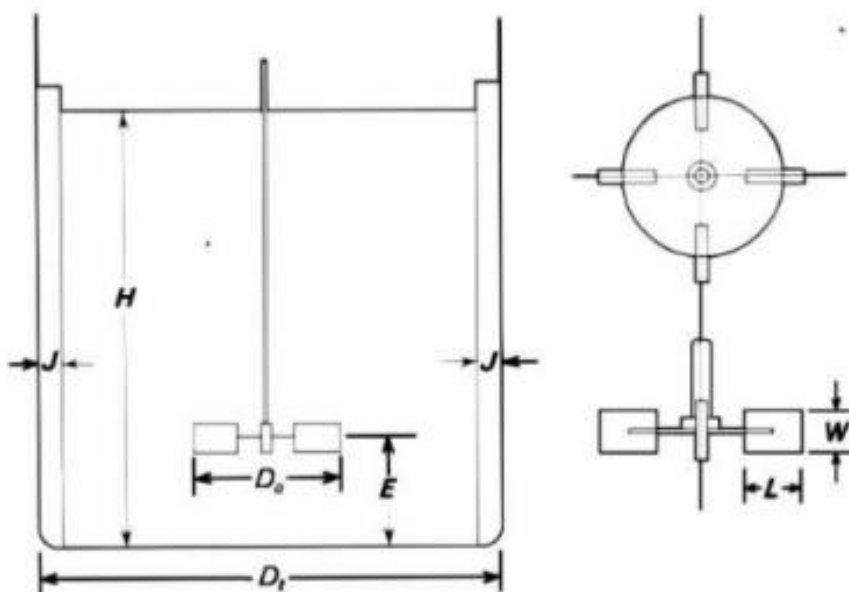
$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} \quad (\text{E97})$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad (\text{E98})$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad (\text{E99})$$

El número de deflectores generalmente es 4; el número de palas del agitador varía entre 4 y 16, pero generalmente es 6 u 8.

Figura 25. Medidas de un agitador de turbina.



Fuente: (McCabe, 2007)

c. Consumo de potencia de un agitador de turbina. Un factor trascendental en el diseño de un tanque de agitación es la potencia necesaria para mover el impulsor. Puesto que la potencia requerida para un sistema dado no puede predecirse teóricamente, se tienen correlaciones empíricas para estimar los requerimientos de potencia. La presencia o ausencia de turbulencia puede correlacionarse con el número de Reynolds del impulsor N_{Re} que se define como (Geankoplis, 1998).

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} \quad (E100)$$

Donde:

D_a = diámetro del impulsor (agitador), m

N = velocidad de rotación, rev/s

ρ = densidad del fluido, kg/m³

μ = viscosidad, kg/m*s

El flujo es laminar en el tanque cuando $N_{Re} < 10$, turbulento cuando $N_{Re} > 10,000$ y para un intervalo de 10 a 10,000, el flujo es de transición, mostrándose turbulento en el impulsor y laminar en las partes más recónditas del tanque. El consumo de potencia se relaciona con la densidad del fluido, su viscosidad, la velocidad de rotación y el diámetro del impulsor por medio de gráficas de número de potencia en función de Reynolds, el número de potencia N_p es (Geankoplis, 1998):

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D_a^5} \quad (SI) \quad (E101)$$

Donde:

N_p = número de potencia

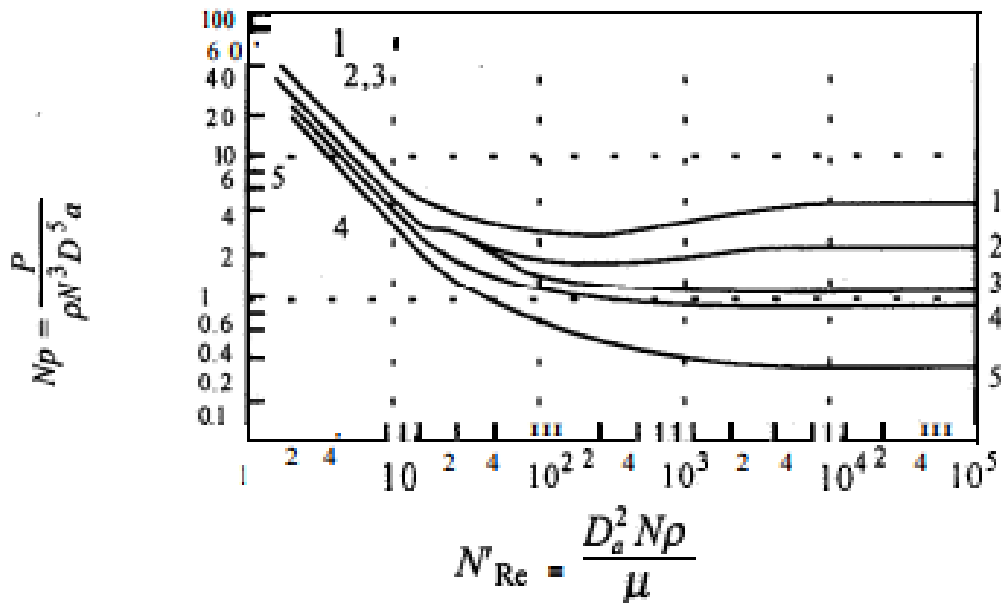
P = potencia requerida

ρ = densidad del líquido, kg/m³

D_a = diámetro del impulsor (agitador), m

N = velocidad de rotación, rev/s

Figura 26. Correlaciones de potencia para diversos impulsores y deflectores.



Fuente: (Geankoplis, 1998)

Curva 1: Turbina de seis aspas planas

Curva 2: Turbina abierta de seis aspas planas

Curva 3: Turbina abierta de seis aspas a 45°

Curva 4: Propulsor; inclinación 2Da, propulsor en posición angular y desplazado del centro

Curva 5: Propulsor; inclinación Da, propulsor en posición angular desplazada del centro.

P. Válvulas

Una planta de procesamiento típica contiene miles de válvulas de diferentes tamaños y formas. Sin embargo, a pesar de la amplia variedad de diseños, todas las válvulas tienen un propósito principal: disminuir o detener el flujo de un fluido. Algunas válvulas funcionan mejor en servicio de cerrado-abierto prendido-apagado, es decir, abiertas o cerradas por completo. Otras están diseñadas para suprimir o reducir la presión y la velocidad de flujo de un fluido. Existen otras

que permiten el flujo sólo en una dirección o bajo ciertas condiciones de temperatura y presión. Finalmente, mediante el uso de sensores y sistemas de control automático para ajustar la posición de la válvula y por consiguiente el flujo a través de la válvula, es posible controlar desde puntos alejados de la válvula, la temperatura, la presión, el nivel del líquido y otras propiedades del fluido (McCabe, 2007).

No obstante, en todos los casos, la válvula inicialmente detiene o controla el flujo. Esto se realiza colocando un obstáculo en la trayectoria del fluido, el cual es posible moverlo a voluntad dentro de la tubería, sin que prácticamente existan fugas del fluido hacia el exterior de la misma. Cuando la resistencia al flujo que provoca una válvula abierta es pequeña, el acercamiento entre la obstrucción y la abertura es grande. Para el control preciso de la velocidad de flujo, se obtiene por lo general a costa de una gran caída de presión, se reduce en forma drástica el área de la sección transversal del canal de conducción, de manera que pueda introducirse una pequeña obstrucción en la abertura pequeña (McCabe, 2007).

Las válvulas que contienen sello de fuelle se utilizan a menudo en procesos que implican materiales peligrosos no tóxicos para asegurarse contra las fugas. En estas válvulas, el vástago superior hace subir o bajar la parte superior de un fuelle expandible, moviendo un vástago inferior que está acoplado dentro del fuelle. Este vástago inferior eleva o hace descender el disco de la válvula. El vástago superior puede girar, el inferior, no. El extremo inferior del fuelle está sellado al cuerpo de la válvula por medio de una junta o una soldadura. Las válvulas de fuelle se encuentran disponibles en varias aleaciones y en tamaños que varían desde $\frac{1}{2}$ in (12 mm) hasta 12 in (300 mm)(McCabe, 2007).

1. Válvulas de compuerta y válvulas de globo. En una válvula de compuerta, el diámetro de la abertura a través de la cual pasa el fluido es casi el mismo que el de la tubería, y la dirección del flujo no cambia. Como resultado, una válvula de compuerta completamente abierta introduce sólo una pequeña caída de presión. El disco tiene forma de cuña y se adapta a un asiento que tiene la misma forma; cuando se abre la válvula, el disco se eleva dentro del cabezal, hasta que queda completamente fuera de la trayectoria del fluido. Las válvulas de compuerta no son recomendables para el control del flujo y, en general, se dejan abiertas o cerradas por completo (McCabe, 2007).

Las válvulas de globo (llamadas así debido a que en los primeros diseños el cuerpo de la válvula era esférico) se utilizan con frecuencia para controlar la velocidad de flujo de un fluido. Además, la abertura aumenta en forma lineal con respecto a la posición del vástago, y su uso es uniformemente distribuido alrededor del disco. El fluido pasa a través de una abertura limitada y

cambia varias veces de dirección, como se observa al imaginar el flujo a través de la válvula. Como resultado, la caída de presión en este tipo de válvulas es importante (McCabe, 2007).

2. **Válvulas de pistón y de bola.** Las válvulas metálicas de pistón son útiles en las tuberías de procesos químicos, para temperaturas inferiores a 250°C. Como en una llave de paso en un laboratorio, un cuarto de giro del vástago hace que la válvula pase de estar abierta en su totalidad a un cerrado total; y cuando está por completo abierta, el canal a través del tapón puede ser tan ancho como el interior de la tubería y la caída de presión es mínima (McCabe, 2007).

En una válvula de bola, el elemento del sello es esférico, y los problemas de alineamiento y “congelación” del elemento son menores que con una válvula de pistón. Tanto en las válvulas de pistón como en las válvulas de bola, el área de contacto entre el elemento móvil y el sello es grande, y, por consiguiente, ambas pueden usarse como válvulas de regulación. Ocasionalmente las válvulas de bola encuentran aplicaciones en el control de flujo (McCabe, 2007).

Q. Bombas

Las bombas incrementan la energía mecánica del líquido, aumentando su velocidad, presión o elevación o las tres anteriores. Las dos clases principales son las bombas de desplazamiento positivo y las bombas centrífugas. Las unidades de desplazamiento positivo aplican presión directamente al líquido por un pistón recíprocante, o por miembros rotatorios, los cuales forman cámaras alternadamente llenas o vacías del líquido. Las bombas centrífugas generan altas velocidades de rotación, entonces convierten la energía cinética resultante del líquido en energía de presión (McCabe, 2007). Las bombas centrífugas son dinámicas y las recíprocantes o de diafragma son bombas de desplazamiento positivo (Coulson, 2005).

En las bombas la densidad del líquido no cambia en forma apreciable y es posible considerarla constante (McCabe, 2007).

1. **Bombas centrífugas.** La energía mecánica del líquido se aumenta por la acción centrífuga. El líquido entra a través de la conexión de succión concéntrica al eje del elemento giratorio de alta velocidad llamado impulsor (rotor), el cual está provisto de aspas radiales inherentes con el mismo. El líquido fluye hacia fuera por el interior de los espacios que existen entre las aspas y deja el impulsor a una velocidad considerablemente mayor con respecto a la de la entrada del mismo. En una bomba que funciona en forma apropiada, el espacio entre las aspas está por completo lleno de líquido que fluye sin cavitación (McCabe, 2007).

El líquido que sale del perímetro del impulsor se recoge en una coraza de espiral voluta y sale de la bomba a través de una conexión tangencial de descarga. En la voluta, la carga de velocidad del líquido procedente del impulsor se convierte en carga de presión. El fluido recibe energía del impulsor, que a su vez se transmite al mismo por un par de fuerzas del eje motor, el que por lo general es accionado mediante la conexión directa a un motor de velocidad constante, comúnmente del orden de 1750 a 3450 rpm (McCabe, 2007).

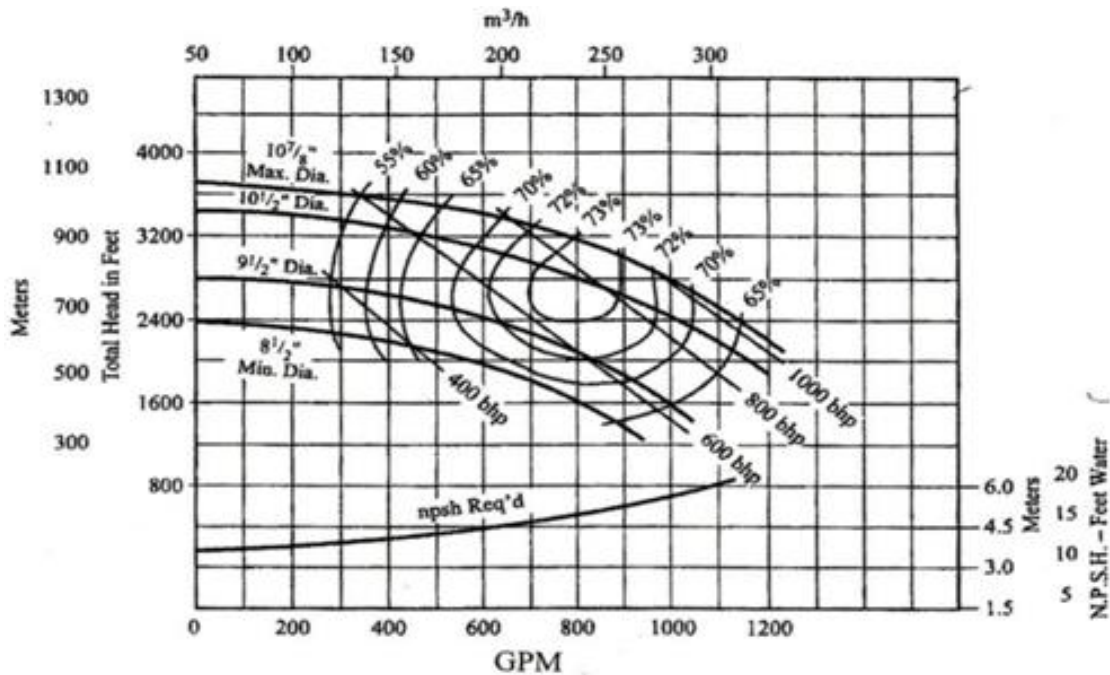
2. **Consumo de potencia.** Cuando la potencia del fluido P_f aumenta con la velocidad de flujo a un valor máximo o cercano a la capacidad estipulada, entonces cae ligeramente. La potencia total o real requerida P_b aumenta a través de la mayoría de los intervalos de las velocidades de flujo. La diferencia entre éstas representa la pérdida de potencia en la bomba, que se debe a la fricción del fluido y a las pérdidas de choque (que convierten la energía mecánica en calor) y a pérdidas por fugas, por fricción de disco y en los cojinetes (McCabe, 2007).

Las fugas representan un flujo invertido inevitable desde la descarga del impulsor pasando por el anillo desgastado hasta el orificio de succión; esto da lugar a una reducción del volumen de la descarga real de una bomba por unidad de potencia consumida. La fricción del disco es la fricción que tiene lugar entre la superficie exterior del impulsor y el líquido que ocupa el espacio comprendido entre el impulsor y la parte interior de la coraza. Las pérdidas en los cojinetes constituyen la potencia requerida para vencer la fricción mecánica en los cojinetes y las cajas prensaestopas o sellos de la bomba (McCabe, 2007).

3. **Eficiencia.** La eficiencia de la bomba es la relación entre la potencia del fluido y la potencia total consumida. La eficiencia aumenta rápidamente con la velocidad de flujo para velocidades bajas, alcanza un máximo cerca de la región de la capacidad estipulada de la bomba, y disminuye después a medida que la velocidad de flujo se aproxima al valor de carga cero (McCabe, 2007).

4. **Curvas características.** La curva de la capacidad de carga se conoce como curva característica de la bomba. Tales curvas se muestran en la Figura 27. Estas curvas relacionan el caudal, con la carga total, potencia y eficiencia (McCabe, 2007).

Figura 27. Curva característica de bomba centrífuga.



Fuente: (Geankoplis, 1998)

5. **Potencia requerida.** La potencia suministrada a la bomba desde una fuente externa se representa por P_B y se calcula a partir de W_p (McCabe, 2007).

$$P_B = \dot{m}W_p = \frac{\dot{m}\Delta H}{\eta} \quad (E102)$$

Donde:

\dot{m} = velocidad de flujo másico,

W_p = trabajo de la bomba, J/kg o $ft \times lb_f/lb$

ΔH = Calor desarrollado por la bomba

η = eficiencia mecánica global de la bomba

6. **Elevación de succión y cavitación.** La potencia calculada depende de la diferencia de presión entre la descarga y la succión, y es independiente del nivel de presión. A partir de consideraciones de energía, es irrelevante que la presión de succión sea inferior o superior a la presión atmosférica, siempre que el fluido permanezca en estado líquido. Sin embargo, si la presión de succión es sólo ligeramente mayor que la presión del vapor es posible que algo del líquido se evapore súbitamente dentro de la bomba, dando lugar a un proceso llamado cavitación, el que reduce de manera importante la capacidad de la bomba y causa una severa erosión. Si la presión de succión es en realidad menor que la presión del vapor, se producirá vaporización en la línea de succión, y el líquido no puede entrar en la bomba (McCabe, 2007).

Para evitar la cavitación, es preciso que la presión a la entrada de la bomba exceda a la presión de vapor en un cierto valor, llamado carga neta de succión positiva (NPSH, net positive suction head). El valor requerido de la NPSH es alrededor de 2 a 3 m para bombas centrífugas pequeñas; pero el valor aumenta con la capacidad de la bomba, la velocidad del rotor y la presión de descarga. Valores hasta de 15 m se recomiendan para bombas muy grandes. Para una bomba que succiona desde un reservorio (depósito).

$$NPSHa = \frac{P}{\rho} + H - \frac{Pf}{\rho} - \frac{Pv}{\rho} \quad (E103)$$

(McCabe, 2007)

Donde:

NPSHa = cabeza neta positiva de succión, m

P = presión sobre el recipiente del líquido, N/m^2

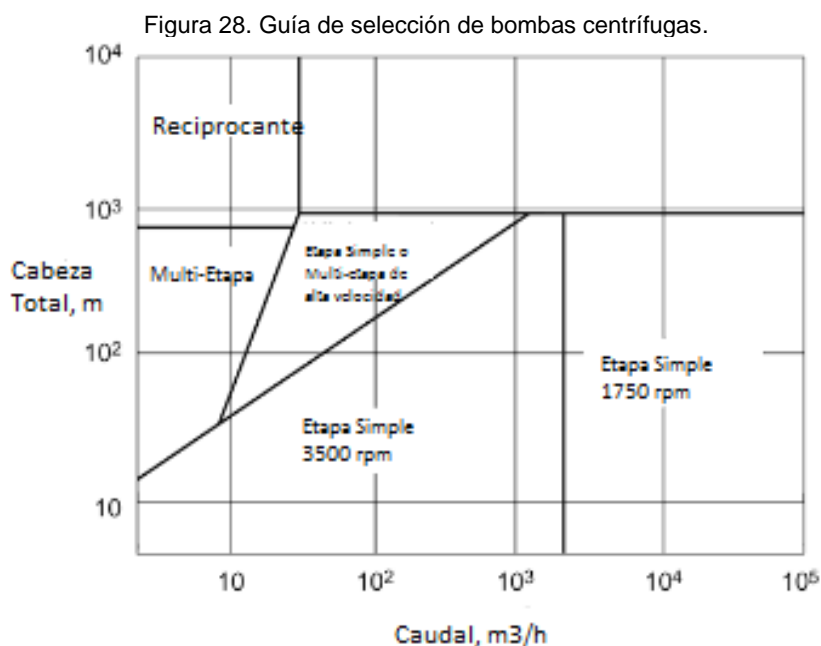
ρ = densidad del líquido a la temperatura de succión en la bomba, kg/m^3

H = altura del líquido sobre la succión de la bomba, m

Pf = pérdida de presión en la tubería de succión, N/m^2

Pv = presión de vapor del líquido en la succión de la bomba, kg/m^3

7. Selección de bombas. La selección de bombas se basa en el caudal y la cabeza requerida junto a otras consideraciones como la corrosión o la presencia de sólidos en el fluido. La Figura 28 se utiliza como para determinar el tipo de bomba requerida para una cabeza y un caudal específico (Coulson, 2005).



Fuente: (Coulson, 2005)

La selección de la bomba no puede separarse del diseño del sistema completo de tubería. La cabeza o carga total requerida será la suma de la cabeza dinámica ocasionada por pérdidas de fricción en la tubería, arreglos, válvulas y equipos de proceso y de la cabeza estática debida a la diferencia en elevaciones. (Coulson, 2005)

La caída de presión generada por una válvula de control está en función del diseño de la válvula. Debe de ser permitida una caída de presión suficiente cuando se calcula una bomba para asegurarse que las válvulas operen adecuadamente bajo el flujo requerido. Este cálculo debe de incluir la cabeza neta positiva de succión disponible. (Coulson, 2005)

R. Presión en un fluido.

La presión en un fluido es la presión termodinámica que interviene en la ecuación constitutiva y en la ecuación de movimiento del fluido, en algunos casos especiales esta presión coincide con la presión media o incluso con la presión hidrostática. Todas las presiones representan una medida de la energía potencial por unidades de volumen en un fluido. Para definir con mayor propiedad del concepto de presión en un fluido se distinguen habitualmente varias formas de medir la presión:

1. **Presión media o promedio de las presiones.** Cuando el fluido está en reposo esta presión media coincide con la presión atmosférica (McCabe, 2007).

2. **Presión hidrostática.** Es la parte de la presión debida al peso de un fluido en reposo. En un fluido en reposo la única presión existente es la presión hidrostática, en un fluido en movimiento además puede aparecer una presión hidrodinámica adicional relacionada con la velocidad del fluido. Es la presión que sufren los cuerpos sumergidos en un líquido o fluido por el simple y sencillo hecho de sumergirse dentro de este (McCabe, 2007).

$$P = \rho gh + P_o \quad (E104)$$

Donde:

P = presión hidrostática, Pa

ρ = densidad del fluido líquido, kg/m^3

g = aceleración de la gravedad, m/s^2

h = altura del fluido, m

P_o = presión atmosférica, Pa

3. **Presión hidrodinámica.** Es la presión termodinámica dependiente de la dirección considerada alrededor de un punto que dependerá además del peso del fluido, el estado de movimiento del mismo (McCabe, 2007).

$$P = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (\text{E105})$$

Donde:

P = presión dinámica, Pa

ρ = densidad del fluido líquido, kg/m^3

v = velocidad del fluido, m/s

4. **Presión de vapor.** La presión de vapor es la presión de la fase gaseosa o vapor de un sólido o un líquido sobre la fase líquida, para una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas. Este fenómeno también lo presentan los sólidos; cuando un sólido pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido (proceso denominado sublimación) también hablamos de presión de vapor. En la situación de equilibrio, las fases reciben la denominación de líquido saturado y vapor saturado. Esta propiedad posee una relación inversamente proporcional con las fuerzas de atracción intermoleculares, debido a que cuanto mayor sea el módulo de las mismas, mayor deberá ser la cantidad de energía entregada (ya sea en forma de calor u otra manifestación) para vencerlas y producir el cambio de estado (Smith, 2007).

$$\ln P^{sat} = A - \frac{B}{T+C} \quad (\text{E106})$$

Donde:

P^{sat} = presión de vapor, kPa

A = parámetro de la ecuación de Antoine

B = parámetro de la ecuación de Antoine

C = parámetro de la ecuación de Antoine

T = temperatura, °C

Cuadro 20. Constantes de la ecuación de Antoine para las presiones de vapor de especies puras (ecuación de Antoine con p en kPa y T en K).

Sustancia	Fórmula	A	B	C
Acetileno	C_2H_2	14,83	1837	-8,45
Acetona	C_3H_6O	14,71	2976	-34,52
Agua	H_2O	16,54	3985	-39,00
Amoníaco	NH_3	15,49	2363	-22,62
Argón	Ar	13,91	833	2,36
Benceno	C_6H_6	14,16	2949	-44,56
n-Butano	C_4H_{10}	13,98	2292	-27,86
Ciclohexano	C_6H_{12}	13,79	2795	-49,11
Cloroformo	$CHCl_3$	14,50	2939	-37,00
n-Decano	$C_{10}H_{22}$	13,99	3452	-78,90
Dióx. de azufre	SO_2	14,94	2385	-32,21
Dióx. de carbono	CO_2	15,38	1956	-2,11
Dióx. de nitrógeno	NO_2	21,98	6615	86,88
Etano	C_2H_6	13,88	1582	-13,76
Etanol	C_2H_6O	16,19	3424	-55,72
Eter etílico	$C_4H_{10}O$	14,17	2564	-39,37
Etilenglicol	$C_2H_6O_2$	16,18	4494	-82,10
Etileno (eteno)	C_2H_4	13,82	1427	-14,31
n-Heptano	C_7H_{16}	13,90	2933	-55,64
Hidrógeno	H_2	12,78	232	8,08
Metano	CH_4	13,58	968	-3,72
Metanol	CH_4O	16,49	3593	-35,22
Monóx. de carbono	CO	13,87	770	1,64
Monóx. de nitróg.	NO	14,24	1548	-23,91
Neón	Ne	13,47	265	2,83
Nitrógeno	N_2	13,45	658	-2,85
Oxígeno	O_2	13,68	780	-4,18
n-Pentano	C_5H_{12}	13,98	2555	-36,25
Propano	C_3H_8	13,71	1873	-25,10
Propileno	C_3H_6	13,88	1875	-22,91
Tetracloruro de carbono	CCl_4	14,62	3394	-10,22

Cuadro 21. Coordenadas para la obtención de la viscosidad de líquidos

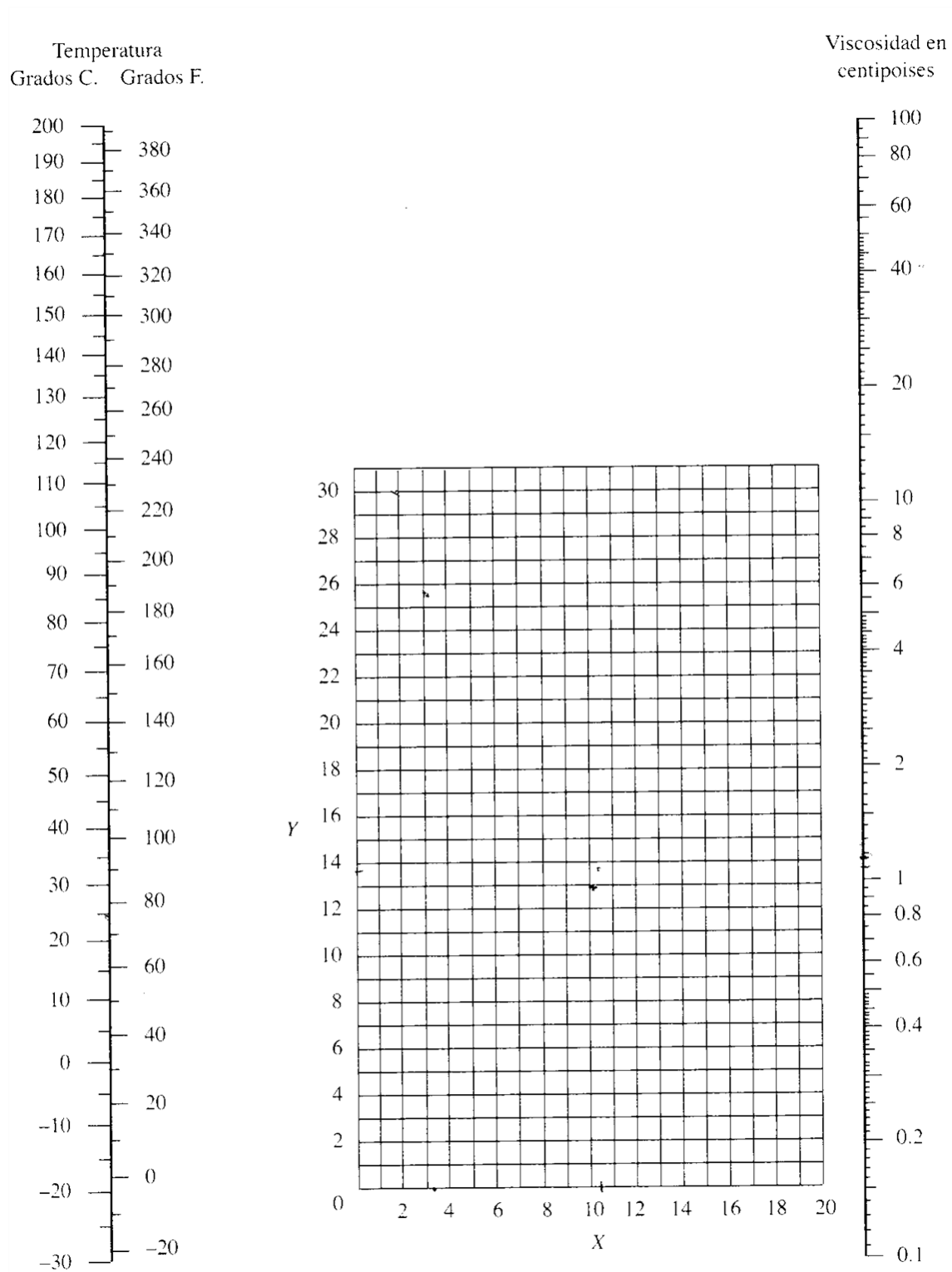
Núm.	Líquido	X	Y	Núm.	Líquido	X	Y
1	Acetaldehído	15.2	4.8	32	Cloruro de etilo	14.8	6.0
2	Ácido acético, 100%	12.1	14.2	33	Éter etílico	14.5	5.3
3	Anhídrido acético	12.7	12.8	34	Formiato de etilo	14.2	8.4
4	Acetona, 100%	14.5	7.2	35	Ioduro de etilo	14.7	10.3
5	Amoniaco, 100%	12.6	2.0	36	Etilenglicol	6.0	23.6
6	Amoniaco, 26%	10.1	13.9	37	Ácido fórmico	10.7	15.8
7	Acetato de amilo	11.8	12.5	38	Freón-12	16.8	5.6
8	Alcohol amílico	7.5	18.4	39	Glicerol, 100%	2.0	30.0
9	Anilina	8.1	18.7	40	Glicerol, 50%	6.9	19.6
10	Anisol	12.3	13.5	41	Heptano	14.1	8.4
11	Benceno	12.5	10.9	42	Hexano	14.7	7.0
12	Bifenilo	12.0	18.3	43	Ácido clorhídrico, 31.5%	13.0	16.6
13	Salmuera, CaCl ₂ , 25%	6.6	15.9	44	Alcohol isobutílico	7.1	18.0
14	Salmuera, NaCl, 25%	10.2	16.6	45	Alcohol isopropílico	8.2	16.0
15	Bromo	14.2	13.2	46	Keroseno	10.2	16.9
16	Acetato de butilo	12.3	11.0	47	Aceite comercial de linaza	7.5	27.2
17	Alcohol butílico	8.6	17.2	48	Mercurio	18.4	16.4
18	Dióxido de carbono	11.6	0.3	49	Metanol, 100%	12.4	10.5
19	Disulfuro de carbono	16.1	7.5	50	Acetato de metilo	14.2	8.2
20	Tetracloruro de carbono	12.7	13.1	51	Cloruro de metilo	15.0	3.8
21	Clorobenceno	12.3	12.4	52	Metiletilcetona	13.9	8.6
22	Cloroformo	14.4	10.2	53	Naftaleno	7.9	18.1
23	m-cresol	2.5	20.8	54	Ácido nítrico, 95%	12.8	13.8
24	Ciclohexanol	2.9	24.3	55	Ácido nítrico, 60%	10.8	17.0
25	Dicloroetano	13.2	12.2	56	Nitrobenceno	10.6	16.2
26	Diclorometano	14.6	8.9	57	Nitrotolueno	11.0	17.0
27	Acetato de etilo	13.7	9.1	58	Octano	13.7	10.0
28	Alcohol etílico, 100%	10.5	13.8	59	Alcohol octílico	6.6	21.1
29	Alcohol etílico, 95%	9.8	14.3	60	Pentano	14.9	5.2
30	Alcohol etílico, 40%	6.5	16.6	61	Fenol	6.9	20.8
31	Etilbenceno	13.2	11.5	62	Sodio	16.4	13.9

Núm.	Líquido	X	Y	Núm.	Líquido	X	Y
63	Hidróxido de sodio, 50%	3.2	25.8	70	Tolueno	13.7	10.4
64	Dióxido de azufre	15.2	7.1	71	Tricloroetileno	14.8	10.5
65	Ácido sulfúrico, 98%	7.0	24.8	72	Acetato de vinilo	14.0	8.8
66	Ácido sulfúrico, 60%	10.2	21.3	73	Agua	10.2	13.0
67	Tetracloroetano	11.9	15.7	74	o-Xileno	13.5	12.1
68	Tetracloroetileno	14.2	12.7	75	m-Xileno	13.9	10.6
69	Tetracloruro de titanio	14.4	12.3	76	p-Xileno	13.9	10.9

Coordenadas para ser utilizadas con la figura de la página siguiente.

Con autorización de J. H. Perry (ed.), *Chemical Engineers Handbook*, 5a. ed., pp. 3-212 y 3-213. Copyright © 1973, McGraw-Hill Book Company, Nueva York.

Figura 29. Nomograma para viscosidades de sustancias líquidas



Fuente: (McCabe, 2007)

S. Caídas de presión en tubería.

La caída de presión en una tubería, debida a la fricción, es una función del caudal, densidad del fluido, viscosidad del fluido, diámetro de la tubería, rugosidad de la superficie de la tubería y el largo de la tubería. Se puede calcular de la siguiente manera (Coulson, 2005):

$$\Delta P_f = 8f \left(\frac{L}{d_i} \right) \frac{\rho u^2}{2} \quad (\text{E107})$$

Donde:

ΔP_f = caída de presión, N/m^2

f = factor de fricción

L = largo de la tubería, m

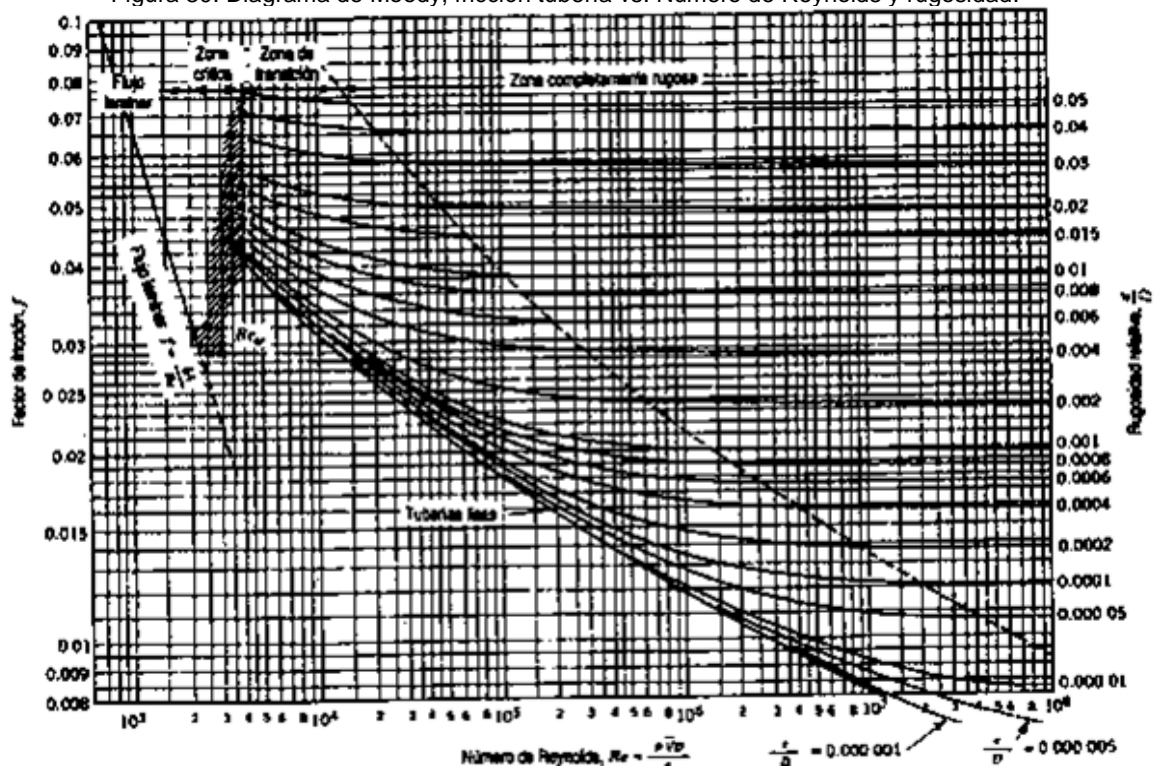
d_i = diámetro interno de la tubería, m

ρ = densidad del fluido, kg/m^3

u = velocidad del fluido, m/s

El factor de fricción depende del número de Reynolds y de la rugosidad del material de la tubería empleada. El factor de fricción utilizado en la ecuación E104 se puede obtener de la siguiente gráfica (Coulson, 2005):

Figura 30. Diagrama de Moody, fricción tubería vs. Número de Reynolds y rugosidad.



Fuente: (Coulson, 2005)

Las rugosidades absolutas de las tuberías más comunes se dan en el cuadro x. el parámetro para utilizar en la Figura 8 está dado por (Coulson, 2005):

$$e = \frac{\text{rugosidad absoluta}}{\text{diámetro interno de la tubería}} \quad (\text{E108})$$

Donde:

e = rugosidad relativa

Cuadro 22. Rugosidad de tuberías comerciales

Material	Rugosidad absoluta, mm
Tubería extruida	0.0015
Tubería de acero comercial	0.046
Tubería de hierro fundido	0.26
Tubería de concreto	0.3-3.0

Fuente: (Coulson, 2005)

1. Caídas de presión por accesorios. Cualquier accesorio genera turbulencia y caídas de presión. Estos accesorios pueden ser arreglos distintos, dobleces, codos, secciones de reducción o ampliación de diámetro y uniones T de tuberías. También se genera la caída de presión por válvulas y controladores de flujo.

Cuadro 23. Coeficientes para pérdidas de presión por accesorios

<i>Tipo de accesorio o válvula</i>	<i>Pérdida por fricción, número de cargas de velocidad K_f</i>	<i>Pérdida por fricción, longitud equivalente de tubería recta en diámetros de tubería L_e/D</i>
Codo, 45°	0.35	17
Codo, 90°	0.75	35
Te	1	50
Retorno en U	1.5	75
Manguitos de acoplamiento	0.04	2
Manguitos de unión	0.04	2
Válvulas de compuerta		
Abiertas	0.17	9
Semiabiertas	4.5	225
Válvulas de globo		
Abiertas	6.0	300
Semiabiertas	9.5	475
Válvulas de ángulo, abiertas	2.0	100
Válvula de retención		
De bola	70.0	3500
De bisagra	2.0	100
Medidor de flujo	7.0	350

Fuente: (Geankoplis, 1998)

T. Tratamiento de lodos

1. Definición y tipos de lodos. En todas las plantas de tratamiento de aguas residuales, tanto aerobias como anaerobias, los constituyentes que se remueven de las aguas incluyen arena, espuma, sólidos y biosólidos. Estos sólidos y biosólidos, comúnmente conocidos como lodos, son resultantes de las operaciones y procesos del tratamiento de aguas residuales y usualmente se encuentran en un estado líquido o líquido semisólido. El término biosólido indica que los sólidos de aguas residuales son productos orgánicos que pueden ser útiles y beneficiosos luego de recibir un tratamiento como estabilización o compostaje (Metcalf & Eddy, 2003).

Los lodos generados en el proceso pueden clasificarse en tres categorías. La primera es lodos primarios, resultantes únicamente de los procesos de separación sólido-líquido, como en el proceso de sedimentación primaria. Este tipo de lodos contiene de 3% a 7% de sólidos de los cuales del 60% al 80% son orgánicos. Los lodos primarios usualmente son de un color grisáceo y producen malos olores. La segunda categoría son lodos secundarios que provienen de procesos biológicos, como de un tanque de sedimentación secundaria, estos lodos físicamente tienen un color café con olor a tierra. La última categoría la conforman los lodos terciarios, provenientes de los tratamientos terciarios y cuya naturaleza depende del proceso que sigue, como algún método químico (Ramalho, 1996). El tratamiento de estos lodos es un proceso complejo debido a que están compuestos de sustancias responsables de las características ofensivas del agua no tratada y de materia orgánica que se descompone (Dar, 2002).

La cantidad de sólidos diarios que entra en una planta de tratamiento varía considerablemente entre un intervalo de valores. Por lo que el volumen del lodo depende de su contenido en agua y, en una pequeña parte, de las características de su materia sólida. La materia sólida comúnmente está formada por sólidos fijos, que es toda la materia inorgánica o minerales, y sólidos volátiles, que es toda la materia orgánica (Metcalf & Eddy, 2003). El peso específico de estos lodos puede calcularse mediante,

$$\frac{W_s}{S_s \rho_w} = \frac{W_f}{S_f \rho_w} + \frac{W_v}{S_v \rho_w} \quad (\text{E109})$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde:

W_s = peso de sólido

S_s = peso específico de los sólidos

ρ_w = densidad del agua

W_f = peso de sólidos fijos

S_f = peso específico de sólidos fijos

W_v = peso de sólidos volátiles

S_v = peso específico de sólidos volátiles

2. Operaciones preliminares. Los primeros procesos para el tratamiento de lodos es su almacenamiento y pretratamiento como molienda, tamizado, mezclado y desarenado. Esto es necesario para la generación de lodos constante y homogénea para procesos posteriores (Ramalho, 1996).

La molienda de lodos consiste en cortar todo el material grande y fibroso contenido en los mismos para prevenir obstrucciones en los equipos. El tamizado puede ser un proceso alternativo a la molienda en donde se remueve material perjudicial de la corriente de sólidos. Luego es necesario desarenar los lodos, especialmente en plantas donde no se utilizan desarenadores previo a los sedimentadores primarios. La manera más fácil de desarenar los lodos es por fuerza centrífuga en un sistema fluidizado para separar la arena de la materia orgánica, esto se logra con el uso de ciclones desarenadores. Es necesario mezclar los lodos debido a que estos provienen tanto de tratamientos primarios como secundarios, por lo que se debe generar una mezcla uniforme para los procesos posteriores del tratamiento, especialmente en la deshidratación, calentamiento o incineración. El mezclado de lodos se puede realizar en tanques de sedimentación primarios, en tuberías o en digestores aeróbicos o anaeróbicos (Metcalf & Eddy, 2003).

En cuanto al almacenamiento, este es necesario para proveer una ecualización del flujo de lodos y permitir la acumulación de los mismos, logrando una mezcla uniforme que mejora el espesamiento, acondicionamiento y deshidratación. Los lodos pueden ser almacenados a corto o largo plazo. Para plantas pequeñas, el almacenamiento puede durar hasta 24 horas. Por otro lado, las plantas más grandes usualmente utilizan digestores aeróbicos, lagunas facultativas y otros procesos de largos tiempos de retención para almacenar los lodos (Cheremisinoff, 2002).

3. Espesado. El espesado o concentración de los sólidos es una operación utilizada para incrementar la cantidad de sólidos en los lodos, removiendo una porción del líquido. De esta manera, se logra reducir el volumen de los lodos. En los lodos que no han pasado por un proceso de espesado, los sólidos representan un 1 a 4% del total de lodos, mientras que en los lodos que ya pasaron este proceso, los sólidos representan de un 5 a 7% del total de lodos. En plantas de tratamiento de aguas residuales pequeñas, con capacidad menor a 4,000 m³/día, el espesado de lodos no se realiza en unidades separadas y especiales sino que se lleva a cabo en los tanques de sedimentación primaria o en unidades de digestión de lodos. Por el contrario, en plantas de tratamiento grandes, sí son necesarias unidades especiales para el espesamiento, en este caso, los costos adicionales se justifican con un mejor control del proceso y las altas concentraciones de lodos que se pueden alcanzar. Este proceso es comúnmente realizado mediante procesos físicos como el espesado por gravedad, flotación y centrifugación. (Metcalf & Eddy, 2003).

Este es de los métodos más comunes para el espesado y usualmente se lleva a cabo en un tanque circular similar a un tanque de sedimentación. En un espesador por gravedad, se distinguen tres zonas principales: zona clarificada, zona de alimentación y zona de compactación. En la parte superior del tanque se encuentra la zona clarificada, la cual tiene muy baja concentración de sólidos, los cuales se drenan junto al sobrenadante por un vertedero y comúnmente es regresada al inicio para reprocesar el agua. La zona central del tanque es la zona de alimentación, en donde se tiene una concentración uniforme de sólidos. Por último, se tiene la parte inferior del tanque la cual se conoce como zona de compactación y es allí donde se da un aumento de la concentración de sólidos hacia el punto de purga de los mismos. Los lodos concentrados son bombeados hacia el digestor o equipo de deshidratación. Este método es muy utilizado para espesar lodos primarios, ya que se consiguen altas concentraciones sin necesidad de adicionar ningún producto químico (Cheremisinoff, 2002).

a. Por flotación. El método de espesado por flotación es comúnmente utilizado para lodos activados o biológicos con apariencia gelatinosa que provienen del tratamiento secundario. En un espesador por flotación, los lodos se concentran en la parte superior del tanque. Para que se produzca la flotación es necesario que los lodos tengan una densidad menor a la del líquido. Cuando esto no ocurre de manera espontánea, se requiere introducir en el medio burbujas de aire, las cuales se adhieren a las partículas y forman un complejo con menor densidad a la del líquido para subir a la superficie. El sistema más usado para introducir los lodos en un proceso de flotación es por presurización, el cual consiste en disolver aire en el líquido bajo una presión de varias atmósferas hasta liberarlo a presión atmosférica con lo que el aire disuelto forma micro burbujas que se adhieren a las partículas sólidas.

La presión utilizada en este proceso es un importante parámetro de control que determina el tamaño de las burbujas y puede afectar la concentración de sólidos. Usualmente, se trabaja con presiones entre 410 y 480 kPa, pues con presiones mayores se puede disminuir la afinidad entre burbujas y partículas sólidas (Davis, 2010).

b. Por centrifugación. Este método se fundamenta en la separación de las partículas sólidas debido a una fuerza centrífuga que se le aplica. Es muy común realizar el espesado por centrifugación para los lodos biológicos. En estos equipos, los lodos son alimentados de manera continua y los sólidos se van concentrando en la periferia. Las centrífugas separan el lodo en dos componentes: lodo espesado y líquido clarificado, los cuales se evacúan por separado (Davis, 2010).

Bajo condiciones normales, el espesado se da sin necesidad de la adición de algún polímero. Si se debe añadir algún polímero, se recomienda una dosis de 0 a 4 kg de polímero seco

por mg de sólido seco. Este proceso es recomendado para plantas grandes, en las que el espacio es limitado o en donde los lodos son muy difíciles de espesar, pues los costes de energía y mantenimiento son elevados (Metcalf & Eddy, 2003).

4. Estabilización. Existen tres objetivos principales por las que los lodos deben ser estabilizados: reducción de patógenos, eliminación de olores ofensivos e inhibición y reducción o eliminación de una potencial putrefacción (Davis, 2010). El logro de estos objetivos está relacionado con los efectos del proceso de estabilización sobre la fracción volátil u orgánica de los sólidos. Los objetivos de estabilización no se logran cuando se permite que los microorganismos crezcan rápidamente en la fracción orgánica de los lodos. Otras razones por las que es importante la etapa de estabilización es para reducir el volumen de lodos, producir gas metano y mejorar la deshidratación de los lodos. Los métodos principales para llevar a cabo la estabilización son alcalina, digestión anaeróbica, digestión aeróbica y compostaje (Metcalf & Eddy, 2003).

a. Estabilización alcalina. El producto ampliamente usado es óxido de calcio, comúnmente conocida como cal viva, debido a su valor económico y efectividad. En este proceso, se agrega cal a los lodos con el fin de elevar el pH a 12 o más. Un alto valor del pH crea un medio en el que se detiene o retarda las reacciones microbianas que producen malos olores o atracción de vectores. Mientras el pH se mantiene alto, los lodos no crean malos olores ni son peligrosos para la salud, pues con este proceso también se inactivan virus y bacterias. Una desventaja de estabilizar los lodos con cal es que no destruye la materia orgánica responsable del crecimiento de microorganismos y, si la dosificación de cal no es suficiente para mantener el pH a 12 durante dos horas, puede producirse una disminución del pH durante el almacenamiento, lo cual provocaría malos olores y reaparición de microorganismos patógenos (Metcalf & Eddy, 2003). Otra desventaja es que no se reduce la masa de lodos, sino incrementa debido a la precipitación de compuestos químicos, lo cual da como resultado un aumento de costes de transporte y disposición de lodos. La dosificación de cal es el factor más importante dependiendo de los siguientes factores: tipo, composición química y concentración del lodo (Davis, 2010).

Los métodos más comunes de la estabilización con cal pueden ser estabilización previa, la cual se integra cal antes del secado de lodos o la post estabilización, en donde se agrega cal luego del secado. La post estabilización tiene más ventajas, especialmente el requerimiento más reducido de cal (Davis, 2010).

5. Compostaje. El compostaje es un proceso en el cual la materia orgánica pasa por una degradación biológica para obtener un producto final estable. En este proceso un 20 a 30 % de sólidos volátiles son convertidos en dióxido de carbono y agua. Mientras la materia orgánica en los lodos se descompone, el compost se calienta a temperaturas en el rango de pasteurización de 50 a 70°C para destruir organismos patógenos (Metcalf & Eddy, 2003). El objetivo final del compostaje es estabilizar la materia orgánica de los lodos para reutilizar posteriormente en la agricultura o recuperación de suelos.

El compost, al ser aplicado al suelo, puede mejorar la infiltración y retención de agua, disminuir las fluctuaciones de temperatura, reducir la erosión y mejorar la sanidad de los cultivos. Este proceso de estabilización es económicamente viable y ambientalmente segura, por lo que ha tenido mayor desarrollo en los últimos años (Davis, 2010).

Las etapas generales del proceso se pueden resumir en mezclado, fermentación, maduración y refinado. En la primera etapa, el lodo se mezcla por medios mecánicos con el fin de aumentar la porosidad, reducir el contenido de humedad y suministrar una fuente suplementaria de carbono. En la etapa de fermentación o compostaje se da un elevado consumo de oxígeno y una elevación de temperatura en la masa, y es cuando se producen altas tasas de degradación de materia orgánica. La etapa de maduración se caracteriza por tener bajo aporte de oxígeno, menores temperaturas y un menor potencial de producción de olor. Finalmente, el refinado constituye la separación de la fracción de la biomasa no descompuesta.

Un proceso de compostaje controlado reduce la humedad, el peso y el volumen de los residuos tratados para obtener un producto estabilizado, almacenable, transportable y utilizable. El compostaje del lodo se puede llevar a cabo sólo con los lodos o al añadir y mezclar agentes, como astillas de madera, aserrín o residuos vegetales, lo que le dan porosidad y facilitan el mantenimiento de las condiciones aerobias (González, 2015).

6. Digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica involucra la descomposición de materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. Esta descomposición se lleva a cabo en tres tipos de reacciones químicas: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis (Davis, 2010).

En la hidrólisis las bacterias hidrolizan los sustratos complejos, como carbohidratos, lípidos y proteínas a monómeros disueltos como azúcares, aminoácidos y ácidos grasos y CO₂, H₂, ácidos orgánicos y alcoholes. En la acidogénesis las bacterias convierten los monómeros simples y ácidos

grasos en ácidos orgánicos. En la última reacción, se da la metagénesis en donde se utilizan los ácidos orgánicos para producir CH_4 y CO_2 (WEF & ASCE, 1991).

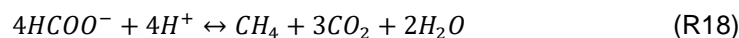
Los factores ambientales importantes en el proceso de digestión anaeróbica son: tiempo de retención de sólidos, tiempo de retención hidráulica, temperatura, alcalinidad, pH, presencia de sustancias inhibitoras y la biodisponibilidad de nutrientes y metales. Es necesario proveer el tiempo de retención suficiente para permitir la destrucción de sólidos volátiles suspendidos. En cuanto a la temperatura, usualmente se opera a una temperatura mesofílica entre 30 a 38°C o termofílica entre 50 a 57°C. Este factor es importante debido a que la temperatura influye en la velocidad de digestión, específicamente en la velocidad de la hidrólisis y formación de metano.

La concentración de alcalinidad en el digestor, a grandes rasgos, es proporcional a la concentración de la alimentación de lodos. En un digestor, el principal consumidor de alcalinidad es el dióxido de carbono. Debido a la presión parcial del gas en un digestor, el dióxido de carbono se solubiliza y forma ácido carbónico, el cual consume la alcalinidad. Los beneficios de este proceso incluyen la reducción de masa de los lodos, la eliminación de olores, reducción de patógenos, un bajo consumo de energía y la recuperación de energía en forma de metano (Metcalf & Eddy, 2003). Las reacciones que se llevan a cabo en la digestión anaeróbica son las siguientes:

- Oxidación del hidrógeno



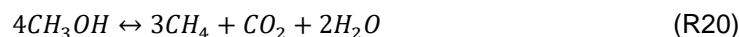
- Oxidación del ácido fórmico



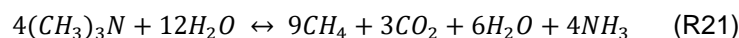
- Oxidación del monóxido de carbono



- Oxidación del metanol



- Oxidación de trietilamina



- Oxidación del ácido acético



- Oxidación del metano



El proceso de digestión anaeróbica de lodos de aguas residuales puede generar del 65 al 70% de metano, 25 a 30% de dióxido de carbono y pequeñas cantidades de N₂, H₂, H₂S y vapor de agua. El volumen de gas metano producido durante la digestión puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$V_{CH_4} = 0.35[(S_o - S)(Q) - 1.42Px] \quad (E110)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde:

V_{CH_4} = volumen de metano producido en condiciones estándar

Q = caudal

S_o = DBO en el afluente

S = DBO en el efluente

Px = masa neta de tejido celular diariamente

0.35 = factor de conversión teórico para la cantidad de metano producido por la conversión completa de un kg de DBO a metano y dióxido de carbono.

La línea de recolección de gas debe tener un diámetro mínimo de 65 mm y la entrada de gas debe localizarse a un mínimo de 1.2 m del nivel máximo de líquido del tanque. La cubierta también debe tener un recubrimiento para evitar corrosión producida por el ácido sulfhídrico. Es común utilizar una protección catódica como recubrimiento para que un material, como el zinc, actúe como ánodo y sea este el material que se corroa en vez de la cubierta que puede ser de acero carbón.

La masa neta de tejido celular sintetizada diariamente en una digestión de lodos anaeróbica se puede estimar mediante:

$$Px = Y_{obs}Q_p(S_o - S) \quad (E111)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde:

Px = generación de lodo diario

$$Y_{obs} = \frac{Y}{(1+k_d\theta_c)}$$

Q_p = cauda promedio, m³

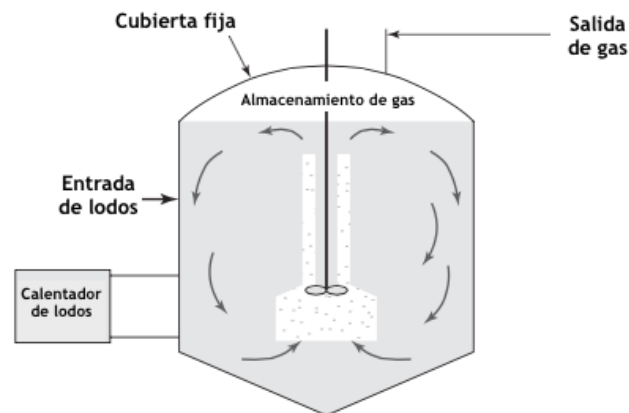
S_o = concentración de DBO₅ en el afluente

S = concentración de DBO₅ en el efluente

Los digestores anaeróbicos pueden ser convencionales, de una fase y alta carga, en dos fases e independientes. Los digestores convencionales, los lodos son ingresados al digestor de manera intermitente y el digestor no necesita de mezclado ni calentamiento. Los volúmenes requeridos para estos digestores son grandes, si se desea lograr una buena estabilización. El principal inconveniente de este digestor es que las condiciones ambientales y de los alrededores no puede controlarse para mantener las condiciones deseadas para los lodos (WEF & ASCE, 1991).

En los digestores de una fase y alta carga, los lodos son mezclados con recirculación de gas, mezcladores mecánicos, bombeo o mezcladores con tubos de aspiración y es calentado para optimizar la velocidad de digestión. En este proceso no se produce un sobrenadante y los sólidos se reducen a un 45 a 50%, liberándose en forma de gas. Las cubiertas de los digestores pueden ser cubiertas fijas o flotantes, siendo éstas últimas de un costo más elevado. En cuanto a su diseño, la mayoría de los digestores suelen tener una forma cilíndrica. Estos digestores usualmente tienen un diámetro entre 6 m y 40 m, mientras que la altura es entre 7.5 m y 14 m. En este tipo de digestores, ya que no hay recirculación, el tiempo de retención de sólidos y el tiempo de retención hidráulica son iguales. El parámetro de diseño principal es el tiempo de retención de sólidos, por lo que se considera como la variable a controlar (Davis, 2010).

Figura 31. Digestor anaeróbico de una sola fase y alta carga.



Fuente: (Davis, 2010)

- Volumen de digestor

$$V = Q\theta_c \quad (E112)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde:

V = volumen del digestor

Q = caudal del fango

θ_c = tiempo de retención de sólidos

- Porcentaje de estabilización

$$\% \text{ estabilización} = \frac{(S_0 - S) - 1.42Px}{S_0} \times 100 \quad (\text{E113})$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde:

S_0 = DBO en el afluente

S = DBO en el efluente

Px = masa neta de tejido celular diariamente

El mezclado que se da durante la digestión es necesario para optimizar el rendimiento del proceso. Para el mezclado del contenido del digestor se han empleado diferentes métodos. En cuanto a los agitadores mecánicos los más comunes son turbinas o agitadores de baja velocidad, los cuales se encargan de desplazar los lodos para permitir un buen mezclado. Las turbinas tienen un motor montado sobre la cubierta del digestor, con dos impulsores localizados a dos distintas profundidades (Metcalf & Eddy, 2003). Para el diseño de problemas ordinarios de agitación, es común utilizar un agitador de turbina como se muestra a continuación.

Los requerimientos de calentamiento del digestor consisten en la necesidad de aumentar la temperatura del lodo ingresando al digestor, compensar las pérdidas de calor de los alrededores. Los lodos son calentados a través de intercambiadores de calor situados en el exterior o en el interior del tanque. Para determinar la energía necesaria para el calentamiento de los lodos, se supone que el calor específico de la mayor parte de los lodos es igual que el del agua, lo cual se ha comprobado que es una hipótesis aceptable para efectos de cálculos (Metcalf & Eddy, 2003).

El calor necesario para elevar la temperatura de los lodos que ingresan al digestor puede determinarse con la siguiente ecuación.

$$Q = \dot{m}Cp(T_2 - T_1) \quad (\text{E114})$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde:

Q = calor requerido para calentar los lodos

\dot{m} = flujo másico de lodos que entra al digestor

Cp = calor específico de los lodos (4.186 kJ/kg °C)

T_1 = temperatura a la que entran los lodos

T_2 = temperatura a la que salen los lodos

Por otro lado, el calor requerido para compensar las pérdidas de calor de los alrededores se pueden calcular mediante

$$Q = UA(T_2 - T_1) \quad (E115)$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

Donde:

Q es el calor requerido para compensar las pérdidas de calor de los alrededores

U = coeficiente de transferencia de calor

A = área superficial del digestor en donde ocurren las pérdidas

T_1 = temperatura de los alrededores

T_2 = temperatura de los lodos en el digestor

7. **Digestión aeróbica.** Este proceso se utiliza comúnmente en plantas de un tamaño menor a 0.2 m³/s aunque en los últimos años se ha utilizado en plantas de una capacidad de hasta 2 m³/s (Metcalf & Eddy, 2003).

En este proceso se oxidan los compuestos orgánicos contenidos en los lodos, lo cual se consigue inyectando oxígeno en el interior de los digestores. A medida que se agota el suministro de sustrato disponible, los microorganismos comienzan a consumir su propio protoplasma para obtener energía para las reacciones de mantenimiento celular. Una fracción de la materia orgánica es utilizada para la síntesis de biomasa nueva y el resto es canalizado en metabolismo energético y es oxidado en dióxido de carbono, agua y material soluble inerte para proveer energía para la síntesis y funciones de mantenimiento. Los microorganismos entran en respiración endógena, proceso en el cual un 75 a 80% de la materia celular se oxida para satisfacer funciones vitales energéticas. Si esta condición se mantiene por un periodo de tiempo prolongado, la cantidad total de biomasa se reduce considerablemente. La porción remanente existe en un estado de energía muy bajo por lo cual es considerado biológicamente estable (Metcalf & Eddy, 2003).

Las principales ventajas de la digestión aeróbica en comparación a la digestión anaeróbica son las siguientes: si se opera correctamente, la reducción de sólidos volátiles que se logra es casi igual que en una digestión anaeróbica, se logra obtener bajas concentraciones de DBO en el líquido sobrenadante, se obtiene un producto final sin olor y biológicamente estable, los residuos finales tienen mejor aplicabilidad en terrenos, la operación es relativamente fácil, los costes de inversión son bajos y se tienen menores riesgos operativos. Los inconvenientes de la digestión aeróbica son los altos costes de energía debido a las altas cantidades de oxígeno que se requieren y el proceso es afectado significativamente por la temperatura, ubicación, geometría del tanque, concentración de la alimentación de sólidos, material del tanque y dispositivo de mezclado o aireación (Metcalf & Eddy, 2003).

8. Acondicionamiento. Los lodos son acondicionados para mejorar las características de deshidratación. El método más común de realizar esto es con la adición de químicos. El acondicionamiento químico puede reducir una humedad inicial de lodos de 90 a 99% hasta un 65 a 85%, dependiendo de la naturaleza de los sólidos a tratar. El resultado de un acondicionamiento químico es la coagulación de sólidos y la libración de agua absorbida. Los coagulantes más utilizados son cloruro férrico, cal o polímeros orgánicos. Algunos factores que afectan la selección del tipo y la dosis de los agentes de acondicionamiento son las propiedades de los sólidos y el tipo de dispositivo de mezclado y deshidratación a utilizar. Las propiedades de los sólidos incluyen el origen de los mismos, la concentración, pH y alcalinidad. La concentración de sólidos es necesaria para conocer la dosis y la dispersión del agente acondicionador. El pH y alcalinidad puede afectar en el desempeño de los agentes a utilizar, especialmente si son inorgánicos (Davis, 2010).

Otro método de acondicionamiento es el térmico, el cual consiste en el calentamiento del lodo a temperaturas entre 60 y 70°C durante periodos cortos de tiempo y bajo presión. Este calentamiento coagula los sólidos, rompe la estructura gelatinosa de los lodos y reduce la afinidad de los lodos por el agua. Algunas ventajas de este acondicionamiento son que el contenido de sólidos del lodo deshidratado está entre 30 a 50%, los lodos procesados no requieren acondicionamiento químico, este proceso estabiliza los lodos y destruye organismos patógenos y el proceso es insensible a cambios en la composición de los lodos (Metcalf & Eddy).

9. Deshidratación. La deshidratación es una operación física empleada para reducir el contenido de humedad en los lodos y por ende, su volumen hasta convertirlo en una masa fácil de manejar y transportar. Su principal objetivo es elevar el contenido de materia seca de un 3 a 4% a un 20 a 40%. La deshidratación de lodos es necesaria para disminuir los costes de transporte al disminuir el volumen de los mismos, mejorar el manejo de los lodos, aumentar el poder calorífico previo a procesos de secado o incineración y para evitar malos olores (González, 2015).

Se utilizan diferentes técnicas en los dispositivos de deshidratación para remover la humedad. Una de estas es la evaporación natural y percolación para la deshidratación de los sólidos. Por otro lado, se encuentran los dispositivos mecánicos los cuales son medios físicos asistidos mecánicamente para la deshidratación rápida de los sólidos. Los medios mecánicos incluyen filtros, por capilaridad, separación centrífuga y compactación. La elección del tipo de dispositivo de deshidratación depende del tipo de los lodos a tratar, las características del producto deshidratado y del espacio disponible. Para plantas pequeñas, generalmente se utilizan patios de

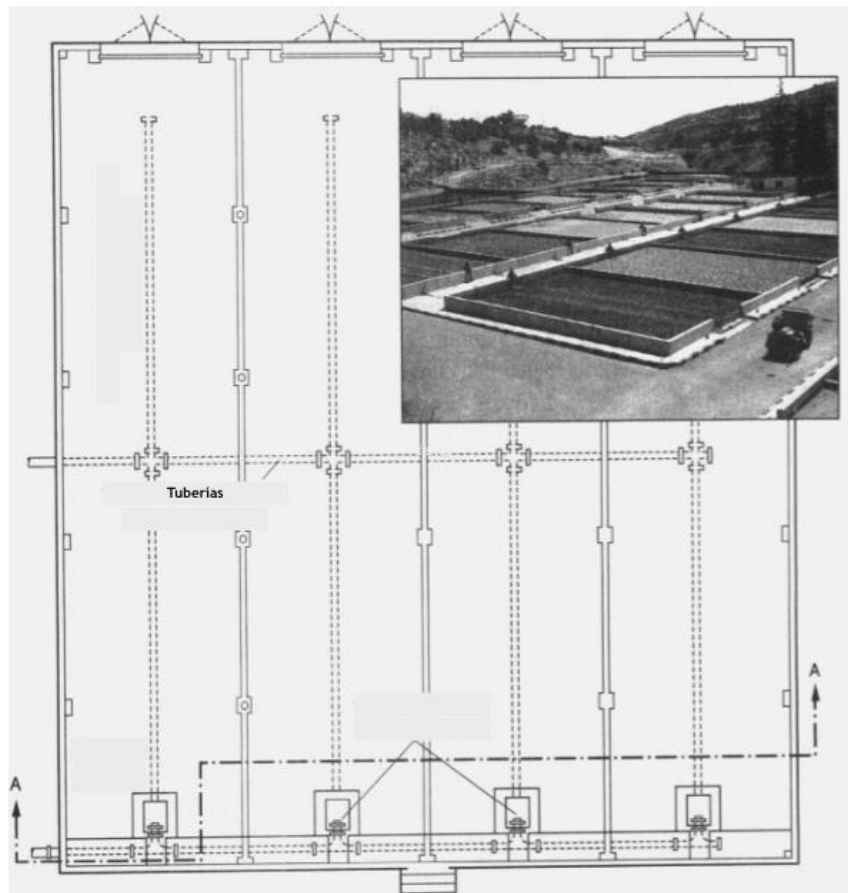
secado o lagunas. Los lodos que son estabilizados por digestión usualmente son deshidratados en patios de secado (Metcalf & Eddy, 2003).

10. Eras o patios de secado. Las eras de secado es el método de deshidratación más común para los lodos digeridos. Entre las ventajas de utilizar un patio de secado se pueden mencionar que es el método de menor costo de capital, no es necesaria mucha atención de parte del operario, el consumo de energía es mínimo al igual que consumo de químicos y se obtiene un mayor contenido de sólidos que con métodos mecánicos. Sin embargo, algunas desventajas de esto son que se necesita mayor espacio de tierra disponible, el lodo debe ser estabilizado, el diseño debe considerar los efectos climáticos y la remoción de lodos requiere mucha mano de obra (Metcalf & Eddy, 2003).

Los patios de secado más utilizados son los convencionales de arena. Estos son utilizados en comunidades de pequeñas dimensiones y población de tamaño medio. En un patio de secado convencional de arena el lodo es deshidratado principalmente mediante percolación y evaporación. Estos patios están constituidos por una capa de grava y una de arena al fondo del mismo. El espesor de dichas capas debe estar entre 200 mm y 500 mm. En cuanto a la grava, esta debe tener un diámetro entre 3 y 25 mm, mientras que la arena debe contar con un tamaño efectivo de grano entre 0.3 y 0.75 mm (Metcalf & Eddy, 2003). Es necesario tomar en cuenta que la profundidad recomendada para los patios de secado debe ser entre 0.5 a 0.9 m y estas pueden ser construidas de concreto. Por otro lado, se debe contar con un sistema de drenaje para los lixiviados (WEF & ASCE, 1991).

Las ventajas de este proceso de deshidratación son que el consumo eléctrico es mínimo, no se necesita uso de algún químico, tiene un menor costo inicial en comparación a otras opciones de deshidratación mecánicas, al igual que los costos de mantenimiento y preparación, y se obtiene un lodo con alto contenido de sólidos. Sin embargo, las desventajas de este proceso son el requerimiento de extenso terreno disponible, el lodo debe estar estabilizado, requiere mucha mano de obra, mantenimiento y limpieza, se necesitan condiciones climáticas favorables y pueden percibirse fácilmente malos olores (Metcalf & Eddy, 2003). La forma de secado en un patio de lodos es mediante la evaporación y percolación natural. Este proceso es ideal para plantas de tratamiento de pequeñas dimensiones y pequeña población (WEF & ASCE, 1991).

Figura 32. Típica vista de planta de un patio convencional de arena.



- Área del patio de secado

$$A = \frac{Qt}{h} \quad (\text{E116})$$

(Brendan, 2008)

Donde:

Q = caudal, m^3/d

t = tiempo, s

h = altura del patio, m

- Volumen del patio de secado

$$V = w \times l \times h \quad (\text{E117})$$

(Brendan, 2008)

Donde:

w = ancho, m

l = largo, m

h = profundidad, m

11. Disposición final. El destino final que se le dará a los lodos debe estar justificado desde los puntos de vista ecológico, económico y energético. Existen distintas alternativas para el destino final de los lodos, siendo las más habituales el uso agrícola, la valorización energética y el depósito al vertedero. El lodo ya tratado es considerado una fuente de nutrientes y energía, debido a esto el objetivo de la minimización de residuos debe ser maximizar su utilización como recurso (González, 2015).

12. Aplicación a los suelos. Los lodos tratados pueden ser aplicados a tierra agrícola, tierra forestal, tierra perturbada o en sitios de disposición especiales (Metcalf & Eddy, 2003).

La aplicación de lodos tratados para propósitos agrícolas tiene diversos beneficios debido a que la materia orgánica que estos contienen mejora la estructura del suelo, la capacidad de retención de agua y permite aprovechar el potencial fertilizante de su contenido orgánico e inorgánico. Los lodos tratados deben cumplir con requisitos legales, que establecen bajo contenido en metales pesados y contaminantes como patógenos. Estos presentan cantidades importantes de micronutrientes como hierro, zinc y manganeso, y macronutrientes como carbono, nitrógeno y fósforo. Estas propiedades en los lodos hacen que su incorporación en la agricultura como fertilizante complementario sea una buena opción de gestión (Metcalf & Eddy, 2003).

De manera general, la acción de los lodos sobre el suelo debe analizarse bajo el aspecto físico, biológico y nutricional. Su aspecto físico se analiza por su alto contenido en materia orgánica, lo cual produce una mejora en la estructura de los suelos y disminuye la erosión. Además, se incrementa la capacidad de retención de agua, siendo beneficioso en zonas áridas. En cuanto al aspecto biológico, los lodos tratados favorecen la biodiversidad de diferentes especies de microorganismos en el suelo, aumentando las enzimas y metabolitos microbianos. Estos microorganismos mineralizan la materia orgánica presente en los lodos, lo que pone a los nutrientes a disposición de las plantas. Finalmente, su aspecto nutricional es evaluado según el suministro de macronutrientes básicos a los cultivos y se favorece la eficiencia de absorción por las plantas de los fertilizantes químicos (González, 2015).

Los elementos fundamentales para establecer el valor agronómicos de los lodos son el carbono, nitrógeno, relación carbono/nitrógeno, fósforo, potasio y oligoelementos. En cuanto al carbono, los lodos se consideran como enmienda orgánica en la aplicación al suelo debido a su contenido en materia orgánica, entre 45 y 65%, pues su aplicación produce aumento de la misma en el suelo. El nitrógeno suele estar entre 2 y 5%, siendo mineralizable en un plazo de 1 a 3 años, lo que permite la disponibilidad continua para la planta. La relación carbono/nitrógeno debe ser entre 8 y 12 para permitir una buena asimilación del nitrógeno. Los oligoelementos son metales y

metaloides que se encuentran en pequeñas cantidades pero son indispensables para las plantas (González, 2015).

13. Valorización energética. La valorización energética de lodos consiste en el aprovechamiento de los residuos como fuente de energía para algún proceso productivo sin poner en peligro la salud humana ni causar prejuicios al medio ambiente. El objetivo del proceso es romper las cadenas moleculares en los lodos con el fin de eliminar toxicidad y recuperar la energía contenida en los enlaces (Conesa, 2014).

Este método de disposición consiste en transformar el lodo en un recurso energético sometiéndolo a distintas tecnologías como secado térmico, incineración, pirólisis y gasificación (González, 2015). Las ventajas de este proceso son la reducción del volumen de residuos, la recuperación de energía y la obtención de un residuo más estable que el de partida, pues se destruyen todos los microorganismos y compuesto tóxicos. Sin embargo, la desventaja de esto es que existe la posibilidad de emisiones de gases a la atmósfera (Conesa, 2014).

En una combustión controlada de lodos, la fracción orgánica de estos se transforma en materia inerte. El método más conocido de valorización energética es el biogás, el cual está compuesto de gas metano y dióxido de carbono en su mayor parte. Este se obtiene en las plantas en las que se lleva a cabo un proceso de digestión anaeróbica. La mayoría de veces, el biogás es aprovechado para la producción de energía eléctrica y calor mediante motores de combustión interna, pero también se le puede dar otros usos como combustible en vehículos (Hernández, 2012).

U. Transporte de Lodos

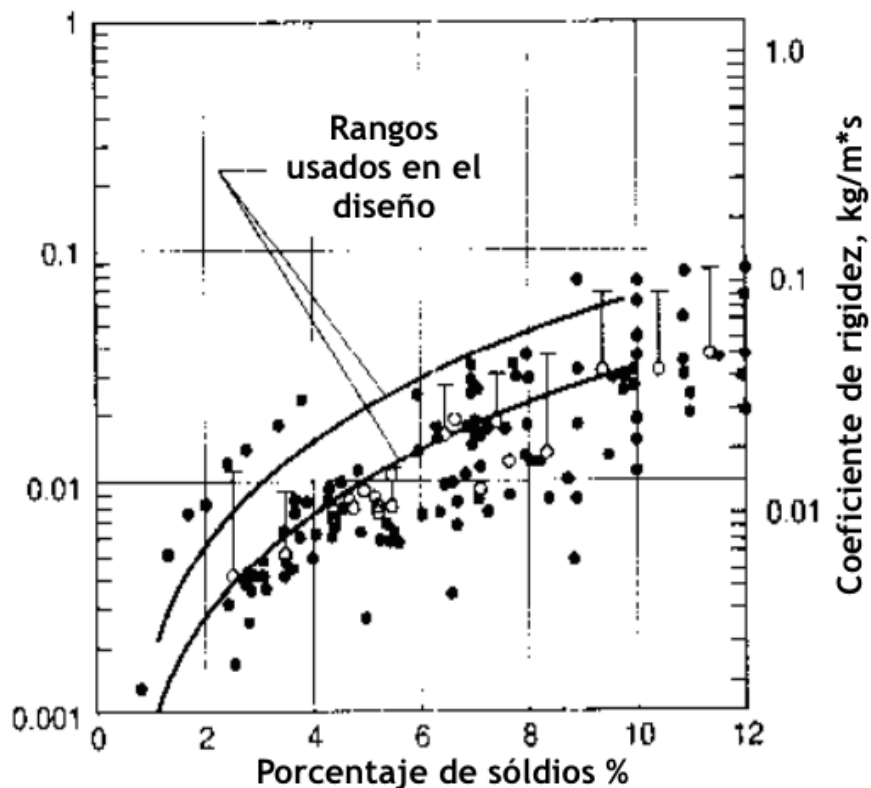
1. Bombas. El lodo producido en las plantas de tratamiento de aguas residuales debe ser transportado de un punto de la planta a otro. Los puntos usuales de transporte incluyen desde el sedimentador primario al sedimentador secundario donde se da el espesado; del sedimentador secundario al digester y de este último al proceso de deshidratación de lodos. También se incluyen sistemas de transporte de recirculación. Para los lodos deshidratados, los cuales se encuentran más concentrados es más común utilizar bandas transportadoras. El tipo de bomba a utilizar depende del tipo de lodo a transportar pero comúnmente para lodos activados, lodos espesados, lodos primarios, la alimentación a los procesos de deshidratación y la recirculación de los lodos, se utilizan bombas de desplazamiento positivo o centrífugas de diseño inatascable (WEF & ASCE, 1991).

Las bombas centrífugas de diseño inatascable son muy utilizadas para el bombeo de lodos. La más utilizada en los últimos años es la bomba de vórtice las cuales son capaces de transportar un alto porcentaje de sólidos y de gran tamaño. La desventaja de este tipo de bombas es que presentan una baja eficiencia (WEMCO).

Durante el bombeo de lodos, se produce cierta pérdida de carga la cual depende de las propiedades del flujo de lodos, del diámetro de la tubería y de la velocidad. Los lodos concentrados de aguas residuales son fluidos no Newtonianos, es decir que la pérdida de carga en condiciones de flujo laminar no es proporcional a la velocidad, por lo que la viscosidad deja de ser constante. Es por esto que para los lodos, el valor exacto del número de Reynolds para el que se desarrollan condiciones de flujo turbulento no está bien determinado.

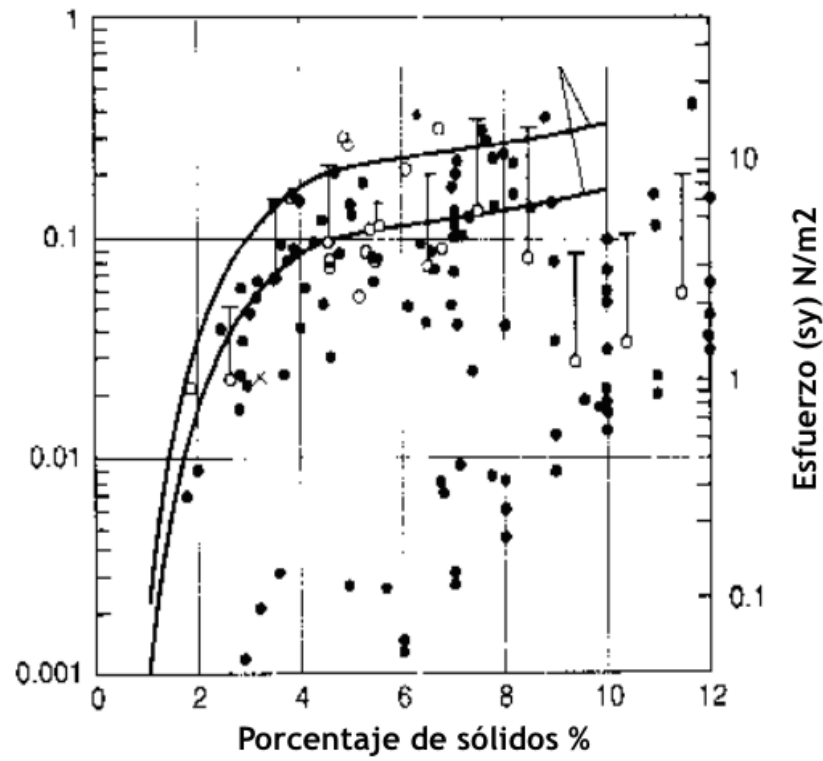
Se ha observado que los lodos tienen un comportamiento de un plástico de Bingham, sustancia que presenta una relación lineal entre la velocidad del flujo y las tensiones tangenciales una vez iniciado el flujo. Un plástico de Bingham queda definido por dos constantes: la tensión producida y el coeficiente de rigidez. En las Figuras 33 y 34 se muestran los valores típicos de ambos coeficientes (Metcalf & Eddy, 2003).

Figura 33. Coeficiente de rigidez respecto al porcentaje de sólidos de los lodos.



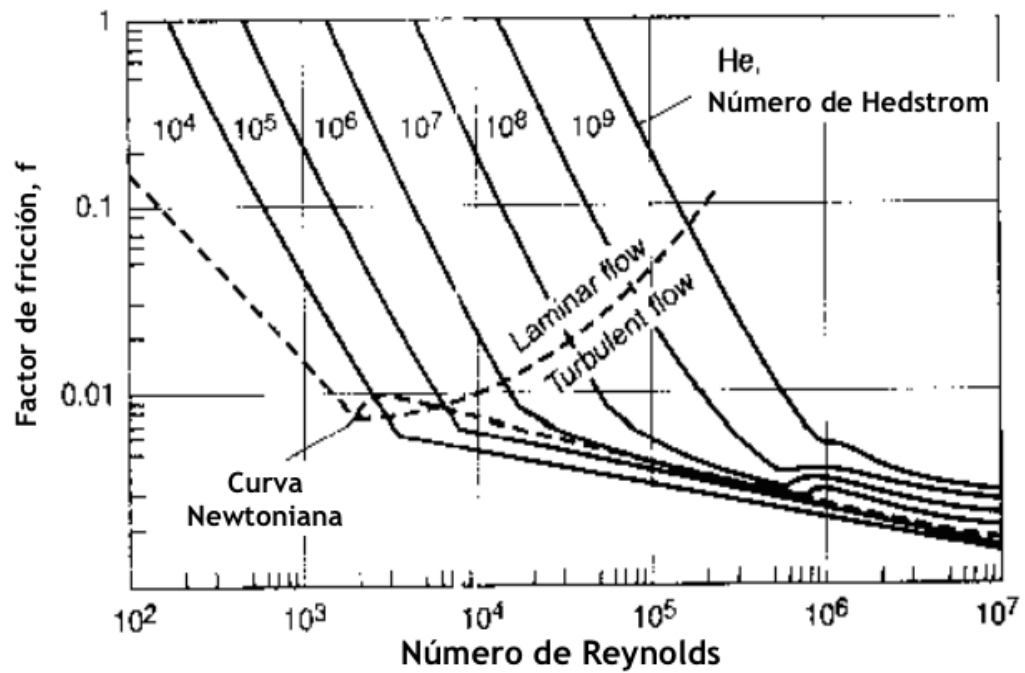
Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

Figura 34. Esfuerzo producido respecto al porcentaje de sólidos.



Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

Figura 35. Coeficiente de fricción de los lodos suponiendo un comportamiento como plástico de Bingham.



Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

Con dichos gráficos es necesario determinar dos números adimensionales para conocer el coeficiente de fricción f : el número de Reynolds y el número de Hedstrom. Estos se determinan con las siguientes ecuaciones.

- Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V D}{\eta} \quad (E118)$$

Donde:

Re = número de Reynolds

ρ = densidad a partir del peso específico del lodo, kg/m^3

V = velocidad media, m/s

D = diámetro de la tubería, m

η = coeficiente de rigidez

- Número de Hedstrom

$$He = \frac{D^2 s_y \rho}{\eta^2} \quad (E119)$$

Donde:

He = número de Hedstorm

ρ = densidad a partir del peso específico del lodo, kg/m^3

D = diámetro de la tubería, m

s_y = tensión producida

η = coeficiente de rigidez

La ecuación de Bernoulli es un balance de energía mecánico. Para aplicar esta ecuación a un problema específico, es esencial identificar la línea de corriente o el tubo y elegir puntos definidos de corriente de entrada o salida. En todas las situaciones reales hay pérdidas por fricción en el fluido y algunas variaciones de velocidad dentro de una sección transversal del tubo, pero en algunos casos son suficientemente pequeñas para despreciarlas. En otros casos, se emplean factores de corrección para utilizar la ecuación en donde existen variaciones de velocidad y se producen efectos de fricción (McCabe, 2007). La energía mecánica distribuida al fluido, ηW_p , puede determinarse de la siguiente manera.

- Energía mecánica distribuida en el fluido.

$$\frac{P_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \bar{V}_a^2}{2} + \eta W_p = \frac{P_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2} + hf \quad (E120)$$

(McCabe, 2007)

Donde:

ηWp = energía mecánica distribuida al fluido

$\frac{P}{\rho}$ = trabajo mecánico realizado sobre el fluido por las fuerzas externas de la corriente

gZ = energía potencial de unidad de masa de fluido

$\frac{v^2}{2}$ = energía cinética de unidad de masa de fluido

hf = pérdidas por fricción totales

- Pérdidas por fricción

$$hf = \left(4f \frac{L}{D} + Kc + Kf \right) \frac{\bar{v}^2}{2} \quad (\text{E121})$$

(McCabe, 2007)

Donde:

f es el coeficiente de fricción

Kc es la pérdida por expansión

Kf es el coeficiente por fricción en accesorios

V. Manejo de recurso hídrico en Guatemala

Según Fernández (1999), es necesario privilegiar el conocimiento del vínculo existente entre la utilización de los recursos hídricos y los ecosistemas que abastecen el agua. Por ello, lograr el acceso al agua oportunamente, en calidad y cantidad necesaria para garantizar la vida implica plantear el problema centrando los esfuerzos en una menor alteración del ciclo hidrológico natural.

En Guatemala la gestión de los recursos hídricos constituye un gran reto, pues incluye el impacto provocado de la deforestación, la contaminación del agua y en algunos sectores el uso deficiente de la tierra para la agricultura, la demandas del mercado de madera, además del incremento en el desarrollo urbano.

Guatemala ha sido favorecida con abundancia de lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas, y aunque las aguas superficiales son abundantes, también son estacionales y con frecuencia están contaminadas. Los recursos de agua subterránea proveniente de pozos y manantiales son significativos para responder a las demandas de suministro de agua potable para las necesidades públicas y domésticas de la población.

Debido al crecimiento de los sectores industriales, los efluentes no-tratados que entran en los cursos de agua y acuíferos también se han incrementado. Las aguas residuales no-tratadas contaminan los recursos hídricos, sin embargo las instalaciones de tratamiento para éste recurso no son suficientes en comparación al consumo y demanda de cada localidad, por ello promover el tratamiento de las aguas residuales beneficia a las diferentes comunidades permitiendo la reutilización de dicho recurso, protegiendo a su vez la naturaleza y el ambiente.

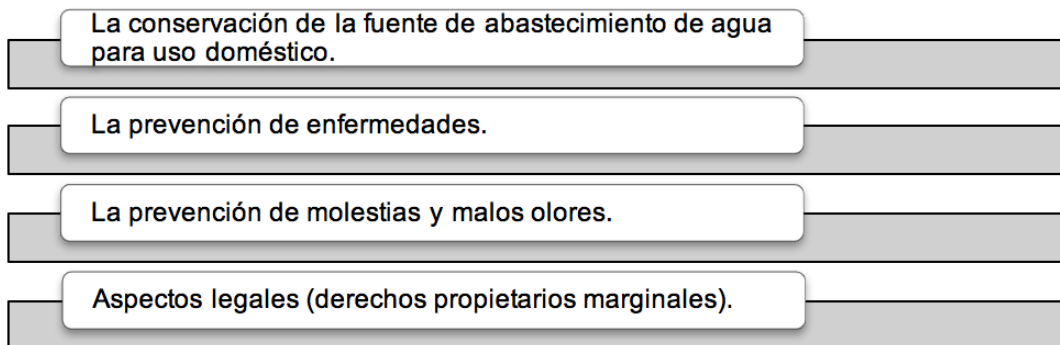
W. Tratamiento de aguas residuales.

Según la división de manejo de desechos líquidos La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA, 2009), la descarga de aguas residuales para las ciudades metropolitanas, oscila entre 165 a 280 litros por habitante por día, dependiendo de la condición de la planta de tratamiento.

Mackenzie L. (2005), establece que la administración de la calidad del agua es controlar la descarga de contaminantes, de tal modo que no se degrade hasta llegar a un grado inaceptable, inferior al natural del ambiente. Se puede señalar entonces la necesidad del tratamiento de las aguas residuales como una consecuencia de la civilización y el progreso caracterizado por el aumento de la densidad demográfica y la expansión industrial, que obliga a tomar e implementar ciertas medidas sanitarias, entre estas, un mayor control de la contaminación.

A continuación se presentan las cuatro razones que justifican el tratamiento de las aguas residuales.

Figura 36. Justificaciones para el tratamiento de aguas.



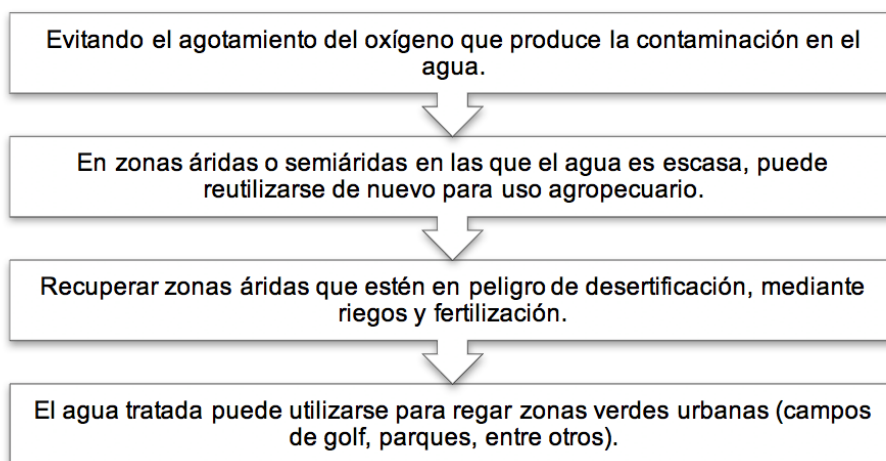
Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas.

Rogers (2002), citado por Dourojeanni y Jouravlev (2000), define la gobernabilidad en el manejo del recurso hídrico como “la capacidad de un sistema social para movilizar energías en forma coherente para alcanzar el desarrollo sostenible de los recursos hídricos” Implica tener la capacidad de articular los elementos que interviene en un sistema complejo.

1. **Tratamiento de aguas residuales y el medio ambiente.** Siles y Soares (2003), describen que comprender y aceptar la dependencia mutua entre la población y el agua en las cuencas hidrográficas, constituye el punto de partida para cambiar las formas de gestión de los recursos naturales en general y del agua en particular e iniciar un proceso que posibilite hacer un manejo participativo e integrado. Las interacciones entre la población y el agua son complejas y a la vez muy específicas. Es decir, están condicionadas por una serie de factores, entre ellos el clima, la topografía la vegetación la geología, así como las características socioeconómicas y culturales de los grupos que habitan las cuencas.

Se puede decir que el tratamiento de aguas residuales, cuando se planifica y gestiona de una forma adecuada, produce grandes beneficios para el medio ambiente. Estos efectos positivos ayudan a incrementar el rendimiento en la agricultura y la acuicultura. La eliminación de contaminantes del agua puede resultarnos de gran utilidad en los siguientes casos.

Figura 37. Beneficios de la eliminación de contaminates del agua.



Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas.

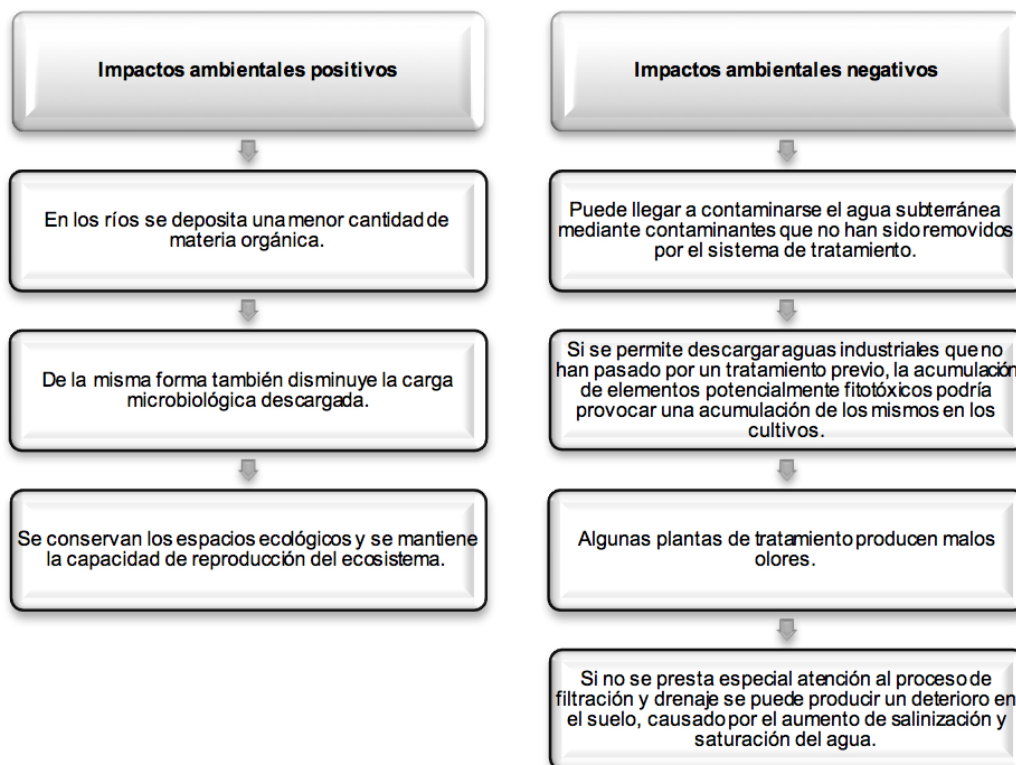
Con el propósito de perjudicar lo menos posible al medio ambiente se construyen las plantas de tratamiento de aguas residuales, pero esta forma de tratamiento de aguas tiene tanto efectos positivos como negativos en el ambiente.

2. **Impacto ambiental.** De acuerdo al Banco Mundial (2011), más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales.

En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales. La contaminación del suelo ocurre tanto en áreas urbanas como rurales. Conteniendo 40% de las especies tropicales de plantas y animales del mundo, y 36% de las especies cultivadas de alimentos y productos industriales, la región presenta intenso interés en la preservación y protección del ambiente, sin mencionar una preocupación por la salud humana.

Siles y Soares (2003) replican que los valores social, ambiental y económico del agua posibilitan la seguridad de las poblaciones en estos tres ámbitos. La seguridad ambiental se garantiza a partir de la aceptación, valoración y cumplimiento de responsabilidades individuales, sociales e institucionales en el manejo adecuado, conservación y restauración de los ecosistemas. La seguridad social se proporciona a través de acceso equitativo, seguro y eficiente al agua, así como la responsabilidad por su conservación y manejo sustentable. Al tratarse de seguridad económica, se pretenden revertir las tendencias actuales de pautas de consumo, demográficos y de articulación sociedad y naturaleza, con el fin de garantizar la satisfacción de las demandas actuales y futuras de recursos hídricos para todas las poblaciones y sectores sociales sin comprometer la integridad ecológica de los ecosistemas, reduciendo como consecuencia el impacto negativo ambiental y promoviendo el impacto positivo del mismo, dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes.

Figura 38. Cambios ambientales positivos y negativos al tratar las aguas residuales.



Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas.

OPS (2004), independientemente de los agentes que afectan la calidad del agua para consumo humano, es necesario tener en cuenta los riesgos causados por la pobre protección de las fuentes de agua, el inadecuado manejo del agua durante el proceso de tratamiento y la mala conservación de su calidad a nivel de las redes de distribución. Sin embargo, la ausencia de enfermedades en comunidades abastecidas con agua de mala o dudosa calidad no significa que la población no esté sujeta a riesgos que puedan desencadenar una epidemia o provocar daño ambiental.

3. Uso consciente de recursos hídricos. OPS (2004) define que una cultura hídrica es un conjunto de costumbres, valores, actitudes y hábitos que un individuo o una sociedad tienen con respecto a la importancia del agua para el desarrollo de todo ser vivo, la disponibilidad del recurso en su entorno y las acciones necesarias para obtenerla, tratarla, distribuirla, cuidarla y reutilizarla.

Los recursos hídricos se enfrentan a una multitud de amenazas graves, todas ellas originadas principalmente por las actividades humanas, como la contaminación, el cambio climático, el crecimiento urbano y cambios en el paisaje como la deforestación. Cada una de ellas tiene un impacto específico, por lo general directamente sobre los ecosistemas, a su vez, sobre los recursos hídricos.

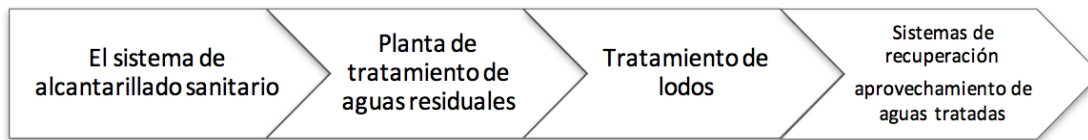
Con una gestión inadecuada, actividades como la agricultura, el desmonte, la construcción de carreteras o la minería pueden provocar una acumulación excesiva de tierra y partículas en suspensión en los ríos (sedimentación), lo que causa daños en los ecosistemas acuáticos, deteriora la calidad del agua y dificulta la navegación interior del ecosistema.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales tienen como función crear un hábitat cómodo y saludable para los habitantes de una ciudad que les proporcione bienestar y calidad de vida. Además protegen el ambiente al permitir un proceso de tratamiento para las aguas residuales y devolver así a la naturaleza agua limpia, sin contaminantes y en mejores condiciones.

Existen diferentes sistemas y procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas que van desde un tratamiento primario hasta un terciario; en los últimos años ha existido un crecimiento en la construcción y capacidad de diseño a nivel nacional.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales se integran por los siguientes elementos:

Figura 39. Sistemas de tratamiento de aguas residuales.



Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas

4. **Trampas de grasa.** Contreras K. (2009), define que los aceites y grasas son compuestos orgánicos, muy estables que no se descomponen fácilmente por las bacterias, pueden interferir en la vida biológica, su análisis se realiza por extracción con solvente orgánico y cuantificación gravimétrica.

Una trampa de grasa es un dispositivo especial, con forma cúbica de dos compartimientos, que generalmente se utiliza para separar los residuos sólidos flotantes y las grasas y aceites del agua que proviene de la preparación de alimentos en restaurantes, hoteles, negocios de comidas rápidas, plantas de producción y procesos industriales o bien en centros de servicio para automóviles.

Como parte de su funcionamiento, una trampa retiene por sedimentación los sólidos en suspensión más pesados y por flotación, el material graso y algunos sólidos flotantes. La trampa de grasas tiene dos compartimientos, ambos separados por una rejilla o por un pequeño deflector (una pequeña pared) encargada de no dejar pasar sólidos. En el compartimiento más grande, llegan los líquidos con sólidos suspendidos o flotantes, la grasa se separa al ser menos densa que el agua, quedando en la superficie. Por el otro compartimiento, sale el agua sin la mayor parte de grasas y aceites.

Es muy importante que el desagüe posterior a la trampa tenga un sifón para evitar malos olores dentro del local. La trampa cuenta también con un drenaje y una llave de cierre rápido que va a permitir, luego de evacuar los precipitados, hacer la limpieza, sin necesidad de emplear mangueras y otros accesorios.

Para que una trampa de grasa sea eficaz debe tener un volumen calculado a partir de la cantidad de flujo de agua con grasa y el tiempo de retención del mismo dentro del dispositivo. Este volumen, garantiza un tiempo de permanencia de 'las aguas' dentro de la trampa, con lo cual se logra una separación efectiva de las grasas y aceites y los residuos sólidos flotantes. Cada proceso utilizará la trampa adecuada a su nivel de producción o en base a su nivel de flujo de agua.

5. **Servicio de alcantarillado.** Sanchez (2001), establece que las coberturas en cuanto a servicios de alcantarillado, en promedio, son: 59,13 por ciento para las ciudades muy pequeñas; 63,9 por ciento para las ciudades pequeñas; 81,8 por ciento para las 6 ciudades intermedias y 85,4 por ciento para la única ciudad grande. Existen redes de alcantarillado en 223 de las 249 ciudades consideradas. Información proporcionada por las municipalidades, centros de salud y otras instituciones locales.

El Consejo Municipal, de la Municipalidad de la Ciudad de Guatemala en su Artículo. 6 hace referencia a dicho servicio, describiendo que afecta o beneficia a todos los que hacemos uso de las vías vehiculares en diferentes sectores de la ciudad, como resultado de un buen manejo en éste proceso, se producirá una adecuada evacuación de agua pluvial o agua llovediza, lo cual evitará inundaciones en calles y avenidas de la ciudad. Por ello es importante como parte de la buena gestión del recurso hídrico cuidar por el cumplimiento de eficaz de dicho proceso.

X. Normas y marcos legales.

La gestión social del agua y de su saneamiento, ha desempeñado un importante papel en la normativa guatemalteca. En materia de saneamiento se cuenta con el código de salud, decreto No.90-97, Sección III, Artículos 92, 93 y 94, que puntualiza la responsabilidad de las municipalidades en el otorgamiento de infraestructura para el tratamiento de excretas, aguas residuales y servidas, asegurando la cobertura universal.

En el campo de la depuración de aguas residuales, Guatemala también cuenta con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 (2006) y el Acuerdo Gubernativo no. 51-2010 (2010), para la protección y mejoramiento del ambiente, manteniendo el equilibrio ecológico a fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes del país. Así como prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares. Así mismo, existe el cobro por el servicio público de agua potable y alcantarillado contemplado en el Acuerdo No. COM-036-03 Consejo Municipal, Municipalidad de Guatemala, el cual contempla el costo y gestiones que se deben realizar respecto a este servicio y su relación con las aguas residuales tratadas. Este se encuentra en la oficinas centrales de la Municipalidad de Guatemala.

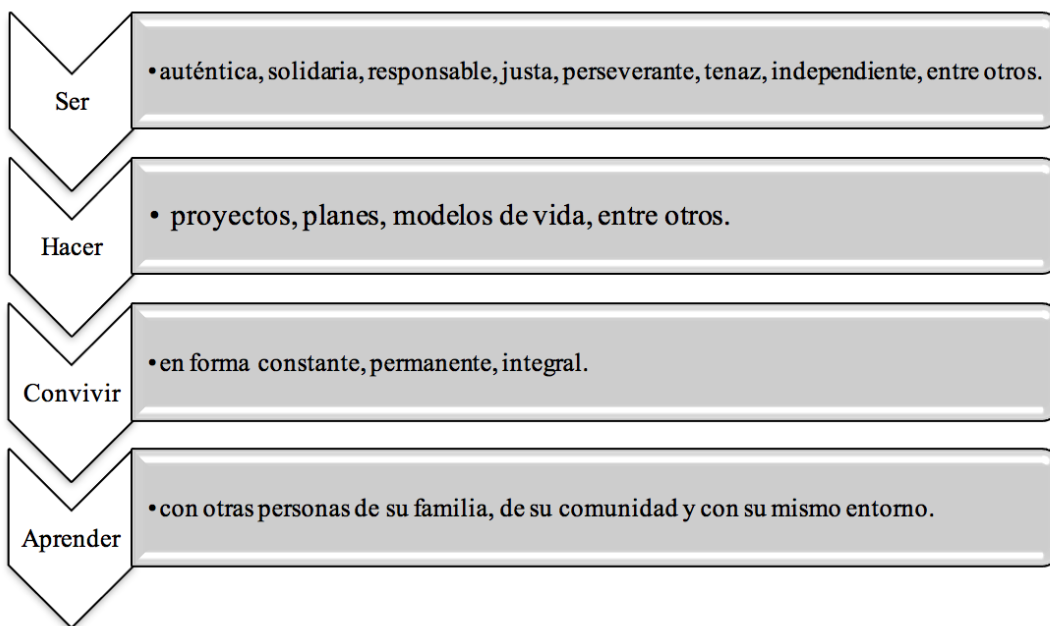
Dunner I. (2004), define al conjunto de técnicas, medidas y elementos destinados a fomentar las condiciones higiénicas de una comunidad, ciudad y edificio, a través de una serie de acciones como la recolección, evacuación y disposición de desechos líquidos y sólidos, alcantarillado y tratamiento de aguas, cuyo objetivo final es reducir los riesgos para la salud y prevenir la contaminación en zonas rurales y urbanas.

Por ello, es importante considerar que para un adecuado tratamiento y gestión del recurso hídrico es indispensable conocer y respetar los reglamentos y marcos legales respectivos que respaldan dicha gestión.

Y. Educación ambiental.

1. Educación. Según UNESCO, la Educación es un proceso destinado a lograr que el ser humano aprenda a:

Figura 40. Proceso de la educación en el ser humano.



Fuente: elaboración propia basada en fuentes citadas.

La persona logrará un mejor desarrollo de su propia personalidad y por ende, logrará una mejor calidad de vida para ella y para quienes le rodean. El procesamiento de la información deberá llevar al ser humano a ser capaz de producir conocimiento. No para ser almacenado, sino para ser utilizado en la práctica cotidiana, para la solución de problemas, para mejorar la calidad de vida de las personas y para lograr que cada una de ellas asuma una postura transformadora del entorno en el cual se desenvuelve.

La educación es un proceso de socialización que estimula a un individuo para que desarrolle plenamente sus capacidades cognitivas, físicas, destrezas, técnicas y formas de

comportamiento para poder así ser un miembro activo e integrado de la sociedad a la que pertenece.

2. Educación ambiental. Castillo y González (2009), citan a Sernat y Gonzalez-Gaudino et. al, describiendo la educación ambiental como un proceso formativo que contribuye a la promoción, adquisición y construcción individual y colectiva de conocimientos, valores y habilidades que permiten la transformación de las formas de relación entre las sociedades humanas, en relación con el ambiente en el cual habitan y los sistemas naturales. Se refiere a ello como un paradigma social dirigido a la sustentabilidad política, económica y ambiental.

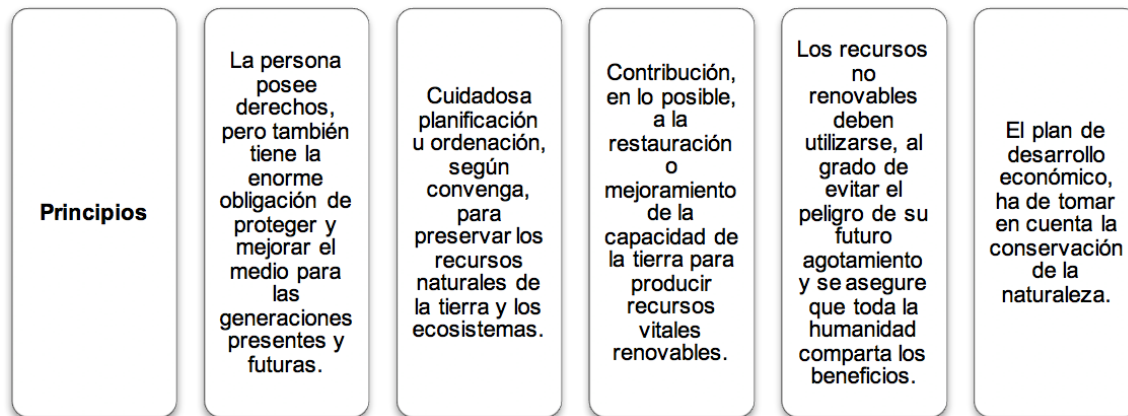
La educación ambiental es un proceso integral, sistemático y permanente de información, formación y capacitación, formal e informal, basado en el respeto a todas las formas de vida, por el que las personas, individual y colectivamente, toman conciencia y se responsabilizan del ambiente y sus recursos, a través de la adquisición de conocimientos, aptitudes, actitudes, valores y motivaciones que le facilitan comprender las complejas interrelaciones de los aspectos ecológicos, económicos, sociales, políticos, culturales éticos y estéticos que intervienen en el ambiente.

Más allá de la educación tradicional, es decir, del simple hecho de trasladar un conocimiento, la educación ambiental relaciona a la persona con su ambiente, con su entorno y busca un cambio de actitud, una toma de conciencia sobre la importancia de conservar recursos para el futuro que permitan mantener una adecuada calidad de vida.

La educación ambiental se plantea como objetivo, lograr una población ambientalmente informada y consciente, preparada para desarrollar actitudes y habilidades prácticas que mejoren la calidad de vida en su entorno ambiental. Para crear una vida en armonía con el ambiente, lo primero que debe realizarse es obtener una población consciente de su pertenencia al todo que lo rodea. Se debe educar a las personas para que aprendan el cuidado y uso necesario del agua para no malgastar los recursos del planeta, mantener limpio su entorno y convivir armoniosamente con su vecino.

3. Principios. Pérez (2007) puntualiza que la Declaración Producto de la Conferencia de Estocolmo estableció una serie de principios fundamentales para un nuevo modelo de desarrollo. Se citan algunos de ellos:

Figura 41. Principios para el desarrollo de la educación ambiental.

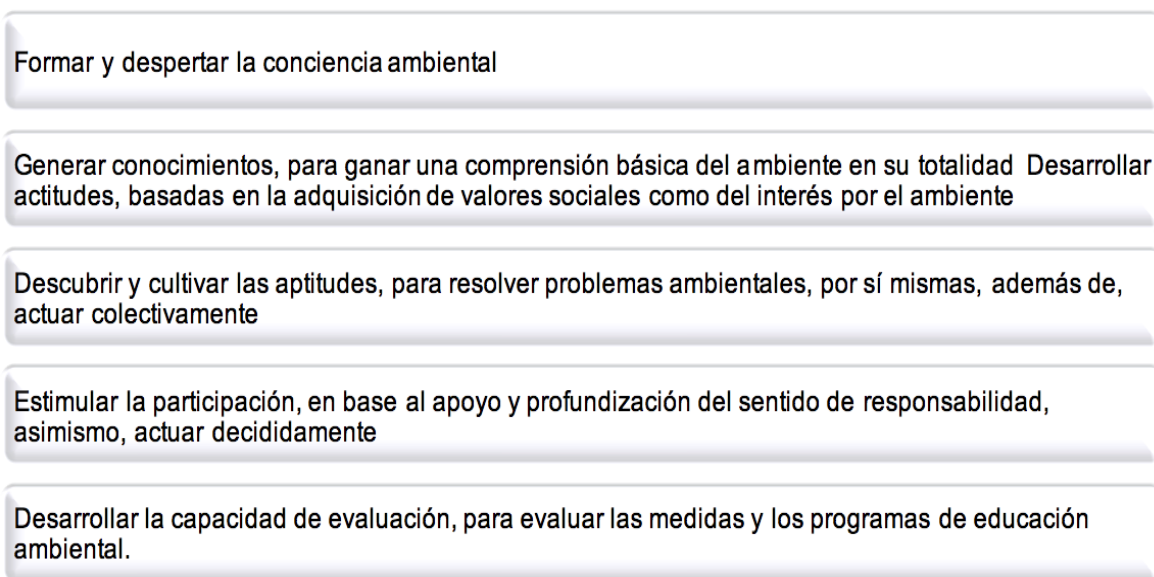


Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas.

Por lo tanto, se adquiere la responsabilidad de preservar como administrar juiciosamente la riqueza de la flora, fauna silvestre y su hábitat, Lucha justa de todos para frenar la contaminación, así dar fin a la descarga de sustancias toxicas o de otras materias perjudiciales para el ambiente.

4. **Objetivos de la educación ambiental.** Solís y López (2003) indican que en la Carta de Belgrado sobre educación ambiental, convocada por la UNESCO se produce y adopta en octubre de 1975, tanto para las personas como para los grupos sociales, los siguientes objetivos:

Figura 42. Objetivos de la educación ambiental



Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas.

En resumen, Carrillo (1998) en Memorias del IV Congreso Interamericano reproduce el vital objetivo de la educación ambiental por la UNESCO: Transmitir conocimientos, formar valores, desarrollar competencias y comportamientos que puedan favorecer la comprensión y solución de los problemas ambientales.

Z. Cultura

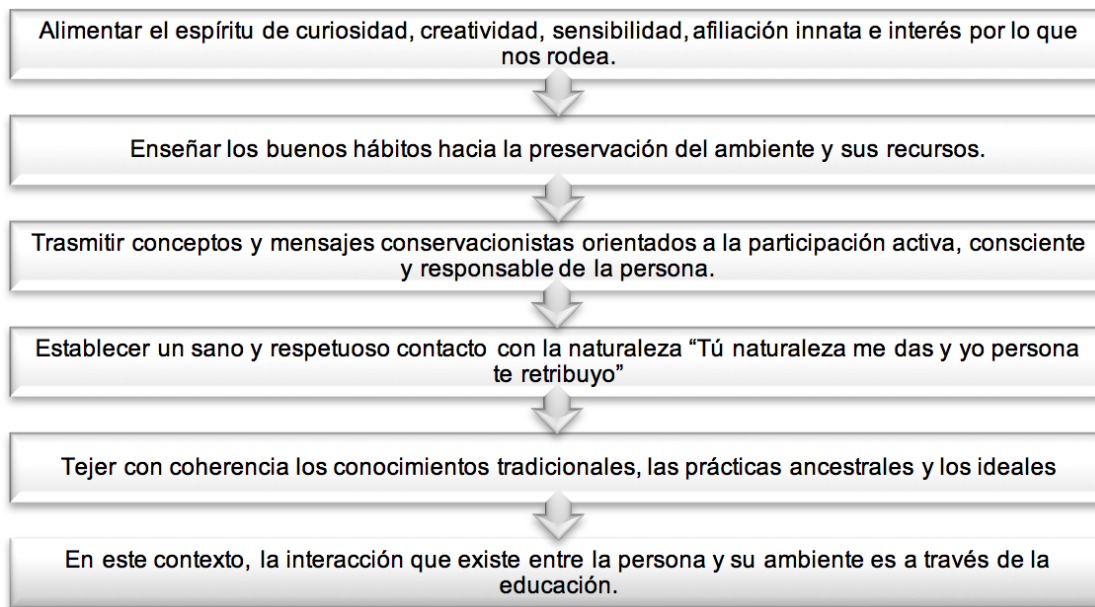
Collingwood (2002) ha definido cultura como: todo lo que una persona necesita saber para actuar adecuadamente dentro de un grupo social. El conocimiento de cultura va a provenir de los diferentes patrones de comportamiento que comparte un grupo social, a partir de esas observaciones y experiencias cada individuo crea su propio marco de comportamientos considerados como adecuados, las reglas no escritas que regulan la conducta del grupo, creando una cultura de compromiso.

La cultura del compromiso son aquellos valores por los que las personas se sienten atraídas. Construir una cultura de compromiso, es un trabajo que requiere tiempo y consistencia, pues su objetivo principal es crear una base de legitimidad y credibilidad hacia una acción determinada.

1. Cultura ambiental. La cultura ambiental es la manera como los seres humanos se relacionan con el ambiente. Según Roque (2003), cada pueblo impacta en sus recursos naturales y en su sociedad de manera particular. De ahí que el tratamiento a los problemas ambientales involucre la necesidad no sólo de un enfoque educativo, sino también cultural, que se aborde desde los valores, las creencias, las actitudes y los comportamientos ecológicos.

Bayón y Morejón (2005) hacen referencia al mismo contexto, señalando que la educación y los sistemas de enseñanza desempeñan un trabajo fundamental en la formación y desarrollo de actitudes ambientalistas en el ser humano, lo cual implica:

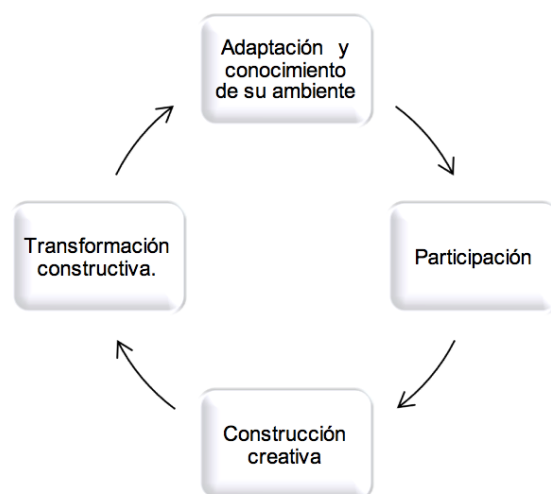
Figura 43. Actitudes que implican una cultura ambiental.



Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas.

2. Etapas de la educación para transformar la cultura ambiental. La cultura ambiental establece los parámetros de relación y reproducción social con relación a la naturaleza. Para Bayón (2006), esta debe estar sustentada en la relación de la persona con su ambiente, y en dicha relación está implícito el conjunto de estilos, costumbres y condiciones de vida. Asimismo, Roque (2003) dice que la cultura es un patrimonio y un componente del ambiente; por lo tanto, su conservación es un derecho soberano de cada pueblo. Una educación hacia la cultura ambiental podría decirse que atraviesa cuatro etapas:

Figura 44. Etapas de la educación para una cultura ambiental.

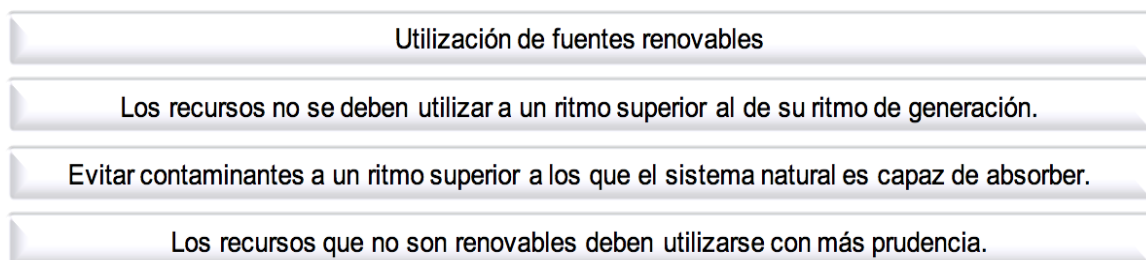


Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas.

Por ello resulta sumamente importante y productivo organizar, implementar y controlar de manera sistemática un programa de cultura ambiental que involucre la participación de manera consciente y responsable, asumir una actitud frente a los buenos hábitos para conservar y restituir el ambiente que faciliten una sana y armónica convivencia con la naturaleza; pues, el desarrollo moral o sea el desarrollo de actitudes y el intelectual, tienen una íntima relación e influencia con el desarrollo ambiental. Se considera que elevar el nivel de cultura ambiental de la población es una prioridad, y es únicamente a través de la educación como el individuo interioriza la cultura, y es capaz de construir y producir conocimientos, reorientar sus valores, modificar sus acciones y contribuir como sujeto individual a la transformación de la realidad del ambiente (Ferrer, Menéndez y Gutiérrez, 2004).

3. Desarrollo sustentable de la educación y cultura ambiental. “El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas.” (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo citado en Ramírez et al, 2004: 55) Por lo cual se establece que una sociedad sostenible es aquella que vela y cumple con diferentes formas de desarrollo que no afecten al ambiente, tomando en cuenta diferentes factores:

Figura 45. Factores sociales que no afectan el ambiente.



Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas.

El no contar con un desarrollo sostenible genera una serie de problemas que, a medida que se incrementan, menor capacidad tendrá el ser humano para resolverlos, y probablemente mayores costos deberán ser cubiertos. El desarrollo sustentable no sólo abarca el concepto amplio de desarrollo respetuoso con el ambiente sino también se centra en el desarrollo socialmente justo. Su dimensión social, económica y ambiental pueden englobarse en lo que podríamos describir como recursos suficientes para todos. Proyectar de forma sustentable significa crear espacios que sean saludables, viables, económicamente sustentables y sensibles a las necesidades sociales.

La situación ambiental en la actualidad es un desafío global, que no puede verse de manera independiente como un reto que solamente la industria o las entidades reguladoras del tema deben enfrentar, resolverlo es responsabilidad de todo ser humano, pues afecta en todos los entornos. El desafío ambiental representa un reto a los valores de toda una sociedad y en este contexto la educación juega un papel importante, promoviendo un aprendizaje participativo e innovador, en el cual las personas se conviertan en agentes de cambio a través de la práctica de nuevos hábitos y formas de vida, que como adultos deben formar a través de un proceso andragógico que facilite la construcción de nuevos aprendizajes en relación al cuidado del ambiente.

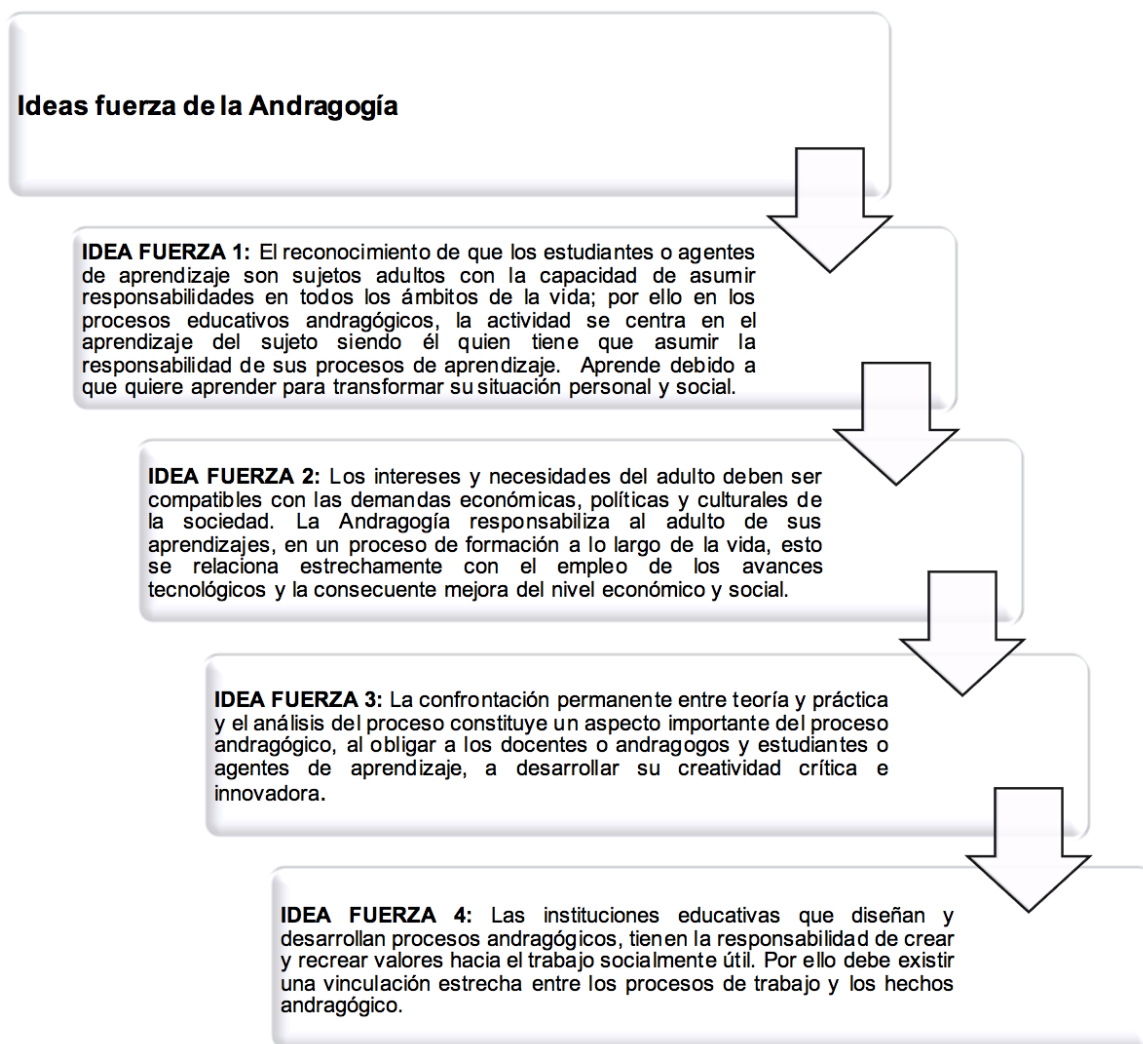
AA. Andragogía

Según Marrero (2004), la Andragogía es una disciplina que estudia las formas, procedimientos, técnicas, situaciones y estrategias de enseñanza y aprendizaje con el fin de lograr aprendizajes significativos en los participantes adultos, que promuevan a su vez, el desarrollo de habilidades, actitudes y la adquisición y transferencia de conocimientos al contexto donde éste se desenvuelve. Es decir, la Andragogía se centra en el estudio de los métodos, estrategias, técnicas y procedimientos eficaces para el aprendizaje del adulto, y en la ayuda y orientación eficaz que éste debe recibir de parte del facilitador para el logro de los aprendizajes.

El hecho andragógico, es distinto a los procesos educativos en los que participan niños y jóvenes. En primer lugar, porque no existe una mediación entre una generación joven y una adulta, no se trata de que una generación transmite a otra más joven su cultura. En segundo lugar, no existe en el sentido estricto de la palabra un maestro encargado de imponer los elementos culturales del segmento de la población adulta a otra más joven.

Samuel Ubaldo Pérez (2009), afirma que la Andragogía únicamente puede diseñar, debido a las características del ser adulto, procesos individualizados que consideren las particularidades de cada sujeto, valorando el trabajo colectivo, grupal, mutuo y colaborativo. Situación que no es difícil de concretar ya que los adultos por sus experiencias cotidianas están habituados al trabajo en equipo.

Figura 46. Ideas fuerza de la Andragogía.



Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas.

1. **Diseño del proceso de capacitación.** Según Siliceo (2015), la capacitación consiste en una actividad planeada y basada en necesidades reales de una empresa u organización y orientada hacia un cambio en los conocimientos, habilidades y actitudes del colaborador.

En una empresa u organización es útil promover la creación de una cultura y un espíritu de capacitación, contemplando todo el aspecto formal, estructural y legal respecto al proceso para que la función educativa a través del mismo sea eficaz para los colaboradores o capital humano de la empresa u organización.

2. **Ciclo y proceso de capacitación.** Según Chiavenato (2002) es reconocido que invertir en el capital humano permite competir efectivamente a nivel global: “El capital humano es la principal diferencia competitiva de las organizaciones exitosas. En un mundo variable y competitivo, en una economía sin fronteras, las organizaciones se deben preparar continuamente para enfrentar los desafíos de la innovación y la competencia”.

Según Rodríguez mencionó que se puede explicar entonces, como un ciclo integrado por los siguientes momentos, que caracterizan en la totalidad lo que se conoce como “Círculo PDCA” o “Rueda de Deming”, empleado en la mejora de los procesos. Este modelo es utilizado por W. Edwards Deming en los estudios sobre la Calidad Total, al intentar exitosamente mejorar el ciclo de calidad propuesto por Shewhart.

El proceso de entrenamiento es dinámico y continuo. No se debe confundir con el sólo hecho de asistir a un curso y proporcionar información, ya que implica alcanzar nuevos niveles de desempeño en la organización, más elevados, a través del aprendizaje de las personas.

3. **Diagnóstico de necesidades.** Chiavenato (2007), menciona que el diagnóstico de necesidades de capacitación, es un proceso que comprende la descomposición del cargo en las partes constitutivas, para la verificación de habilidades, conocimientos y cualidades personales o responsabilidades exigidas a la persona en el desempeño de las funciones”.

En otras palabras, es la diferencia existente entre los requisitos exigidos por el cargo y las habilidades actuales para el ocupante de dicho cargo. Al elaborar el diagnóstico de necesidades de capacitación, es importante tener presente que la capacitación puede solucionar los problemas de una institución cuando las causas se relacionan con deficiencias en conocimientos, habilidades y actitudes de los colaboradores; no obstante, cuando los problemas son referentes a gestión en los procesos de tipo administrativo, económico o tecnológico, es indudable que las soluciones implicarán cambios en la organización.

En esa línea, el diagnóstico de necesidades (DNC) ayuda a solucionar problemas de las necesidades de capacitación, permitiendo a los departamentos identificar las fortalezas y debilidades de los colaboradores, previo a la creación de un programa de capacitación.

Evidentemente un diagnóstico de necesidades de capacitación, no es simplemente la petición aleatoria acerca de lo que la organización o sus colaboradores creen necesitar, sino consiste en una estrategia que permitirá identificar las carencias en cuanto a conocimientos, aptitudes, actitudes y hábitos, que el personal requiere satisfacer para desempeñarse

efectivamente y solucionar el o los problemas identificados a través del diagnóstico. Por otra parte, se constituye también como el punto de partida para la formulación del plan y de los programas de capacitación.

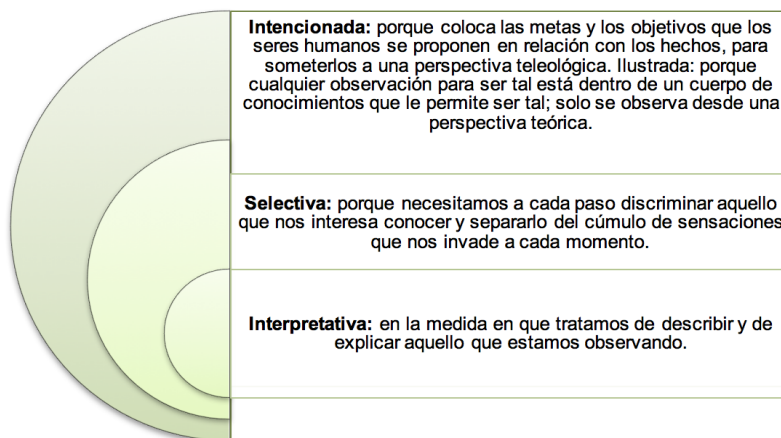
Se realiza un diagnóstico de la situación actual de las personas o de una organización y se determinan necesidades de capacitación a satisfacer por medio de un análisis de la información de la empresa disponible y de la información que se recopila para el diagnóstico. Esta etapa se relaciona fuertemente con el éxito del proceso de capacitación.

Según Reza (2012), diagnóstico de necesidades de capacitación es la indagación tendiente a determinar las carencias de conocimientos y habilidades que impiden, que los trabajadores de una empresa, desempeñen correctamente las actividades relativas a los puesto de trabajo. El objetivo genérico del DNC consiste en obtener la información que permita conocer las carencias de conocimientos, habilidades, actitudes y aptitudes del personal de la organización, con el fin de diseñar y poner en operación programas tendientes a satisfacerlas.

4. Observaciones. Roberto Hernández Sampieri y colaboradores (2000) describen que la observación se fundamenta en la búsqueda del realismo y la interpretación del medio. Es decir, a través de ella se puede aprender más sobre el tema que se estudia basándose en gestos o actos individuales o grupales. Es una herramienta eficaz de investigación social para recopilar información, orientada a un objetivo específico.

La observación es la técnica de investigación básica, sobre las que se sustentan todas las demás, ya que establece la relación básica entre el sujeto que observa y el objeto que es observado, que es el inicio de toda comprensión de la realidad. Según Bunge (1977) la observación en cuanto es un procedimiento científico se caracteriza por ser:

Figura 47. Características del procedimiento de observación.



Fuente: elaboración propia basada en fuentes citadas.

Al final de una observación científica nos dotamos de algún tipo de explicación acerca de lo que hemos captado, al colocarlo en relación con otros datos y con otros conocimientos previos.

5. Entrevistas. Según Cardozo (2007), la entrevista en el proceso de capacitación, se enfoca en proporcionar a los colaboradores retroalimentación sobre la actuación en el pasado y el potencial en el futuro. En ésta etapa del proceso del diagnóstico de necesidades las entrevistas aportaron información de utilidad sobre las características de los colaboradores y su actuación respecto a la problemática existente.

6. Programación de capacitación. De la misma manera Rodríguez (2007), da a conocer que todo programa de capacitación debe llevar un desarrollo, con el efecto de ser exitoso, lo cual permitirá; conseguir el beneficio adecuado para los colaboradores y otorgar en el programa valor e importancia.

En esta etapa se realiza un diseño del programa de capacitación a seguir basado en las necesidades diagnosticadas anteriormente. Se define el grupo de personas a capacitar, los objetivos del entrenamiento, momento a entrenar, el ejecutor de la capacitación, técnicas de aprendizaje más adecuadas, entre otras.

7. Planificación. A la vez Alles (2015), indica que en todos los casos, el plan de formación o capacitación debe de ser diseñado en relación con la estrategia organizacional.

Para que un plan resulte plenamente eficaz, deberá estar coordinado con el resto de las políticas y herramientas de recursos humanos, plan de carreras, selección e integración, análisis de potencial, adecuación de personal al puesto, evaluación de desempeño, etc.

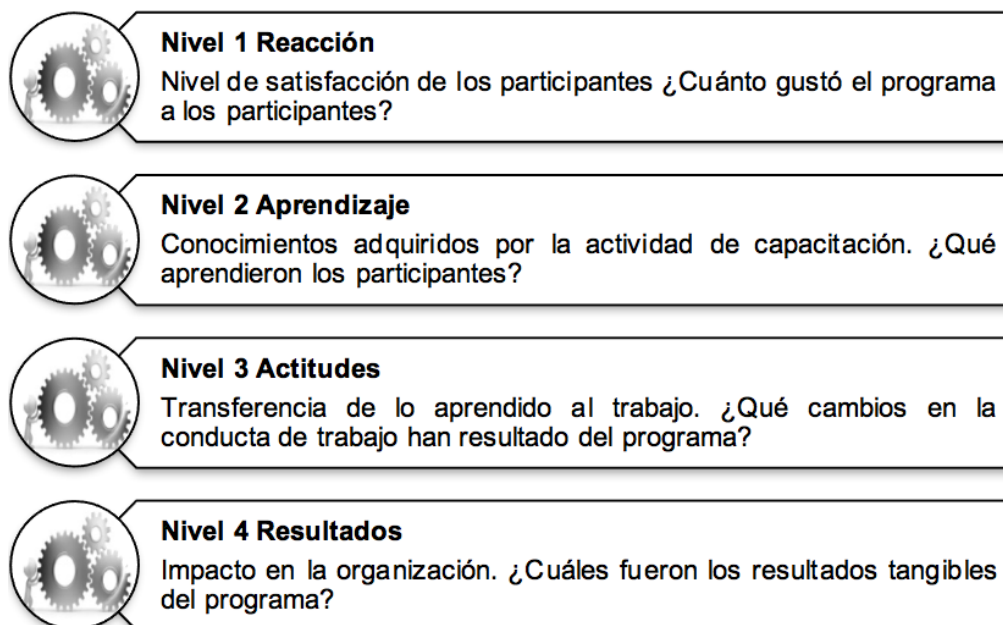
Por otra parte, Reza (2007), indica que es la parte de un plan que contiene en términos de tiempo y recursos, y de manera pormenorizada, las acciones de capacitación que se efectuarán en relación con los empleados de un mismo puesto o categoría ocupacional, por lo cual se concluye que la planificación del proceso de capacitación es la guía que describe detalladamente lo que se realiza con los colaboradores de determinada institución.

8. Ejecución. A través de la interacción de todos los actores involucrados en el proceso de capacitación se implementa y aplica lo programado en la segunda etapa del proceso de capacitación.

9. **Evaluación y control.** Esta etapa permite medir y evaluar los resultados del programa de capacitación y si éste satisfizo las necesidades para las que se diseñó. De esta forma, realizar una evaluación y seguimiento de las actividades de capacitación se convierte en un elemento que retroalimenta el sistema, permitiendo tomar acciones correctivas ante situaciones no deseadas. Para obtener el máximo beneficio de un programa de capacitación es indispensable el apoyo de los altos mandos de la organización, ya que esto ayuda a que el programa no se desvíe de los objetivos establecidos.

Donald Kirkpatrick, en 1959, propone un modelo de 4 niveles de evaluación para los programas de capacitación.

Figura 48. Niveles de evaluación para los programas de capacitación.



10. **Seguimiento.** Se pueden utilizar distintos métodos de seguimiento para determinar el éxito del entrenamiento en el nivel 3 de evaluación. Es importante determinar si lo aprendido se aplica en el trabajo, sin embargo, tomando en cuenta que se puede aplicar el conocimiento a la actividad diaria de trabajo, esto no garantiza un impacto positivo a nivel organizacional. Solamente ejecutando un proceso de seguimiento eficaz se podrá comprobar la efectividad de la capacitación a los colaboradores.

11. Estrategias de comunicación y aprendizaje.

a. Uso de TIC para el desarrollo de la cultura y educación ambiental.

Al hablar de integrar a la Educación Ambiental, las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), nos estamos refiriendo a las nuevas opciones que nos ofrecen, para desarrollar nuevas formas en el aprendizaje (Jonassen, 2000), lo cual favorecerá la vivencia de experiencias y escenarios que le faciliten la construcción del conocimiento, utilizando las diferentes opciones tecnológicas como medio de búsqueda, comunicación, participación, exploración y expresión para ampliar la oportunidades y acceso al conocimiento.

Actualmente las TIC se han convertido en un elemento significativo en el desarrollo de las sociedades, fácilmente un medio de comunicación se transforma en un recurso didáctico, es por ello que la educación ambiental y el uso de las TIC, complementan los elementos teóricos como prácticos que desarrollan habilidades, destrezas y conductas que dejan de ser conocimientos abstractos y aislados para convertirse en hábitos y formas de vida.

El uso de TIC's en beneficio del ambiente favorece el uso de nuevas herramientas que permitirán contribuir al mejoramiento de la relación persona-naturaleza, lo cual como resultado formará personas más responsables y conscientes de su ambiente, promoviendo un efecto de pertenencia e identidad hacia el ambiente, por ello para lograr una educación ambiental sustentable el uso de las nuevas tecnologías proporciona un gran beneficio en el proceso de formación y desarrollo de cultura ambiental. Las TIC, de acuerdo con Lozano (2011), al ser utilizadas como herramientas didácticas al servicio del aprendizaje se convierten en Tecnologías del Aprendizaje y del Conocimiento, TAC que orientan un aprendizaje más formativo para el estudiante.

b. Recursos visuales para el aprendizaje. Los recursos

visuales transmiten diferentes mensajes a través de imágenes, armonizándolas con la palabra escrita y con situaciones u objetos reales existentes en el entorno. También hacen referencia al diseño y utilización de estos recursos con un objetivo didáctico determinado, para lograr la eficacia didáctica que permita la construcción de conocimientos, habilidades o actitudes.

Existen variedad de medios visuales, tal como lo afirman Heinich, Molenda y Russel (1993) al clasificarlos en: Medios visuales no proyectados (tipos de gráficas) y Medios visuales proyectados (transparencias, televisión y videos). Como un menú de posibilidades para ser adaptados a diferentes contextos. La función de los medios visuales en la educación según Salinas, Pérez, De Benit (2008) cita los siguientes:

Figura 49. Función de los medios visuales.



Fuente: elaboración propia basado en fuentes citadas.

La utilización de los recursos visuales como elementos didácticos con la combinación y aplicación de medios audiovisuales, estimula la participación de los educandos y mejora los procesos de enseñanza para desarrollo de nuevas habilidades y actitudes en el individuo.

BB. Manuales

Se puede asegurar el control de calidad de la PTAR aeróbica mediante un manual de operaciones y de mantenimiento, el cual contemple los procesos que se deben llevar a cabo dentro de la instalación para su operación y buen funcionamiento. Se entiende por manual, según la real academia española, a cualquier herramienta administrativa que comprende los pasos o instrucciones más importantes para la realización de una tarea.

Por otro lado, la mano de obra debe ser una de las mayores preocupaciones del empleador. Estudios demuestran que un empleado que se encuentra satisfecho con sus condiciones laborales es capaz de obtener mejores resultados sus tareas diarias que el que no lo está. (Salazar, 2009) Es por esto que la aplicación de las buenas prácticas dentro del ámbito laboral puede impactar en el resultado del producto, estas involucran tanto aspectos físicos como culturales.

1. **Manual de operaciones.** El manual de operaciones de una PTAR, es un documento en el que se especifican los parámetros de operación del funcionamiento de la planta.

En este documento se incluye lo siguiente:

- Descripción de la planta
- Legislación
- Especificaciones y parámetros de operación
 - Caudal
 - pH
 - Sólidos suspendidos
 - Oxígeno disuelto
 - Materia orgánica
 - Temperatura
 - Parámetros fisicoquímicos
 - Parámetros microbiológicos
- Componentes mecánicos y dispositivos del sistema de tratamiento
- Proceso de tratamiento
- Operaciones unitarias
- Manejo del efluente
- Solución a problemas operacionales

(CEA Jalisco, 2013)

2. **Manual de mantenimiento.** El manual de mantenimiento de una PTAR, es un documento en el que se especifican los procesos de seguridad y mantenimiento de la planta. En este documento se incluye:

- Personal requerido
- Plan de mantenimiento
- Arranque biológico
- Ajuste de arranque
- Seguridad e higiene en planta
 - Reglamento de seguridad
 - Riesgos potenciales
 - Manejo de materiales y reactivos
 - Protección personal

- Herramientas y materiales
- Muestras en la planta
- Mantenimiento de equipos
 - Preventivo
 - Correctivo

(CEA Jalisco, 2013)

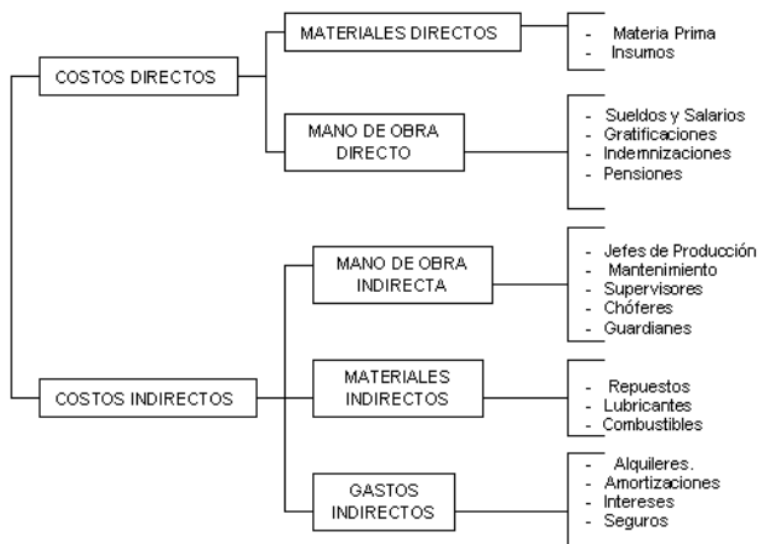
CC. Presupuesto

Un presupuesto consiste en una estimación con fundamento sobre las necesidades en términos monetarios para la realización de un trabajo o proyecto. Indica cuánto dinero se necesita de acuerdo a las actividades, permite controlar ingresos y gastos y obliga a mantener una buena planificación sobre las actividades (PMI, 2013).

Para realizar el presupuesto es necesario realizar la estimación de costos. Este proceso consiste en desarrollar una estimación aproximada los recursos monetarios para cada componente necesarios para completar las actividades del proyecto. El presupuesto total será la sumatoria de cada una de estas estimaciones (PMI, 2013).

Con el fin de tener un mejor control del presupuesto, dependiendo del tipo de recurso se debe clasificar entre: materiales, mano de obra y costos. Se clasifican con el fin de determinar los recursos críticos y la distribución porcentual del presupuesto. En la Figura 50 se muestra la clasificación de los recursos.

Figura 50. Clasificación de recursos.



Fuente: (PMI, 2013)

Financieramente se debería realizar, para cada inversión, un análisis de costo para determinar el presupuesto con el que se debe contar para terminar el proyecto. Un análisis de costos involucra, además de la inversión inicial para arrancar el proyecto, los costos operativos y de mantenimiento y finalmente los costos sociales. Tomando en cuenta todos los tipos es posible determinar el flujo total del costo (BID, 2017).

El costo de inversión son todos aquellos costos que se realizan antes de la operación, por lo regular únicamente incluye la compra de activos, estudios, licencias, planos, etc.; esto incluye la reposición de los activos cuando esto sea necesario. Los costos de operación, son aquellos en los que se incurre mientras el proyecto está en funcionamiento (Molina, 2016).

Los costos sociales son aquellos que debe asumir la sociedad, ya sea el área aledaña al proyecto o el país en donde se encuentra. Este tipo de costos contempla la contaminación ambiental (audiovisual, hídrica, atmosférica, radiactiva, térmica, etc.), consecuencias que afecten su rutina diaria (aumento de tráfico), seguridad, cultural y cualquier otro factor que no asuma la empresa. Se les clasifica como costos externos puesto que se asumen fuera del proyecto; sin embargo, aunque la empresa no lo asuma directamente, debe contemplarlo. Es importante reconocer que para poder hacer esto, deben cuantificarse los beneficios sociales que adquieren los usuarios, lo cual puede llegar a ser complejo (UNAM, 2010).

Por otro lado, los costos operativos y de mantenimiento, son todos aquellos que se realizan posteriores a la ejecución del proyecto, que se efectuarán para el funcionamiento del proyecto y para mantener el activo en condiciones óptimas. Este tipo de costo se clasifica como costo indirecto de fabricación. Estos incluyen los salarios del personal, gastos administrativos, impuestos, etc. Si los costos operativos y de mantenimiento no se toman en cuenta, es probable que con el paso del tiempo la calidad del producto sea menor al establecido en el inicio (BID, 2017).

DD. Seguridad ocupacional

Por otro lado, la mano de obra debe ser una de las mayores preocupaciones del empleador. Estudios demuestran que un empleado que se encuentra satisfecho con sus condiciones laborales es capaz de obtener mejores resultados sus tareas diarias que el que no lo está (Salazar, 2009). Es por esto que la aplicación de las buenas prácticas dentro del ámbito laboral puede impactar en el resultado del producto, estas involucran tanto aspectos físicos como culturales. La OSHA, Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, es una organización en Estados Unidos que se encarga de asegurar las condiciones favorables de trabajo para los

trabajadores, en Guatemala un equivalente la OSHA es el Acuerdo Gubernativo 229-2014: Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional.

Como cualquier proceso, una planta de tratamiento presenta distintos tipos de riesgo para el o los operarios encargados del lugar, contemplando la naturaleza del agua a tratar y las operaciones unitarias contempladas en el rediseño, existen tres tipos de riesgos: causantes de daños físicos, causantes de infecciones y la inhalación de gases nocivos (Ocampo, 2013). Las buenas prácticas de seguridad ocupacional en la PTAR son capaces de minimizar los riesgos asociados y en ciertos casos eliminarlos.

Una planta de tratamiento presenta distintos tipos de riesgo para el o los operarios encargados del lugar, contemplando la naturaleza del agua a tratar y el equipo (Ocampo, 2013).

Cuadro 24. Riesgos y acciones preventivas en una PTAR.

Riesgo	Origen	Acciones Preventivas
Infecciones	Inhalación de patógenos: Contacto con piel, ojos, quemaduras, heridas y boca.	Uso de equipo: mascarillas, lentes, guantes, etc.
Daño físico	Caídas: Movimiento de maquinaria de forma errónea, realizar acciones repetitivas, ahogamiento	Instalaciones adecuadas: Protecciones circundantes, barandales. Utilización de equipo: Fajas, arnes, protección.
Espacios confinados	Acceso o salida limitada, pobre ventilación, lugar no apto para ser ocupado	Utilizar arnés, ventilación y medición, realizar actividades en grupo, evitar estancias prolongadas.
Espacios con deficiencia de oxígeno	Ventilación limitada, reacciones químicas en el lugar, alta temperatura y/o humedad	Utilizar arnés, ventilación y medición, evitar estancias prolongadas, medición de gases.
Exposición a químicos, gases y vapores	Químicos presentes, reacciones químicas, desechos industriales, ventilación pobre o nula	Utilización de equipo: Mascarillas, guantes, uso de equipo de respiración autónoma.
Mezclas explosivas de gas	Ventilación deficiente, fuente de ignición	Realizar actividades en grupo, evitar fuentes de ignición, medición de gases.
Fuego	Almacenamiento inadecuado de químicos cerca de fuente de ignición	Evitar fuentes de ignición, correcta ubicación de los extintores
Descargas eléctricas	Equipo defectuoso, aislamiento insuficiente, corto circuito	Conecciones a tierra, guantes apropiados, botas dieléctricas.
Ruido	Emitido por el equipo, amplificación por espacio confinado	Utilizar tapones, evitar estancias prolongadas.

Fuente: (Ocampo, 2013)

1. **Equipo de protección.** El personal encargado de la planta de tratamiento, debe contar con el equipo de protección y herramientas necesarias para poder desarrollar su trabajo de la forma correcta, como se describe en el cuadro 3, el uso de equipo de protección es un método de seguridad preventiva. A detalle se encuentra en el Cuadro 25, el equipo que el operario debe poseer diariamente en la PTAR, así como las herramientas que puede utilizar en caso de emergencia. El equipo debe estar en condiciones adecuadas y en caso de daño se debe reemplazar inmediatamente para no poner en riesgo al operario. El botiquín debe contener como mínimo: cinta adhesiva ½ pulgada, gasa de 2 y 4 pulgadas, toalla humadas, pinzas, tijeras, banditas triangulares, torniquete, toallas repelentes, curitas, toallas estériles de 2x2 pulgadas y 4x4 pulgadas, ungüento antibiótico, panfleto de primeros auxilios y una boquilla cardio-pulmonar.

Cuadro 25. Equipo de protección.

Nombre del equipo	Imagen	Nombre del equipo	Imagen
Guantes de latex		Arnés de seguridad	
Lentes de seguridad		Linterna	
Botas de seguridad con punta de acero y suela antideslizante		Extintor a base de espuma	
Tapabocas		Botiquin de primeros auxilios	
Casco Industrial			

Fuente: (Ocampo, 2013)

V. ANTECEDENTES

Inicialmente, en el complejo comercial y residencial evaluado se construyó una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo biológico aerobio, con base en Lodos Activados con Aireación Extendida. Se diseñó para tratar las aguas de tipo domésticas generadas por los habitantes, visitantes y empleados únicamente de la zona residencial. Se estimó un caudal promedio de entrada de 360 m³/d (4.16 L/s) y un caudal máximo de 8.32 L/s, según la información suministrada por el diseñador del proyecto. Además, la planta fue diseñada para tratar 108 kg de materia orgánica al día, equivalente a tratar aguas residuales con una concentración media de 300 mg/L de DBO. La planta trabaja sin interrupción las 24 horas del día, durante los 365 días del año.

Cuadro 26. Caracterización de las aguas residuales del centro comercial y residencial estudiado.

Parámetro	Valor	Dimensionales
Demanda química de oxígeno (DQO)	<200	mg/L O ₂
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	90	mg/L O ₂
Sólidos suspendidos totales (SST)	90	mg/L
Grasas y aceites	20	mg/L
Potencial hidrógeno (pH)	6.0 a 9	-
Temperatura	15 - 35	°C
Oxígeno disuelto	2	mg/L O ₂
Sólidos sedimentables	3	mg/L
Sólidos suspendidos totales	100	mg/L
Sólidos disueltos totales	200	mg/L
Sólidos totales	300	mg/L
Materia flotante	Presente	-
Color	100	U Pt-C
Nitrógeno total	20	mg/L N
Fósforo total	10	mg/L P
Grupo coliformes total	<10 ³	UFC

Actualmente, la planta cuenta con los siguientes procesos o etapas de tratamiento:

- Tratamiento primario
 - Tamizado por rejillas: tiene la función de retener sólidos gruesos no biodegradables, Su limpieza es manual.

- Trampa de flotantes: separa y elimina los sólidos livianos y grasas. Su limpieza es manual.
- Contactor anóxico: tanque de 6 m³ de capacidad en el que se amortiguan las variaciones de flujo, se homogeniza su contenido en cuanto a concentraciones y cargas orgánicas, y también sirve como punto de contacto entre el lodo recirculado del sedimentador secundario y el agua cruda de ingreso.
- Tratamiento biológico aerobio
 - Reactor de lodos activados con aireación extendida: tanque de 300 m³ con un sistema de aireación que suministra el oxígeno necesario para que los microorganismos aerobios degraden la materia orgánica. Los productos de la oxidación se mezclan con los lodos previamente activados, reproduciéndose estos dentro del tanque. Tiene un periodo de retención hidráulica de 12 horas y un tiempo de retención celular de 24 días. La relación alimento-microorganismos (F/M) es de 0.35 d⁻¹.
 - Equipos de aireación por aspiración de aire (aireadores sumergibles): el aire es aspirado por un sistema tipo Venturi, ubicado en la descarga de una bomba centrífuga sumergida dentro del tanque de aireación, la cual absorbe el aire del exterior mezclándolo y distribuyéndolo en las aguas.
- Tratamiento secundario
 - Sedimentador secundario: el efluente del tanque de aireación pasa a esta etapa, donde se almacenan los lodos activados en la parte baja por efectos de gravedad. De aquí parte una recirculación de lodos hacia el tanque de aireación, la cual corresponde al 15-50% del flujo de entrada, para mantener la concentración y actividad adecuadas de los microorganismos. Al llegar a la concentración ideal de biomasa en el sistema, se envían los lodos hacia el digester. El tanque sedimentador tiene una altura hidráulica de 3 m y un área efectiva de sedimentación de 13.23 m²; es de tipo Lamella de flujo ascendente, con placas inclinadas a 60° con respecto a la horizontal.
 - Clorinador: se añade cloro a las aguas para mejorar la calidad microbiológica. Este tanque tiene un tiempo de retención hidráulica de 30 minutos.

Cuadro 27. Parámetros de diseño para el clarificador secundario instalado en la planta de tratamiento de aguas residuales en el centro comercial y residencial estudiado.

Parámetro	Valor	Dimensionales
Caudal promedio	360	m ³ /d
Caudal máximo	718	m ³ /d
Concentración de sólidos suspendidos totales en la entrada	2850	mg/L
Carga superficial de sedimentación	104	m ³ /m ² d
Altura hidráulica	3.0	m
Área superficial de sedimentación	13.23	m ²

- Tratamiento de lodos
 - Tanque digestor de lodos: los lodos del sedimentador pasan a este tanque, que tiene un volumen útil de 17.90 m³, donde son digeridos anaeróbicamente. Se tiene un tiempo de retención de sólidos de por lo menos 21 días para lograr una buena estabilización. Cuando se llena el tanque, los lodos se deben retirar y trasladar al patio de secado de lodos.
 - Patio para secado de lodos: los lodos se deshidratan en esta zona durante 12 días para ser reutilizadas como abono en áreas verdes. El patio tiene un área útil de 25 m² y está dividido en dos celdas iguales.

Los componentes electro-mecánicos existentes se detallan a continuación:

- Cuatro aireadores, marca Tsurumi 3.7 BER 4 de 3.7 KM 3PH
- Una bomba sumergible para recirculación de lodos, marca MONARCH, modelo WS51M, con motor de ½ HP y 115 V.
- Una bomba sumergible en el digestor de lodos, marca MONARCH, modelo WS51M, con motor de ½ HP y 115 V.

Con este sistema de tratamiento, la planta debe cumplir con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006: *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*

La planta de tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial está basada en un tratamiento tipo biológico anaerobio con base a un reactor de flujo ascendente. La planta fue construida en el año 2010 y fue dimensionada para trabajar con

un caudal promedio de 1.17 L/s, equivalente a 110 m³/d. El caudal promedio para el que fue diseñado la instalación fue tomado en horarios de plena ocupación y uso de agua.

La planta está diseñada para tratar aguas residuales exclusivamente de tipo domésticas, con una carga orgánica de 300 mg DBO₅/L. La planta de limpieza de agua residual no tiene ninguna conexión de aguas pluviales o de enfriamiento. La planta está estructurada por cuatro líneas trabajando en paralelo, cada una de ellas constituida por un sedimentador primario, un filtro anaerobio y un clarificador secundario, finalizando con una caja de toma de muestras.

Hace un tiempo atrás, la planta de tratamiento anaerobia detuvo sus operaciones por distintas razones, dentro de las cuales se numeran taponamientos en los equipos, conexiones de afluentes de precedencia desconocida y mal mantenimiento.

En los últimos años han surgido nuevas propuestas para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. El autor William Villareal presentó en el 2015 el trabajo de graduación “Diseño para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales en el estadio de la Universidad Técnica del Norte” en modalidad de tesis, trabajo en el cual se obtienen resultados verídicos para la determinación del número de barrotos que debería tener una caja de rejillas.

- Número de barrotos

$$N = \frac{BR - L}{b + L} \quad (E122)$$

Donde:

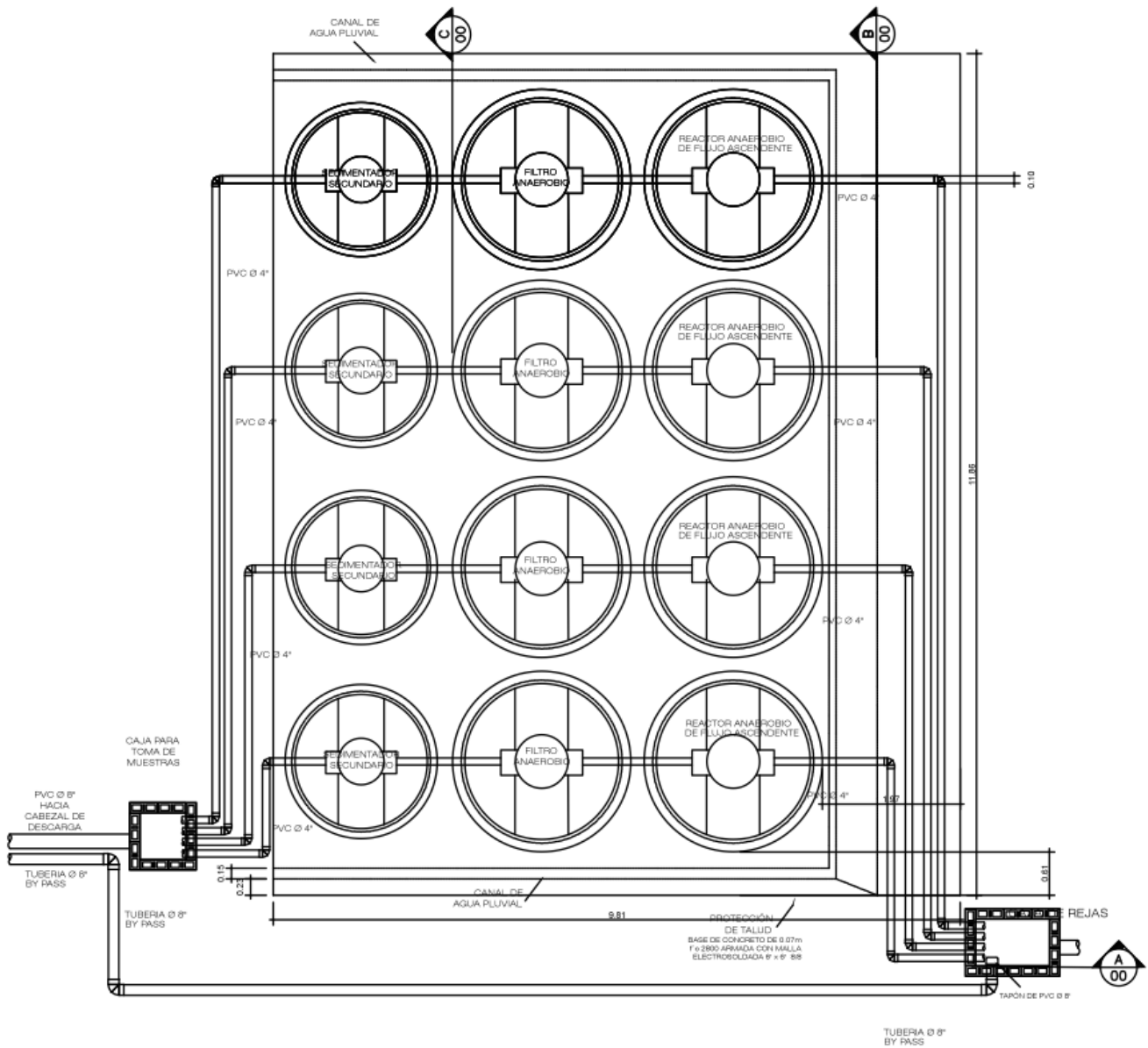
N = número de barrotos

BR = ancho del canal en la zona de rejillas, mm

L = ancho entre los barrotos de las rejillas, mm

b = ancho de los barrotos, mm

Figura 51. Distribución de la planta de tratamiento anaeróbica actual del complejo comercial y residencial.



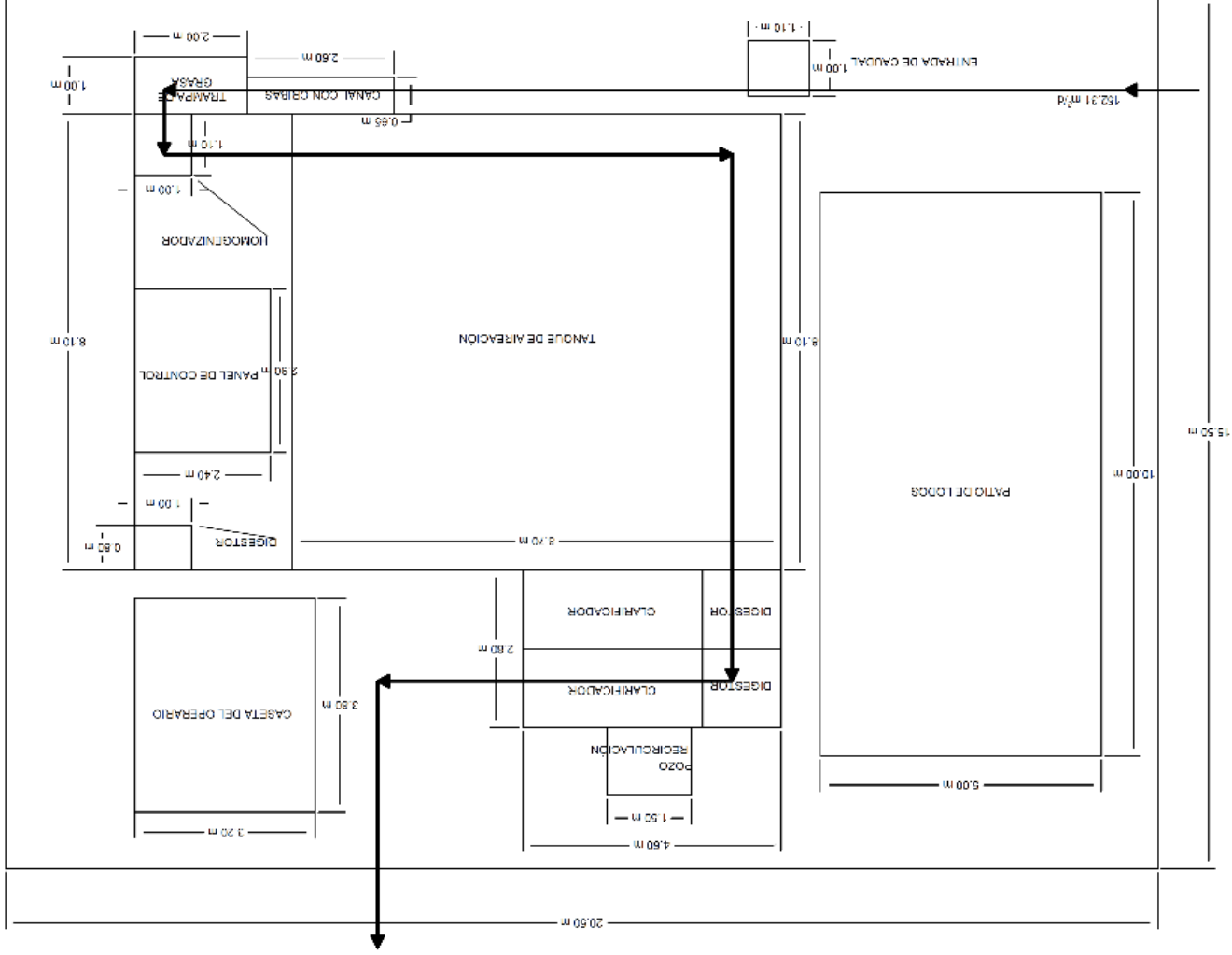


Figura 52. Distribución de la planta de tratamiento anaeróbica actual del complejo comercial y residencial.

A. Complejo comercial y residencial

El área el complejo cuenta con un total de 60 manzanas de reserva natural a su alrededor, ofrece una experiencia que combina todas las comodidades y la conveniencia de la vida con el entorno natural. En 1913 se adquiere el primer terreno de la finca; más de veinte manzanas rodeadas de una gran riqueza natural. En 1982, se empieza a desarrollar la tierra y entonces nace el primer proyecto residencial en el sector.

Años después, en 1992, surge el proyecto de viviendas, en 1998, conforman los condominios, apartamentos y terrenos. Todo esto pretende transformar la forma de convivir en Guatemala. En 2003, con la colaboración de un reconocido arquitecto y urbanista se diseña el concepto más importante del complejo, en el cual el urbanismo tradicional planifica la creación de una ciudad basada en el diseño de un plan maestro pensando en las necesidades de sus habitantes.

Con base en este plan maestro se desarrolla un proyecto más en 2007 y otro en 2011; en este mismo año se inaugura la primera fase del nuevo proyecto, un nuevo concepto de ciudad. En conjunto con estos últimos proyectos, se habilitan espacios comerciales y de servicios precisos para un nuevo concepto de ciudad integral, un estilo de vida en armonía ofreciendo calidad de vida en el complejo.

El mes de noviembre del año 2011 se construyeron los edificios de apartamentos. Asimismo, se dio la apertura de la segunda fase del proyecto, ampliando aún más la oferta comercial y de espacios de oficinas en el sector. En los años siguientes ha continuado el crecimiento. Se ha desarrollado una importante oferta residencial.

Gradualmente la expansión de espacios comerciales y corporativos ha continuado en el complejo, incluyendo diversos servicios y espacios para recreación y deportes. Una ciudad planificada con un enfoque ecológico que ofrece una alternativa de vivienda moderna e innovadora además de incluir un concepto comercial como parte del complejo, dentro del área de reserva natural más grande del casco urbano, con la visión de *"Ser reconocidos como la mejor desarrolladora de Centroamérica en la creación de comunidades integrales aptas para la recreación y el buen vivir de las personas en un entorno favorable para el desarrollo del hábitat humano"*.

Como parte de la visión de mantener un entorno amigable con el ambiente, el complejo cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales deben

funcionar en óptimas condiciones, al visitarlas se pudo observar la necesidad de rediseñar ambas plantas para que su funcionamiento sea eficaz y así pueda contribuir al cuidado del ambiente a través del uso adecuado del recurso hídrico. Así mismo es importante considerar que para poder convivir en un entorno favorable con el ambiente es necesario que las personas que conforman la comunidad dentro del complejo desarrollen cultura y educación para el cuidado del medio ambiente, a través de un proceso de aprendizaje andragógico que fortalezca la formación de valores y hábitos respecto al cuidado del ambiente para convertirlos en una forma de vida, y así se cumpla la visión de una ciudad planificada con un concepto ecológico.

VI. METODOLOGÍA

A. Módulo 1: Análisis de la calidad del agua comparando el método de tubos múltiples y un método con bacteriófagos.

1. Equipo

- Lector multiparámetro portátil DR/890 marca HACH®.
- Autoclave
- Incubadora
- Reactor DRB200 marca HACH®
- Filtro Corning® desechable con poro de 0.22 µm
- Indicador de pH

2. Reactivos

- Kit *Total Nitrogen High Range Test 'N Tube™* marca HACH®
- Kit *Total Phosphorus High Range Test 'N Tube™* marca HACH®
- Kit *Chemical Oxygen Demand High Range Test 'N Tube™* marca HACH®
- Medio Lauril Triptosa marca Merck®
- Medio Brilla (verde brillante) marca Merck®
- Medio EC marca Merck®

3. Método de tubos múltiples

a. Toma de muestras

- Se tomó una muestra de mínimo 100 ml de agua del punto de post-tratamiento (salida) de la planta.
- Se colocó el recipiente en una hielera con paquetes fríos para su posterior traslado al laboratorio.
- Se aseguró que los recipientes no reciban luz y que la muestra esté debidamente identificada con tinta indeleble con fecha, punto de muestreo y hora en que se tomó la muestra.
- El análisis se realizó el mismo día de la toma de muestra.

b. Prueba presuntiva

- Se hicieron diluciones de 1 mL, 0.1 mL y 0.01 mL; para esto, se tomó 1 mL del agua de muestra y se diluyó en 9 mL de agua de dilución. Posteriormente se tomó 1 mL de esta y se repitió el paso anterior.
- Se tomó un volumen de 1 mL de muestra con la dilución deseada y se inocularon tubos con el medio Lauril Triptosa y con tubo de Durham invertido. Se hizo una batería de 5 tubos para cada dilución y para cada medio. Se hicieron triplicados de cada uno.
- Se incubaron a 35 °C por 48 horas.
- Los tubos que presentaron una burbuja de gas se tomaron como positivos y que indicaban la presencia de coliformes totales.

c. Prueba confirmativa

- Se tomaron los tubos positivos de la prueba presuntiva.
- Utilizando un asa en argolla, se tomó una muestra y se inoculó una serie de 5 tubos que contenían medio verde brillante y 5 tubos con medio EC para *E. coli*. Ambos tenían una campana de Durham invertida. Esto se hizo en triplicado para cada dilución.
- Se incubó la serie de tubos con medio para coliformes fecales a 35 °C por 48 horas.
- Se inoculó la serie de tubos con medio para *E. coli* a 44 °C por 24 horas.
- Los tubos con presencia de gas en la campana de Durham se tomaron como positivos y que indicaban la presencia de coliformes fecales.

d. Interpretación de resultados

- Se anotó el número de tubos que presentaron un resultado positivo en cada prueba.
- Dependiendo de este número de tubos, se buscó en las tablas del Acuerdo Gubernativo 236-2006 la combinación obtenida para determinar el número más probable de microorganismos presentes. Se esperaba que el número más probable (NMP) de coliformes fecales fuera menor 1×10^{-4} .

e. Análisis fisicoquímico

- Se midió pH, color, temperatura, materia flotante, DBO, DQO, nitrógeno total y fósforo total.
- Los valores obtenidos fueron comparados contra las tablas del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para evaluar el cumplimiento de los parámetros.

4. Método con Bacteriófagos

a. Aislamiento de fagos de agua tratada

- Se filtraron 10 mL de muestra por un filtro de 0.22 μm .
- Se hicieron diluciones 1:10 y 1:100 del filtrado con agua estéril.

b. Preparación de *E. coli* no patogénica para análisis.

- Se extrajo el cultivo de bacterias *Escherichia coli* no patogénica del cepario del laboratorio de Microbiología del departamento de Bioquímica y Microbiología de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Se inoculó un tubo Eppendorf con caldo nutritivo y se incubará a 37 °C por dos horas con agitación.

c. Evaluación de la presencia de bacteriófagos.

- Se tomaron 100 μL del cultivo de bacterias y 1 mL de cada dilución y se mezclaron en tubo estéril.
- Se agitó la muestra con vórtex por 10 segundos.
- Se incubó la mezcla por 30 minutos a 37 °C en la incubadora.
- Tomó 1 mL de la solución y se mezcló con 7 mL de agar suave a 30 °C.
- Se agitó la mezcla con vórtex por 10 segundos.
- Se sembró por vertido sobre una caja Petri con agar sólido. Se movió la placa gentilmente en movimientos circulares para distribuir el agar por toda la superficie.
- Se dejó solidificar el agar por 20 minutos bajo mechero.
- Se incubó por 24 horas a 37 °C.
- Se evaluó la presencia de lisis bacteriana al observar placas en el agar.

d. Interpretación de resultados

- La cantidad de placas en el agar indicó la cantidad de fagos presentes en la muestra de agua.
- Se contó el número de agujeros en el agar y se multiplicó por el factor de dilución (para determinar la cantidad de coliformes fecales presentes en la muestra).

5. Metales pesados

- Se prepararon soluciones estándar de distinta concentración de los metales de interés. Se usó agua como blanco.
- Como se determinó por medio de espectrometría de absorción atómica, se encendió el equipo y se conectaron las lámparas del metal que se iba a determinar.
- Dependiendo del metal a analizarse, se seleccionó el ancho de banda espectral óptimo.
- Se tomó la lectura de los estándares para construir una curva de calibración, seguido de la lectura de la muestra. Entre cada lectura se lavó con agua destilada.

6. Nitrógeno total

- Se utilizó un kit Test `n Tube para la determinación de nitrógeno total marca HACH.
- Se siguió el método de tratamiento de la muestra según el manual de métodos de la HACH.
- Se usó un lector multiparámetro HACH DR890 para determinar el contenido de nitrógeno total.
- Se comparó el valor obtenido con el parámetro aceptado por el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Se esperaba que este valor sea menor o igual a 20 mg/L.

7. Fósforo total

- Se utilizó un kit Test `n Tube® (HACH) para la determinación de fósforo total.
- Se siguió el método de tratamiento de la muestra según el manual de métodos de la HACH®.
- Se usó un lector multiparámetro HACH DR890 para determinar el contenido de fósforo total.
- Se comparó el valor obtenido con el parámetro aceptado por el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Se esperaba que este valor sea menor o igual a 10 mg/L.

8. DQO

- Se utilizó un kit Test `n Tube® (HACH) para la determinación de la demanda química de oxígeno.
- Se siguió el método de tratamiento de la muestra según el manual de métodos de la HACH®.
- Se usó un lector multiparámetro HACH DR890 para determinar la DQO de la muestra.

9. DBO

- Se siguió el método de tratamiento de la muestra según el manual de métodos de la HACH®.
- Se usó un lector multiparámetro HACH DR890 para determinar la DBO de la muestra.

B. Módulo 2: Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica de un complejo comercial y residencial.

1. Etapa preliminar de investigación

- Se llevó a cabo una revisión bibliográfica en libros, trabajos de graduación previos, artículos y fuentes de internet para conocer sobre las plantas de tratamiento de aguas residuales, los distintos procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo, y los equipos necesarios.
- Se obtuvo información sobre la construcción y operación de la planta actual de tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial evaluado, por parte de la administración del mismo.
- Se describió los antecedentes y el marco teórico del trabajo con la información recopilada.
- Se estableció las necesidades y alcances del proyecto para definir los objetivos generales y específicos.

2. Análisis técnico de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica del complejo comercial y residencial

- Se visitó la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica ubicada en un complejo comercial y residencial de la Ciudad de Guatemala para documentar los equipos, su capacidad y sus dimensiones. Así mismo, se solicitó a la administración del complejo los planos y memorias de la planta.
- Se contrató una empresa certificada para realizar una caracterización del afluente y mediciones de caudal con duración de 24 horas en los días de mayor movimiento.
- Se realizó un censo sobre la cantidad de usuarios que existen actualmente en el complejo comercial y residencial.
- Se determinó teóricamente, utilizando datos típicos de generación de aguas residuales domésticas por día, el caudal actual de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica.
- Se estimó, a un plazo de 15 años, el caudal que tendrá la planta suponiendo un crecimiento anual del 5%³. Dichos valores para la proyección fueron establecidos por la administración del complejo.

³ Los cálculos detallados se muestran en el Anexo II, sección C.

- Se proyectó la población a futuro, en el plazo de tiempo y tasa de crecimiento establecidas.
- Se establecieron los porcentajes que representan cada tipo de usuario.
- Se determinó el caudal utilizando las proporciones antes calculadas y los mismos datos teóricos de generación típica de aguas residuales domésticas empleados en el cuarto inciso de este apartado.
- Se comparó el caudal de entrada actual con la capacidad de diseño de la planta para verificar si está sobredimensionada o se encuentra funcionando adecuadamente.
- Usando la estimación de caudal proyectado, se estableció un nuevo caudal de diseño para la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica.
- Se comparó el caudal de diseño proyectado para el año 15 con el caudal de diseño actual de la planta para comprobar si puede soportar dicha generación.
- Se visitó nuevamente la planta para tomar tres muestras de agua residual en los puntos de entrada y salida del tanque de aireación. Las muestras fueron recolectadas en recipientes esterilizados y cada una se identificó con un número, se le midió la temperatura y pH in situ.
- Por cada muestra, se determinó primero la DQO:
 - Se precalentó la incubadora a una temperatura de 150°C.
 - Se preparó un blanco, colocando 2 mL de agua deionizada en un tubo de digestión de DQO de alto rango. Se agitó bien.
 - Se preparó las muestras de agua residual, colocando una alícuota de 2 mL en tubos de digestión de DQO de alto rango y se agitaron vigorosamente.
 - Se colocó los tubos preparados en la incubadora a la temperatura adecuada, y se calentó por 2 horas.
 - Al finalizar la incubación, se apagó el equipo, se retiraron las muestras y se dejaron enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente.
 - Se utilizó un Colorímetro Hach DR/890, el cual se calibró con el blanco preparado y luego, se realizaron las lecturas de DQO de cada muestra de agua residual. Se realizó cada lectura por triplicado.
- Posteriormente, se determinó la DBO₅ de cada muestra:
 - De acuerdo al valor de DQO obtenido para cada muestra, se determinó el volumen de la alícuota de agua residual a utilizar en la prueba de DBO₅. Se colocó dicho volumen en una botella de 300 mL de DBO₅ y se aforó con agua saturada con oxígeno y nutrientes requeridos para el crecimiento biológico.
 - Se midió la concentración de oxígeno inmediatamente después de preparar las muestras, utilizando un medidor multiparámetros Hach.
 - Se incubó las muestras por cinco días, a 20°C.

- Se midió nuevamente la concentración de oxígeno disuelto al paso de los 5 días, utilizando un medidor multiparámetros Hach.
- Se calculó la DBO_5 de la muestra.
- Se evaluó la efectividad del tratamiento biológico que se lleva a cabo en el tanque de aireación, considerando que debe haber una disminución de la DBO de entre 75 y 90% (López, s.a.).
- Con el valor del caudal de diseño proyectado a 15 años, se realizó un balance de masa de las etapas que se desean evaluar y un diagrama de flujo del proceso:
 - Se delimitó el alcance del proceso a evaluar, es decir, limitar las etapas que se van a trabajar.
 - Se listó toda la información pertinente y suposiciones que se usarán para el balance.
 - Se listaron todas las expresiones para las reacciones biológicas y químicas que ocurren dentro del proceso delimitado
 - Se seleccionó una base de caudal de referencia, correspondiente al caudal de diseño proyectado a 15 años.
 - Se realizó el balance de masa general y para cada etapa.
 - Se preparó un diagrama de flujo del proceso.

3. Rediseño de la etapa de pre-tratamiento

a. Diseño del canal Parshall

- A partir del caudal de diseño proyectado a 15 años y utilizando los datos presentados en el Anexo II, sección E, se determinaron las medidas del canal Parshall a colocar en la entrada de las aguas residuales de la planta de tratamiento.

b. Diseño de las rejillas manuales

- Se definieron las dimensiones (largo, ancho y profundidad) del canal de rejillas necesario, de acuerdo al equipo existente en la actualidad.
- Para el diseño de los barrotes que conforman las rejillas, se definieron las dimensiones a partir de los datos teóricos.
- Se calculó el número de barrotes y el largo de los mismos.
- Se calculó el área útil en la zona de la rejilla.
- Se determinó las pérdidas de carga a través de las rejillas.

c. Diseño de la trampa de grasa

- De acuerdo al caudal de diseño, se estableció el tiempo de retención hidráulica.
- Se determinó el volumen de la trampa de grasas.
- Se utilizó una relación ancho-largo de 1:1.8 - 1:4 para determinar las dimensiones del tanque.
- Se añadió un espacio libre de 0.35 m entre el nivel del agua y el techo de la trampa.
- Se definieron las dimensiones de las tuberías de ingreso y egreso del tanque, considerando que deben tener 50 mm (2 pulg.) de diámetro como mínimo.
- Para un mejor flujo del agua residual, se colocó las tuberías de entrada y salida a una diferencia de nivel mínima de 0.05 m.

d. Diseño el tanque de homogeneización

- Se utilizaron las mediciones de caudal proporcionados por la empresa certificada, para un periodo de 24 horas con intervalos de tiempo de 45 minutos.
- En dichos intervalos, se calculó el volumen de agua ingresada y se obtuvo un promedio del volumen de aguas residuales tratadas en 24 horas.
- Se calculó la diferencia entre el volumen de cada intervalo de 45 min con el volumen promedio diario.
- De acuerdo a la diferencia anterior, se calculó un volumen acumulado para cada intervalo de tiempo. Entre estos, se definieron los valores mayores y menores durante las 24 horas.
- El volumen del tanque se definió por la diferencia de los valores mínimos y máximos antes definidos.
- Se añadió un porcentaje de seguridad al volumen obtenido, por posibles variaciones de caudal.

4. Re diseño de la etapa de tratamiento secundario (tratamiento biológico).

a. Diseño del tanque de aireación.

- Se definió que se diseñaría un proceso de crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno de tipo Luczack-Ettinger modificado (MLE).
- Se definieron los siguientes parámetros de diseño: tiempo de retención de sólidos (SRT), concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla (SSLM), tasa de recirculación interna y la tasa de recirculación de lodos activados.

- Se inició con los cálculos, determinando la cinética de crecimiento de los organismos nitrificadores, los cuales gobiernan el tiempo de retención hidráulica.
 - Se calculó la velocidad de crecimiento de las bacterias nitrificadoras.
 - Se calculó la tasa máxima de utilización del sustrato.
 - Se calculó el factor de utilización U y se adaptó a la cinética de nitrificación.
 - Se determinó la concentración de nitrógeno final.
 - Se determinó el tiempo de retención hidráulica para el proceso de nitrificación, el cual corresponde al tiempo de retención hidráulica de las aguas residuales en el tanque de aireación.
- Con el resultado anterior, se procedió a calcular el volumen del tanque aireador.
 - Se calculó la relación alimento-microorganismo (F/M).
 - Se calculó el volumen útil del tanque.
 - Se determinaron las dimensiones del tanque, utilizando una relación ancho-profundidad de 2:1.
 - Se verificó el tiempo de retención hidráulica y la carga orgánica.
- Para el tanque de aireación, se determinó la cantidad total de oxígeno requerido.
 - Se determinó el oxígeno necesario.
 - Se calculó la velocidad de transferencia estándar de oxígeno para un sistema con difusores a las condiciones de operación.
 - Con el dato anterior, se obtuvo el flujo de aire requerido para el sistema.

b. Diseño del sistema de difusión de aire para el tanque de aireación.

- Se decidió que se colocarían difusores de membrana de burbuja fina. A partir del flujo obtenido en el inciso anterior y conociendo el flujo de salida de un difusor, se calculó la cantidad de difusores necesarios para el sistema.
- Se diseñó el arreglo en el fondo del tanque, definiendo largos de tuberías y la cantidad de accesorios necesarios.
- Se procedió a calcular las tuberías:
 - Con el caudal y la velocidad de flujo del aire, se calculó el diámetro de tuberías.
 - Se determinaron las pérdidas por fricción.

c. Diseño del soplador requerido:

- Conociendo el caudal de aire necesario y la presión de salida del mismo, se calculó la potencia del soplado.

- Se consultó con proveedores para definir las características técnicas del equipo y la cantidad de unidades necesarias.

C. Módulo 3: Rediseño de tratamientos terciario y cuaternario de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial

- Se visitó la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales del complejo comercial y residencial para conocer e identificar las unidades de tratamiento que se tienen instaladas. También, para tener conocimiento de los métodos de operación que se están llevando a cabo.
- Se solicitó al complejo realizar análisis fisicoquímicos de las aguas residuales, tanto en la entrada como en la salida, de la PTAR.
- Los valores obtenidos de nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos y coliformes fecales del afluente y efluente, se compararon contra los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006: “Reglamento de las Descargas y Re-uso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”, para descargas a cuerpos receptores que tiene como fecha máxima de cumplimiento el dos de mayo del dos mil veinticuatro.
- Se determinó que, de todos los parámetros, únicamente el fósforo se encuentra por debajo del límite permisible.
- Una vez se establecieron las deficiencias en la planta de tratamiento y se calculó la relación DQO/DBO₅, se prosiguió a identificar el sistema a proponer.
- Se determinó que las aguas residuales se pueden tratar por medios biológicos por lo que se propuso el proceso modificado de Ludzak-Ettinger (el tratamiento de desnitrificación, en específico) para la remoción de nitrógeno. Los cálculos efectuados fueron los siguientes:
 - Constituyentes de la Demanda Química de Oxígeno: Los constituyentes que se calcularon fueron la demanda química de oxígeno biodegradable (bCOD) y la demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable (rbCOD).
 - Tasa de recirculación interna: la concentración de nitratos que se produce en el tanque aeróbico se determinó a partir del nitrógeno total en el afluente y en la del efluente se

consideró el límite permisible descrito en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. La tasa de recirculación de lodos activados (RAS) se obtuvo de la Tabla 8-22 del libro de Metcalf & Eddy, y se utilizó el 60%. Al determinar RAS e IR se empezó a realizar el balance de masa.

- Caudal másico de alimentación de nitrato al tanque anóxico
- Volumen del tanque anóxico: el tiempo de retención hidráulico es el dato que se fue cambiando hasta conseguir la remoción de nitratos requerido. El rango que se trabajó para este fue de 1-3 h (Tabla 8.22, Metcal & Eddy).
- Concentración de biomasa en la zona anóxica: los valores de Y y k_d se obtuvieron de la Tabla 7.9 de Metcalf & Eddy, los cuales son coeficientes de cinética para lodos activos. El SRT y V son valores obtenidos del dimensionamiento del tanque aerobio en el módulo con título: "Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica de un complejo comercial y residencial".
- Relación F/M_b
- Tasa de desnitrificación específica (SDNR): se calculó la relación $rbCOD/bCOD$. Luego, se determinó el SDNR. Se realizó la corrección por temperatura y recirculación interna. Para la corrección de temperatura se tomó la T del afluente.
- Concentración de nitrógeno removido: en lugar de utilizar MLVSS la literatura muestra que se puede calcular a partir de la concentración de biomasa. Este valor se comparó con el obtenido anteriormente y se iteró, cambiando el tiempo de retención hidráulico, hasta conseguir un porcentaje de remoción menor al 5%.
- Potencia requerida para el mezclado: se utilizaron los datos dados en la sección de Marco Teórico.
- Para el fósforo, únicamente, se calculó la concentración de este nutriente removido por microorganismos heterótrofos como se muestra a continuación:
 - Constituyentes de la Demanda Química de Oxígeno: Los constituyentes que se calcularon fueron la demanda química de oxígeno biodegradable soluble (bsCOD) y la demanda química de oxígeno biodegradable particulada (bpCOD).

- Producción de biomasa: los valores de Y , k_d y SRT que se usaron fueron los mismos que se usaron anteriormente.
- Remoción de fósforo: se utilizó la concentración de fosforo que asimilan los microorganismos heterótrofos.
- Se escogió un clarificador secundario de tipo alta tasa con placas inclinadas para la reducción de sólidos suspendidos en el efluente. Se realizaron los siguientes cálculos:
 - Área superficial de sedimentación requerida: La carga superficial de sedimentación se determinó a partir de los rangos dados en el libro de Metcalf & Eddy en la Tabla 8.7 para tratamientos luego de la aireación de lodos activados (Pico: 40-64 $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$), y de la Tabla I en Rincón *et al* (60-180 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$).
 - Balance de masa alrededor del clarificador:
 - Caudal volumétrico de lodos de descarga (Q_w): para este cálculo se utilizó la definición de SRT y se despejó para Q_w . Los datos de V , SRT y X pertenecen al tanque aerobio calculado en el módulo con título: "Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica de un complejo comercial y residencial". La concentración de sólidos suspendidos en el efluente se definió a partir de lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para descargas a cuerpos receptores. De acuerdo con la literatura la concentración de sólidos suspendidos en la recirculación de lodos activados (X_R), y por ende en la purga, es de 4000 a 12,000 g/m^3 (Metcalf & Eddy, 2003).
 - Tasa de recirculación de lodos activados: primero, se calculó el caudal de recirculación de lodos suspendidos para luego determinar RAS. Es importante mencionar X_R se fue cambiando para alcanzar un RAS del 60%.
 - Caudal volumétrico del efluente del clarificador: una vez se realizaron los pasos previos, se determinó Q_E a partir del balance de masa.
 - Carga de sólidos al clarificador secundario. Este dato se comparó con los rangos teóricos dados en el Marco Teórico y al alcanzar dicho rango se consideró el área superficial de sedimentación correcta.
 - Parámetros de diseño del clarificar de alta tasa con placas inclinadas:

- Área superficial de sedimentación real: se buscaron equipos en el mercado que cumplieran con el área superficial de sedimentación requerida para contar con las dimensiones (largo, ancho y alto) del clarificador secundario. Se encontró un proveedor en donde daba un flujo en GPM a partir de una carga superficial de 0.25 GPM/ft² de área total proyectada. Se compararon las áreas y como ángulo de inclinación 55° (de acuerdo con las especificaciones del equipo).
 - Velocidad promedio de flujo
 - Número de Reynolds: la viscosidad cinemática se obtuvo del libro de Rojas en el Cuadro 5.4 a una T del efluente de 25°C.
 - Velocidad crítica de asentamiento: el largo de las placas se calculó a partir del alto del equipo seleccionado y asumiendo un espacio de descarga de lodos de 0.50 m, el alto de los lodos sedimentados de 0.30 m (en la literatura se menciona que dicho alto se recomienda en un rango de 0.30-0.90m, Metcalf & Eddy), un alto de las canaletas de 0.20 m y considerando que generalmente se deja un espacio de ¼ antes de ingresar a los módulos de sedimentación. También, se utilizó un espaciamiento entre compartimientos de 0.05 .
 - Tiempo de retención en placas
 - Velocidad de asentamiento de la partícula: la gravedad específica de la partícula se tomó de la Tabla 14-7 de Metcalf & Eddy para los sólidos de los lodos activados y el rango del diámetro de partícula, según Kukla et al., es de 0.04 – 0.1 mm.
- Se determinó que actualmente la PTAR realiza la desinfección a partir de un tratamiento químico utilizando cloro en solución, por lo que se decidió continuar con este método y diseñar las unidades necesarias para dicho proceso.
 - Cámara de contacto:
 - Tiempo de retención hidráulico requerido: se definió un t_{10} de 30 min con una clasificación de baffle superior.
 - Volumen de la cámara de contacto
 - Dimensiones de la cámara de contacto: se obtuvo la relación L/W y de la clasificación de baffle antes mencionada. Se decidió colocar 5 canales.
 - Energía requerida para el mezclado: la viscosidad dinámica se determinó a partir de la temperatura del efluente, siendo esta de 25°C. El gradiente de velocidad promedio se obtuvo a partir de la Tabla 5-10 en Metcalf & Eddy y del tiempo de mezclado, 1 –

15 s (U.S.EPA., 1986) El volumen se definió a partir del ancho y alto del canal en la cámara de contacto y se eligió arbitrariamente el largo.

- Calibración del dosificador: se determinó la dosis de cloro. También, conociendo que el afluente a la cámara proviene de un proceso de lodos activados y que el límite máximo permisible para coliformes fecales debe ser $<1 \times 10^4$ NMP/100mL. La concentración de la solución de hipoclorito de sodio se definió a 5 % p/v.
- Por último, se diseñaron los equipos auxiliares para las unidades de tratamiento antes descritas.
 - Turbinas: para el tanque anóxico se seleccionó una turbina de cuchillas inclinadas y para la cámara de mezclado una de discos.
 - Tuberías. Las velocidades lineales se determinaron a partir de reglas gruesas, en donde para líquidos poco viscosos en la línea de conducción se tiene un rango de 1.2-2.4 m/s, en la entrada de la bomba de 0.3-0.9 m/s y en la salida de la bomba de 1.2-3 m/s. (Branan, 2005) Los diámetros nominales se obtuvieron del catálogo de DURMAN ESQUIVEL para tubos y accesorios de PVC Sanitaria- Aguas Lluvias.
 - Bomba: se calculó la potencia para transportar los lodos activados desde el clarificador secundario hasta el tanque anóxico y el digestor anaerobio. Se decidió utilizar una misma bomba para ambos procesos. Se utilizó la ecuación de Bernoulli. Se utilizaron los números adimensionales de Reynolds y Hedstrom. y la Figura 14.6 de Metcalf & Eddy para determinar la caída de presión debido a la fricción de superficie ya que los lodos activados no se comportan como fluidos newtonianos. Las caídas de presión por accesorios se obtuvieron de la Tabla 5.1 de McCabe, *et al.*

D. Módulo 4: Rediseño de tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial

1. Proyección del caudal a un tiempo de 15 años

- Visitar el complejo comercial y residencial.
 - Conocer los equipos y su forma de funcionamiento actual.
 - Realizar un conteo de todos los locales y comercios que aportan carga a la red de tuberías que conducen el agua a la planta de tratamiento.
- Proyectar el caudal con una tasa de crecimiento del por año del 5% para un tiempo de 15 años.
 - Categorizar cada ente generador de acuerdo al tipo actividades que realizan.
 - Clasificar la generación de aguas residuales por tipo de negocio y tipo de usuario.
 - Estimar el crecimiento poblacional.
 - Obtener el caudal de diseño global.
- Determinar el caudal de diseño a máxima ocupación con el que trabajará la planta de tratamientos anaerobia.
 - Calcular el 50% del caudal de diseño global.

2. Rediseño de la caja de rejillas de limpieza manual

- Visitar la planta de tratamiento de aguas residuales anaerobia.
- Tomar medidas del canal de entrada de agua residual a la planta.
 - Medir el ancho del canal.
 - Medir la profundidad del canal.
- Determinar el área del canal de entrada.
- Establecer cantidad de cajas de rejillas a colocar.
- Calcular el número de barros para cada sistema de rejillas.
 - Seleccionar el ancho de los barros y la separación entre barros a conveniencia, según tablas teóricas.
- Calcular la pérdida de carga.
 - Determinar la velocidad lineal del agua en el paso de las barras.
 - Determinar la velocidad lineal del agua antes de las barras.

3. Dimensionamiento de la trampa de grasas y aceites

- Determinar el volumen de la trampa de grasas
 - Medir ancho del canal de entrada.
 - Establecer un largo y una profundidad para la trampa de grasas.
- Estimar el tiempo de retención hidráulico
 - Determinar el tiempo de residencia.

4. Elección del medidor de caudal

- Establecer las dimensiones de la canaleta tipo Parshall
 - Seleccionar el tamaño de garganta, con base en el flujo volumétrico de trabajo.
 - Obtener las medidas específicas de cada parte de la canaleta tipo Parshall.

5. Rediseño del tratamiento primario

- Visitar la planta de tratamiento de aguas residuales anaerobia.
- Estimar espacio actual disponible para el rediseño de la planta de tratamiento anaerobia de aguas residuales.
 - Medir el ancho y largo del área donde se encuentra la planta.
- Determinar las dimensiones de un tanque sedimentador rectangular.
 - Determinar área superficial requerida.
 - Determinación del largo del tanque sedimentador rectangular.
 - Calcular el volumen del tanque sedimentador.
 - Obtener tiempo de retención hidráulico.
 - Estimar los porcentajes de remoción de DBO y SST, así como también usando las constantes empíricas.
- Determinar las dimensiones de un tanque sedimentador circular.
 - Determinar área superficial requerida.
 - Determinación el diámetro del tanque sedimentador circular.
 - Calcular el volumen del tanque sedimentador.
 - Obtener tiempo de retención hidráulico.
 - Estimar los porcentajes de remoción de DBO y SST, así como también usando las constantes empíricas.
- Efectuar análisis comparativo entre cada tipo de sedimentador y realizar propuesta.

6. Dimensionamiento del tratamiento secundario

- Determinar las dimensiones del filtro biológico.
 - Establecer un tiempo de retención y obtener el volumen.
 - Determinar la altura total del medio filtrante.
 - Calcular el área del filtro anaerobio.
 - Determinar el diámetro del filtro anaerobio.
 - Determinar el volumen del lecho empacado.
- Obtener la carga orgánica volumétrica individualmente para el filtro anaerobio y para la sección del empaque.
- Adquirir la eficiencia teórica del filtro anaerobio.
- Estimar la demanda biológica de oxígeno (DBO) y los sólidos suspendidos totales (SST).
- Determinar volumen de gas producido en el tratamiento biológico.
- Obtener el porcentaje de metano contenido en el gas producido.
- Calcular contenido energético del metano.
- Efectuar balance de tratamiento anaerobio y determinar la cantidad de lodos estabilizados generados.

E. Módulo 5: Rediseño del tratamiento terciario y desinfección de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial

1. Caracterización de agua residual. Se obtuvo la caracterización del afluente y del efluente del agua residual a tratar en la planta de tratamiento anaeróbica del complejo comercial y residencial mediante la contratación de una empresa dedicada a estas evaluaciones. Dicha empresa también realizó la medición del caudal del afluente durante 24 horas en días de alta concurrencia a dicho complejo comercial para obtener el caudal máximo. Esta caracterización se realizó en abril del 2017 con el fin de utilizar los datos para el rediseño de cada una de las etapas necesarias de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales del complejo comercial y residencial. Es importante destacar que los parámetros de caracterización del agua residual de interés para el rediseño de la etapa terciaria y desinfección de la planta de tratamiento de aguas residuales anaerobia son los nutrientes y las coliformes fecales presentes. Dichos parámetros se pueden observar en el cuadro 24 de la sección de apéndice.

Con este caudal se calculó el caudal de diseño proyectado hasta el año 2032. El procedimiento para realizar este cálculo se encuentra detallado en el módulo “Rediseño de la etapa primaria y

secundaria de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial”.

2. Evaluación técnica de la planta anaerobia. Se evaluaron los equipos instalados y la distribución actual de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica del complejo comercial y residencial. Los aspectos evaluados en los equipos actuales fueron el volumen de los tanques instalados y el diámetro de la tubería existente. Se determinó que no existen bombas en dicha planta por lo que su funcionamiento no fue evaluado.

Se determinó que los límites máximos permisibles de Nitrógeno Total, Coliformes fecales y DBO no son cumplidos según el Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” y que los sólidos suspendidos no son removidos sino al contrario, aumentan. Como se puede observar en los anexos, muchos de los parámetros si disminuyen y sí cumplen con los límites máximos permisibles, sin embargo, los tomados en cuenta para el rediseño, no cumplen con los límites establecidos para la etapa dos del artículo 20 de dicho acuerdo.

Una vez se determinó que la distribución y diseño de la planta anaeróbica no era funcional para la reducción de los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” se procedió a rediseñar los equipos y procesos a seguir para que dicha planta sí cumpla con los requisitos necesarios.

3. Propuesta de tratamiento terciario. La finalidad del tratamiento terciario es la remoción de los nutrientes presentes en el agua residual, la planta de tratamiento de aguas residuales instalada actualmente sí cumplía con el límite máximo permisible del parámetro del Fósforo Total; por otro lado, dicho parámetro ya cumplía con los límites máximos permisibles del Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” desde el afluente por lo que el enfoque del rediseño del tratamiento terciario fue en la remoción del nitrógeno total presente.

Como tratamiento terciario de remoción de nutrientes se propuso la utilización de bacterias reductoras del parámetro Nitrógeno Total presente en el agua residual. Las bacterias propuestas fueron de marca Novozymes® modelo BioRemove 5100.

La activación de las bacterias en un medio acuoso se realizó en base a información de dilución dada por el proveedor de dicha bacteria en Guatemala, dicha dilución fue de $0.06074 \pm 5 \times 10^{-5}$ kg por cada $6 \times 10^{-4} \pm 5 \times 10^{-5}$ m³ de muestra de agua residual.

Para medir el cambio de concentración del sustrato, que en este caso era el nitrógeno total, se empleó el método de “Test 'N Tube 10071/10072” del equipo HACH; la metodología y el procedimiento se detalla en la sección de anexos. Se realizaron mediciones durante 6 horas calculando los kg/m³ de nitrógeno total presente en la muestra cada dos horas con agitación constante por agitación magnética. La cristalería y equipo empleado para dichas mediciones fue el siguiente:

Cuadro 28. Cristalería y equipo utilizado para la realización del método de Test 'N Tube 10071/10072 del equipo HACH.

Cantidad	Cristalería/equipo	Capacidad	Marca	Incertidumbre
1	Pipeta serológica	10 mL	Kimax	± 0.05 mL
1	Pipeta serológica	1 mL	MC	± 0.01 mL
2	Beaker	150 mL	Pyrex	± 5 mL
1	Bulbo	No aplica	No aplica	No aplica

Se evaluó el porcentaje de remoción de nitrógeno total que las bacterias BioRemove 5100 producen durante 6 horas como tiempo de contacto con el agua residual. Para esto, se simuló un reactor con los siguientes elementos:

Cuadro 29. Elementos que conforman el sistema simulado

Cantidad	Elemento	Capacidad	Marca	Incertidumbre
$6 \times 10^{-4} \text{ m}^3$	Muestra agua residual	No aplica	No aplica	$\pm 5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
0.06074 kg	Bacterias BioRemove 5100	No aplica	Novozymes®	$\pm 5 \times 10^{-5} \text{ kg}$
1	Beaker	2000 mL	KIMAX®	± 50 mL
1	Parafilm	4 in	American National Can	No aplica
1	Plataforma de agitación	0 - 1000 rpm	Thermo Scientific	No aplica
1	Agitador Magnético	No aplica	No aplica	No aplica
1	Cronómetro	No aplica	Canon	± 15 s
1	Probeta	20 mL	No aplica	± 1 mL

Para esta experimentación, se pesaron los $0.06074 \pm 5 \times 10^{-5}$ kg en una balanza analítica marca Thermo Scientific utilizando un beaker de 150 mL, luego se agregaron los $6 \times 10^{-4} \pm 5 \times 10^{-5}$ m³ de muestra de agua residual dentro del beaker de 2000 ± 50 mL, por último, se mezclaron ambos componentes con una varilla de agitación de vidrio y se colocaron sobre una plataforma de agitación. Se introdujo un agitador magnético dentro de dicho beaker para agitar la muestra a 30 rpm. Se tapó el beaker con parafilm para evitar contacto con algún contaminante externo. Paralelamente, se inició a tomar el tiempo con el cronómetro.

Se calculó el porcentaje de remoción con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento de las bacterias para su recomendación de empleo como tratamiento terciario. Se determinó que el tiempo de retención necesario era de 4 horas (14,400s) bajo las condiciones de agitado necesario ya que a 4 horas de reacción el porcentaje de remoción era de $78.5714 \pm 0.1153\%$.

Con base en esta experimentación se propuso una dosificación de bacterias activadas en un medio acuoso de $5.775 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$. Se seleccionó una bomba dosificadora que cumpla con la dosificación necesaria al día.

4. Diseño de equipos de la etapa terciaria. Se inició con el cálculo de tanques necesarios para cumplir con los 40 m³ demandados por el caudal proyectado de 0.002662 m³/s. Este volumen se encontró con un tiempo de retención de 14,400 s. En base a los tamaños de tanques de venta en el mercado se propone el empleo de 2 bioreactores cilíndricos verticales de polietileno prefabricados de 22 m³ cada uno, para dar un total de 44 m³ teniendo un 10% de volumen extra en cada uno de los bioreactores como valor de seguridad.

Se obtuvo el diámetro de tubería necesario para transportar el caudal proyectado para lo que primero, se calculó el área de la sección transversal de una tubería, luego, de la ecuación de área de un círculo estándar se obtuvo el diámetro. El diámetro necesario obtenido fue de 3.24 in, este es un diámetro interno de la tubería por lo que se procedió a buscar espesor de pared de la tubería de PVC en catálogos de proveedores y se concluye que el diámetro de tubería necesario es de 4 in es decir, de 0.1016 m.

Se propuso que cada uno de los bioreactores tuviera agitación por lo que se diseñó el agitador y sus dimensiones.

- Se determinó el tipo de agitador en base a la viscosidad del líquido y al volumen del bioreactor. Se determinó que debía de ser un agitador vertical de turbina de 6 palas.

- Con las dimensiones del biorreactor dadas por el proveedor de los biorreactores prefabricados, se calcularon las dimensiones del agitador como su diámetro, la altura desde el fondo del tanque a la que debe de estar la turbina y el ancho y alto de las aspas.
- Se procedió a calcular el Número de Reynolds utilizando la viscosidad del agua a 21°C encontrada en el nomograma, para calcular esta viscosidad se supuso que el fluido es agua, se midió su temperatura la cual estaba a 21°C y se leyeron las coordenadas en el cuadro del mismo nomograma, luego se unió la temperatura (°C) mediante una línea recta, con las coordenadas y se obtuvo el valor de la viscosidad de 1.05 cP (0.00115 kg/m*s). Para el cálculo del número de Reynolds también se utilizó la densidad medida experimentalmente con los siguientes equipos:

Cuadro 30. Equipos y sustancias utilizadas para la medición de la densidad

Equipo/sustancia	Rango	Marca	Modelo
Picnómetro	25 mL	Brand	-
Balanza analítica	0-220 g	BOECO Germany	-
Agua destilada	No aplica	No aplica	No aplica
Muestra de dilución de bacterias	No aplica	Novozymes®	BioRemove 5100

- La densidad se midió siguiendo el procedimiento de la guía la cual se encuentra en el apartado de manuales de la sección de anexos. Se obtuvo un valor de densidad de 1053 ± 0.0053 kg/m³.
- Con estos valores, con el diámetro de la turbina calculado anteriormente y una velocidad de rotación N propuesta de 0.6 rev/s, el número de Reynolds calculado fue de 549,391.304 por lo que es un flujo turbulento.
- Con el número de Reynolds obtenido y la curva correspondiente a un agitador de turbina de 6 aspas, se leyó el número de potencia en el eje y, dando como resultado 2.5. Se calculó la potencia requerida por el agitador y luego, con la eficiencia de 70% dada por el proveedor, se calculó la potencia del motor del agitador. La potencia calculada fue de 745.7 W (1 hp).
- Se diseñó una estructura metálica para el soporte de los dos motores de los agitadores ya que se propuso que dichos motores se encuentren centrados en la parte alta de los tanques. Esta estructura debe de ser movable ya que los agitadores deben de ser removidos durante el mantenimiento para limpiar las aspas.

A la salida del primer tanque se colocó una bomba centrífuga para succionar el líquido de la parte baja del primer tanque e introducirla en la parte superior del segundo tanque.

- Primero se calculó el número de Reynolds, con viscosidad del agua a 21°C, densidad de la mezcla agua-bacterias medida experimentalmente como en el inciso anterior, la velocidad del fluido supuesta de 1 m/s para el agua y el diámetro de la tubería de 4 in (0.1016m). El resultado fue de 101,637.39.
- Se determinó la rugosidad de la tubería de PVC. Esta fue de 0.000001.
- Con el valor del número de Reynolds y la rugosidad de la tubería se encontró el factor de fricción.
- Luego se calculó la pérdida de fricción en tubería multiplicando la distancia de tubería antes de la bomba de 0.7 m con la pérdida de fricción calculada. Esta pérdida en línea fue de 0.03718 kPa.
- Se procedió a calcular la caída de presión por accesorios, los accesorios necesarios fueron una válvula de compuerta y dos codos de 90°. Se calculó dicha caída de presión la cual fue de 24.79 kPa.
- Se calculó la cabeza de velocidad. Esta fue de 0.5265 kPa.
- Se calculó la cabeza dinámica la cual es la suma de la pérdida de presión en línea, con la caída de presión por accesorios y la cabeza de velocidad. La cabeza dinámica fue de 25.35 kPa.
- Se calculó la cabeza estática en donde se utiliza la altura desde la tubería a la entrada de la bomba la cual fue de 0.4 m. Se obtuvo una cabeza estática de 4.13 kPa. A este valor se le debe de sumar la presión atmosférica de 101.132 kPa. Se obtuvo un total de 105.46 kPa de cabeza estática.
- Se calculó la presión de succión realizando la resta entre la cabeza estática y la cabeza dinámica. La presión de succión obtenida fue de 80.10 kPa.
- Se calculó la presión de descarga, pero ahora con una longitud de tubería de 3.5 m para lo que se obtuvo una pérdida en línea de tubería de 0.7530 kPa, una caída de presión por accesorios de 42.35 kPa por ende una cabeza dinámica de 43.10 kPa. Se obtuvo una cabeza estática de 132.31 kPa. Al realizar la suma de cabeza dinámica con la cabeza estática se obtuvo la presión de descarga de 175.42 kPa.
- Se calculó la diferencia de presiones realizando la diferencia entre la presión de descarga y la presión de succión. Esta diferencia fue 95.31 kPa.
- Se calculó la cabeza necesaria; se obtuvo una cabeza de 9.22 m, la cual se aproximó a 10 m por facilidad de diseño.
- Con la cabeza y el caudal de diseño, se comprobó que la bomba a utilizar era una bomba centrífuga.

- Utilizando una curva característica de una bomba centrífuga a 1750 rpm, con el caudal y la cabeza obtenida anteriormente, se obtuvo la potencia requerida de la bomba la cual fue de 559.27 W ($\frac{3}{4}$ hp) y a su vez, la eficiencia dada por el proveedor de 65%.

5. Diseño de equipos de la etapa de desinfección. Se propuso y diseñó un sistema de cloración como tratamiento de desinfección.

- Se calculó el consumo diario de cloro necesario para la eliminación de coliformes fecales utilizando la densidad y concentración dada por un proveedor de hipoclorito de calcio. Esta densidad era de 800 kg/m³ y la concentración de 65% p/p. Para calcular la cantidad de cloro a dosificar se utilizó la dosis de cloro recomendada para un efluente filtrado de 5 mg/L ($5 \times \frac{10^{-3}\text{kg}}{\text{m}^3}$), también se utilizó el caudal de agua a tratar y la concentración de la solución. La cantidad por dosificar de solución de hipoclorito de calcio fue de 5.775×10^{-9} m³/s por lo que se propuso utilizar una bomba dosificadora de 1.05×10^{-6} m³/s de capacidad máxima.
- Se propuso utilizar un tanque agitado cilíndrico vertical de polietileno para la cloración para lo que se calculó el volumen de tanque necesario con un tiempo de retención de 15 minutos mínimo. Utilizando el caudal de 0.002662 m³/s se determinó el volumen necesario de aproximadamente 3 m³. Debido a que, en la planta de tratamiento de agua residual anaeróbica del complejo comercial instalada actualmente poseían un tanque de 5 m³, se propuso el empleo de este tanque para ahorro de costos de inversión. Con este volumen, la altura del fluido solamente sería el 60% de la altura total del tanque. El tanque tenía como diámetro 2.38 m y de altura 1.33 m.
- Se propuso que el tanque agitado cilíndrico vertical de polietileno de cloración tuviera un agitador por lo que se diseñó el mismo y sus dimensiones.
 - Se determinó el tipo de agitador en base a la viscosidad del líquido y al volumen del tanque. Se determinó que debía de ser un agitador vertical de turbina de 6 palas.
 - Con las dimensiones del tanque dadas por el proveedor de los tanques prefabricados, se calcularon las dimensiones del agitador como su diámetro, la altura desde el fondo del tanque a la que debe de estar la turbina y el ancho y alto de las.
 - Se calculó el Número de Reynolds la viscosidad del agua a 21°C encontrada en el nomograma, para calcular esta viscosidad se supuso que el fluido es agua, se midió su temperatura la cual estaba a 21°C y se leyeron las coordenadas del mismo nomograma, luego se unió la temperatura (°C) con la coordenada y se obtuvo el valor de la viscosidad de 1.05 cP (0.00115 kg/m*s). Para el cálculo del número de Reynolds también se utilizó la densidad del agua a 21°C.

- Con estos valores, con el diámetro de la turbina y una velocidad de rotación N propuesta de 1 rev/s, el número de Reynolds calculado fue de 547,285.02 por lo que es un flujo turbulento.
- Con el número de Reynolds obtenido y la curva correspondiente a un agitador de turbina de 6 aspas, se leyó el número de potencia en el eje y, dando como resultado 2.5. Se calculó la potencia requerida por el agitador y luego, con la eficiencia de 70% dada por el proveedor, se calculó la potencia del motor del agitador. La potencia calculada fue de 1,118.55 W (1.5 hp).
- Se diseñó una estructura metálica para el soporte del motor del agitador ya que se propuso que este motor se encuentre centrados en la parte alta del tanque. Esta estructura debe de ser movable ya que el agitador debe de ser removido durante el mantenimiento para limpiar las aspas.

6. Determinación del cumplimiento del artículo 35 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos”. En el Artículo 35 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” se establecen los límites máximos permisibles para la DBO y la cantidad de coliformes fecales. Esto con la finalidad de utilizar las aguas residuales como reuso tipo V: reuso recreativo se evaluaron los valores de ambos parámetros teóricamente utilizando el porcentaje de remoción teórico.

En el el marco teórico se encuentra el porcentaje de remoción teórico para la cloración el cual fue de 99%, con este porcentaje se calculó el valor del efluente en cuanto a coliformes fecales y se determinó que no cumple con el límite máximo permisible. El porcentaje de remoción teórico de diseño de DBO se calculó en el módulo “Rediseño de la etapa primaria y secundaria de la planta de tratamiento anaeróbica de un complejo comercial y residencial” el cual fue de 36.36%. Con este porcentaje de remoción, el valor de DBO calculado sí cumple con los límites establecidos en el Artículo 35. Se determinó que el efluente no puede ser utilizado para reuso tipo V: reuso recreativo porque no cumple con el límite máximo permisible de uno de los dos parámetros, coliformes fecales.

F. Módulo 6: Rediseño del tratamiento de lodos y patio de secado de las plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica de un complejo comercial y residencial

1. Rediseño del tratamiento de lodos

a. Evaluación del estado actual de la planta

- Visitar plantas de tratamiento residuales anaeróbica y aeróbica del complejo comercial y residencial para evaluar el estado de funcionamiento y operación de la misma.
- Realizar un análisis de caudal durante 24 horas, en un laboratorio externo, para determinar el caudal máximo de la planta y comprobar su capacidad.
- Determinar parámetros como sólidos suspendidos totales, DBO y DQO en el efluente y afluente, según los resultados del análisis de caudal.

b. Determinación la humedad (con condiciones de temperaturas y pH)

de los lodos del patio de secado de la planta aeróbica

- Tomar una muestra de los lodos generados en la planta de aproximadamente 1 kg para simular un patio de secado.
- Colocar la muestra en una bandeja o recipiente poco profundo y colocar un plástico antes de colocar los lodos.
- Buscar un lugar el exterior que se encuentre techado.
- Determinar la temperatura de los lodos con un termómetro láser (DiversiTech) y el pH con el uso de papel pH. Esto se realiza en el patio de lodos simulado durante 5 días.
- Ese mismo día, tomar una muestra de lodos de aproximadamente 0.5 g sobre un trozo de papel aluminio.
- Encender la balanza de humedad OHAUS MB 120 y colocar la muestra de lodo.
- Verificar que la temperatura de secado sea 90°C con un tiempo de 60 minutos.
- Cerrar la balanza de humedad y esperar durante 60 minutos.
- Apuntar la humedad de la muestra.
- Realizar esto una vez durante cinco días, por triplicado.

c. Estabilización mediante un digestor convencional de la planta de

tratamiento aeróbica

- Realizar un diagrama de bloques para conocer las entradas y salidas del tratamiento de lodos.
- Realizar un balance de masa del tratamiento de lodos.

- Determinar el flujo volumétrico de lodos que entra al digestor, proveniente del clarificador de la planta.
- Establecer el tiempo de retención de sólidos en el digestor, el cual debe estar en un rango de 30 a 60 días.
- Calcular el volumen del digestor anaeróbico con el tiempo de retención de sólidos y el caudal de lodos.
- Dimensionar el diámetro y alto del digestor, usando una relación de altura-diámetro de 0.7 (WEF & ASCE, 1991).
- Determinar la inclinación del fondo cónico del digestor, el cual debe tener una relación 1:6 (1 vertical, 6 horizontal).
- Establecer el porcentaje de sólidos que contienen los lodos activados.
- Calcular la masa de tejido celular producida diariamente a partir de los parámetros de análisis de agua y de parámetros de diseño
- Determinar la cantidad de gas metano producida en el digestor
- Calcular el gas total producido en el digestor, estableciendo un porcentaje de 65% de metano y 35% de otros gases.

d. Determinación de la dosis de cal para la estabilización de la planta

aeróbica

- Calcular el peso específico de los sólidos y del lodos antes y después de la digestión para conocer la densidad de los lodos.
- Determinar la cantidad de sólidos secos a partir del contenido de sólidos y agua del lodo.
- Determinar la densidad de los lodos a partir del peso específico calculado anteriormente.
- Usar la densidad para conocer la cantidad de kilogramos necesarios de cal por kilogramo de sólido seco en el lodo.
- Buscar la dosis diaria necesaria según la cantidad de sólidos secos.
- Calcular la cantidad necesaria de cal multiplicando la dosis encontrada por los kilogramos de sólido seco.

e. Diseño de los patios de secado de la planta de tratamiento aeróbica y

anaeróbica

- Establecer los días de secado, de acuerdo a condiciones climáticas del lugar. En condiciones ideales es de 10 a 15 días (Metcalf & Eddy, 2003).
- Dividir el área total en 10 para tener patios individuales.

- Determinar el flujo volumétrico de lodos que entra al patio de secado, proveniente del digestor, con el balance de masa general de la planta.
- Establecer el porcentaje de sólidos que contienen los lodos digeridos.
- Determinar la cantidad de agua evaporada, según la radiación solar y horas de sol en Guatemala y con la entalpía de vaporización del agua.
- Determinar la cantidad de lodo deshidratado, estableciendo un 70% de humedad.
- Calcular la cantidad de lixiviados filtrados en el patio a partir de un balance de masa, conociendo la cantidad de agua evaporada y la cantidad de humedad con la que salen los lodos deshidratados.
- Calcular el área del patio de secado utilizando una altura teórica de 0.9m.
- Establecer el largo y ancho del patio.
- Determinar el volumen del patio de secado y sus dimensiones según el largo y ancho establecido en Metcalf & Eddy, 2003.
- Establecer la pendiente del patio de secado, la cual debe ser de al menos 1% (Metcalf & Eddy, 2003)
- Determinar la cantidad de grava y arena necesaria de acuerdo al área del patio y un espesor de 0.2 m, tanto de grava como de arena.
- Colocar un sistema de drenaje y tubería para conectar los lixiviados al ingreso del agua residual al de tratamiento del agua.
- Agregar una construcción de un techo para proteger los lodos de condiciones climáticas no adecuadas.

f. Cálculo de bomba y tuberías para la evacuación de lodos para las plantas de tratamiento aeróbica y anaeróbica

- Realizar un diagrama de la ubicación de las bombas y tuberías para conocer distancias, válvulas y accesorios necesarios.
- Medir la distancia y altura que debe tener la tubería para trasladar los lodos desde el digestor o biodigestor hacia el patio de secado.
- Fijar la velocidad usando reglas gruesas
- Calcular el área de la tubería a partir del caudal de lodos y la velocidad lineal elegida.
- Determinar el diámetro interno a partir del área.
- Buscar en un catálogo de tuberías de PVC el diámetro nominal.
- Para el cálculo de la bomba, buscar el coeficiente de rigidez y el esfuerzo producido, de acuerdo al porcentaje de sólidos en la salida del digestor, elegido anteriormente.
- Determinar el número de Reynolds
- Determinar el número de Hedstorm

- Buscar el coeficiente de fricción, a partir del número de Reynolds y de Hedstorm calculado previamente.
- Determinar el número de válvulas y accesorios en el sistema de tuberías.
- Elegir el factor K_f según las válvulas y accesorios.
- Calcular las pérdidas por fricción de superficie, válvulas y accesorios.
- Determinar la potencia de la bomba a utilizar con la ecuación de Bernoulli.

2. Análisis de metales pesados⁴ para cumplimiento de parámetros según Acuerdo gubernativo 236-2006 (Análisis externo, soluciones analíticas).

- Obtener una muestra de lodos del patio de secado de manera manual.
- Someter la muestra a una etapa de digestión previa.
- Colocar aproximadamente 1 gramo de muestra en un crisol de porcelana y calcinar en un horno a 550°C durante 1 hora.
- Dejar enfriar y añadir 10 mL de ácido clorhídrico (37%).
- Llevar las muestras a sequedad en una placa calefactora a 150°C.
- Añadir 20 mL de ácido clorhídrico 2 N.
- Llevar el contenido de los crisoles a un matraz aforado de 100 mL mediante filtrado con la ayuda de un embudo y papel filtro.
- Llevar la disolución filtrada a un volumen de 100mL con agua destilada.
- Elaborar una curva patrón con diluciones en diferente concentración de cada metal a analizar.
- Preparar diluciones a partir de patrones comerciales de 1000 ppm de concentración.
- Determinar el contenido de metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo), cuya concentración se determina en ppm, mediante el método de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro.
- Colocar las muestras en el espectrofotómetro, en donde estas se nebulizan y las partículas más pequeñas pasan al mechero en donde se atomizan completamente a altas temperaturas y se incide un haz de luz procedente de una lámpara.
- Utilizar una longitud de onda específica para cada uno de los metales a analizar, una parte del haz de luz es absorbido por el metal y el resto llega al detector. El software calcula la diferencia entre el haz de luz emitido y el que llega al detector, siendo la absorción función de la concentración de metal presente en la muestra.
- Analizar los resultados y comparar los parámetros obtenidos con los requeridos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, según el artículo 49 del capítulo IX.

⁴ La metodología se obtuvo de (González, 2015).

G. Módulo 7: Análisis de costos, operativo y de mantenimiento de un rediseño de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial

Esta investigación permite una evaluación de los procesos que se llevan a cambio en una PTAR aerobia y un análisis de los costos aproximados del rediseño, operación y mantenimiento. El rediseño se basó en el cumplimiento de los parámetros que establece el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala.

1. Análisis del estado de la PTAR

- Se visitó la planta de tratamiento para inspeccionar el área, entender el funcionamiento y observar la disponibilidad de equipos .
- se observó el estado de cada equipo, así como la falta de mantenimiento.
- Se consultó tanto al operario como al encargado del proyecto el tipo de mantenimiento empleado y se clasificó como reactivo.
- Se realizaron visitas posteriores para realizar los análisis de laboratorio con los que se determinó que la planta no cumplía con los parámetros del MARN según el Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, comparando los valores obtenidos y los límites permisibles.

2. Presupuesto a partir del rediseño de la PTAR

- A partir de la propuesta de rediseño se realizó al menos una cotización, local o internacional, de cada equipo. Para realizar una cotización se debe contactar con el posible proveedor mediante correo electrónico o llamada, indicando el equipo que se desea adquirir y la utilidad que se le dará.
 - El proveedor, con base en la información otorgada, comunicará si puede proveer del equipo requerido y el costo de este.
 - Para las tuberías se utilizó un catálogo de precios encontrado en la página del proveedor, si se utilizan catálogos se debe asegurar que estén actualizados.
 - Para la cotización de la construcción de obra gris, tanto de equipo como de la torta de cemento, se consultó con un ingeniero civil experto en el tema y se corroboró la información con el catálogo de precios de la cámara de construcción de Guatemala.

3. Elaboración del manual de operación y mantenimiento

- Se elaboró a partir de la propuesta del rediseño, un manual de operación y mantenimiento como guía básica para los ingenieros encargados de la planta.
 - Se describió el funcionamiento de cada operación unitaria en base a información recolectada en manuales de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento similares. Además,
 - Se incluyó en este, las medidas de seguridad ocupacional que deben tomarse en la PTAR. Se consultó manuales de PTAR aerobias y las normas de la OSHA.

H. Módulo 8: Presupuesto de rediseño y elaboración de manuales de operaciones y mantenimiento

1. Evaluación de la planta de tratamiento anaeróbica

- Se visitó dos veces la planta de tratamiento anaeróbica del complejo comercial y residencial con el fin de evaluar los equipos, verificar su funcionamiento, ver la disposición de los mismos y el espacio disponible.
- Se consultó con el encargado de la planta respecto a los parámetros y el funcionamiento de la planta y si esta estaba cumpliendo con los límites permisibles.
- Se solicitó la información disponible respecto a manuales tanto de operaciones como de mantenimiento, sin embargo, el encargado no contaba con ellos.

2. Cotización

- Se obtuvo la propuesta de rediseño de cada etapa de tratamiento. Se obtuvo datos respecto a las dimensiones de las estructuras y parámetros a los que operan.
- Se listó los materiales y equipo requeridos para cada etapa, así como los complementos y accesorios que se necesitarían para el rediseño.
- Se buscó proveedores potenciales que contaran tanto con los insumos requeridos, así como precios competitivos, calidad y que cumplieran con las medidas y requerimientos de los procesos.

- Se cotizaron los materiales y equipos necesarios para cada una de las operaciones unitarias propuestas. Se realizaron las cotizaciones con empresas especializadas en el tratamiento de aguas, así como a profesionales expertos en cada área, incluyendo ingenieros civiles, ingenieros sanitarios, ingenieros industriales e ingenieros químicos.
- Se seleccionaron las cotizaciones que mejor se adaptaron a las necesidades del proyecto: en precio, calidad, dimensiones y parámetros de operación.

3. Investigación

- Se investigó los parámetros de operación y operaciones unitarias de cada fase, así como las características del proceso.
- Se investigó cada uno de los procesos de mantenimiento para cada una de las fases de tratamiento.
- En base a las especificaciones del rediseño y la teoría investigada, se recopiló la información para definir la operación y el mantenimiento de cada fase de tratamiento.

4. Elaboración de presupuesto del rediseño

- Con los datos de las cotizaciones y los datos proporcionados por expertos en la materia se realizó el presupuesto del rediseño.
- Se clasificó por diferentes categorías los materiales y equipos de cada operación para detallar los costos de inversión por equipo.
- Se clasificó el costo de inversión en costos directos, indirectos e inversión por trámites legales.

5. Elaboración de manuales de operación

- Se definió los capítulos tanto del manual de operaciones como el de mantenimiento.
- Se redactó el manual de operaciones incluyendo la descripción de la planta, las leyes que rigen las plantas de tratamiento en Guatemala y la descripción del proceso de tratamiento en cada una de las etapas.
- Se redactó el manual de mantenimiento incluyendo el personal requerido, capacitación, arranque del sistema, seguridad e higiene en la planta, muestreos en la planta, mantenimiento de equipos, evaluación operacional y bitácora del operador.

I. Módulo 9: Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido al personal administrativo del complejo comercial y residencial

Es necesario pensar en soluciones efectivas sobre el manejo racional del agua así como re considerar el cuidado y la protección del medio ambiente. Esto con el fin de generar cambios en la cultura, es decir actitudinales y acciones con sustento en todas las personas, pero especialmente en aquellos responsables de alcanzar, mantener y mejorar la convivencia con el entorno en espacios como un complejo comercial y habitacional.

Al emprender esta tarea se podrá contribuir a la conciencia en una nueva cultura que prioriza la sostenibilidad del ambiente. La educación es la llave para lograrlo. Los programas de capacitación permiten fortalecer las capacidades de las personas para que las prácticas cotidianas garanticen una mejor calidad de vida para la supervivencia de las especies, incluyendo la nuestra.

En el siguiente capítulo se describe la metodología utilizada para desarrollar una propuesta de capacitación dirigida a los colaboradores del personal administrativo del complejo comercial y residencial, con la intención de responder a la realidad del contexto como parte de lo que se propone en un programa de educación ambiental. El trabajo incluye la investigación teórica en fuentes secundarias y contextual a partir del diagnóstico de necesidades para los procesos de aprendizaje según las demandas educacionales de los colaboradores.

Se definieron los posibles alcances, aportes y limitaciones, así mismo, se analizó la información para elaborar los materiales educativos propios de la propuesta. Esta propuesta requiere validación para después ser implementada y evaluada de forma que si se necesitan modificaciones se realizarían para dejar una guía adecuada para aplicación en entornos o contextos similares.

Respecto al medio ambiente, Fernández (2010) expresa que engloba diversos componentes bajo el nombre de factores ambientales, entre los cuales se desarrolla la vida del planeta. Respecto a esto Rodríguez (2010), considera que se debe trabajar por una educación ambiental cuyo beneficio reconstruya la manera de pensar y hacer, de tal manera que frene la actual crisis ambiental. Por lo expresado anteriormente, los procesos de aprendizaje que se logran con la capacitación forman al recurso humano. La propuesta de capacitación en educación ambiental diseña actividades con recursos de forma que los aprendizajes se apliquen favoreciendo la convivencia democrática, la protección del medio ambiente en un proceso que prioriza el fortalecimiento de una cultura ambiental sostenible.

1. **Alcances.** El programa de desarrollo de cultura ambiental se realizará con los integrantes de los diferentes departamentos administrativos del complejo. Esto se realizó a partir de las visitas a los administrativos del complejo. Existió apertura y apoyo total del jefe de operaciones para ejecutar cada uno de los procesos de investigación y recopilación de información. El grupo que realizó las encuestas de manera presencial mostró actitud colaborativa e interés ante el proceso. La comunicación fue constante y amigable, realizando continuamente proceso de realimentación sobre cada una de las actividades programadas. Hubo libertad respecto al diseño y línea de color en la elaboración de material visual. Se pretende trabajar en un primer momento con un 50% de los colaboradores.

2. **Limitaciones.** Algunos miembros de los diferentes departamentos del área administrativa no respondieron la encuesta de modalidad en línea. Se conversó sobre la rotación de personal. Se acordó que deberá realizarse un proceso de seguimiento y ciclos de capacitación periódicas con el personal de nuevo ingreso a cada departamento, con el propósito de conservar la cultura ambiental organizacional sin que afecte en ello la rotación del personal o cambios administrativos.

3. **Metodología.** La metodología seleccionada se basa en la Guía de Implementación de la Estrategia Global de Comunicación para el cambio Social y de Comportamiento (CCSyC) en el Altiplano de Guatemala en conjunto con USAID y el proyecto C-Change.

Figura 53. Guía de Implementación de la Estrategia Global de Comunicación para el cambio Social y de Comportamiento (CCSyC) en el Altiplano de Guatemala en conjunto con USAID y el proyecto C-Change.



Fuente: elaboración propia, basado en el diseño del diagrama del proceso C, según fuentes citadas.

A continuación se explica lo que incluye cada una de las fases:

a. Diagnóstico de las necesidades

(1) Sujetos. Los sujetos considerados en este estudio, son los colaboradores que forman parte de cada uno de los departamentos administrativos del complejo comercial y residencial.

(2) Estadística. Desde el segundo ciclo se realizó el muestreo aleatorio simple tomando como muestra al personal administrativo del departamento de recursos hídricos del complejo. El muestreo probabilístico aleatorio simple, de acuerdo con Webster (1998) es “una muestra aleatoria simple que resulta de aplicar un método por el cual todas las muestras posibles de un determinado tamaño tengan la misma probabilidad de ser elegidas,” con esta definición se refleja que la probabilidad de selección de la unidad de análisis A es independiente de la probabilidad que tienen el resto de unidades de análisis que integran una población.

Según Seijas, Felix L.(1981) “El muestreo es probabilístico cuando se puede determinar de antemano la probabilidad de selección de cada uno de los elementos de la población o universo bajo estudio. La selección de un elemento o de una de las muestras posibles debe ser un experimento aleatorio o de azar de esos que engendran la base de la teoría de la probabilidad, en la cual se fundamenta la estadística matemática.

Para el diagnóstico de necesidades, se realizó investigación cualitativa y cuantitativa. Se indagó sobre las necesidades y demandas educacionales de los colaboradores con la técnica de la entrevistas para explorar opiniones, conocimientos previos, interés, uso de tecnología, observación de percepciones y realización de tareas. También se efectuó investigación documental en fuentes secundarias como artículos, publicaciones, programas de organizaciones y agencias así como estudios con respaldo de universidades. Esto sirvió para poder realizar el trabajo de campo que incluyó el diseño y aplicación de instrumentos.

La presente investigación se basó en la observación directa complementada con la entrevista, además, un modelo de cuestionario para el pre test, con el propósito, de explorar aprendizajes complejos de los participantes respecto al recurso hídrico y su manejo. De acuerdo a Bonvecchio (2006) la observación directa es llevada a cabo sobre alguna o algunas acciones externas o productos, con la guía de instrumentos específicamente preparados para ello, de tal manera que registre la información. En relación al cuestionario, Achaerandio (2010) argumenta que permite a todos recibir las mismas preguntas y proporciona mayor facilidad para ordenar los datos de las respuestas obtenidas.

Según Reza (2012), diagnóstico de necesidades de capacitación es la indagación que determina las necesidades de conocimientos y habilidades que impiden que los trabajadores de una empresa, desempeñen correctamente las actividades relativas a el puesto de trabajo. El objetivo genérico del DNC consiste en obtener la información que permita conocer las debilidades respecto a conocimientos, habilidades, actitudes y aptitudes del personal de la organización, con el fin de diseñar y poner en operación programas tendientes a satisfacer estas necesidades.

Para la elaboración del diagnóstico de necesidades de capacitación se realizó el siguiente proceso:

- Visita a las plantas de tratamiento Aerobia y Anaerobia: Como parte del proceso de observación directa, se realizó una visita dirigida a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) aerobia y anaerobia con el objetivo de contextualizar la información del entorno, previo a la elaboración de instrumentos para el personal administrativo de acuerdo a lo citado anteriormente por Bonvecchio (2006).
- Diseño de instrumentos:
 - Instrumento 1: Entrevista con el responsable del proyecto en el complejo (Anexo 1)
 - Objetivo de la entrevista: Definir las necesidades específicas del complejo y la problemática a resolver, para identificar las opciones y posibles temas a capacitar. La entrevista es un instrumento técnico que adopta la forma de un diálogo coloquial. Canales (2006) la define como “la comunicación interpersonal establecida entre el investigador y el sujeto de estudio, a fin de obtener respuestas verbales a las interrogantes planteadas sobre el problema propuesto”
 - Descripción del instrumento: Para desarrollar del instrumento, se diseñó una entrevista semiestructurada, la cual contiene una serie de preguntas preparadas con anterioridad, dicho instrumento contiene título, logo de la universidad, instrucciones de aplicación, motivo por el cual se realiza la entrevista y por ultimo 5 preguntas redactadas de forma directa e indirecta, con un lenguaje amigable y con el propósito de responder a los objetivos de la misma, la duración estimada para su realización es de 20 minutos, sin embargo éste aspecto depende de la apertura y el proceso de diálogo que se desarrolle entre el entrevistado y entrevistador.
 - Aplicación de instrumento: Se estableció contacto con el responsable del proyecto en el complejo, para solicitar su apoyo con el instrumento descrito, a lo cual se acordó por vía telefónica el día y la hora en que se realizaría la

entrevista. En el día y hora acordados se realizó la entrevista en las oficinas centrales del complejo, con un tiempo aproximado de 20 minutos.

- Instrumento 2: Encuestas en modalidad presencial a colaboradores del personal administrativo del departamento de Recursos Hídricos.
 - Objetivo de la encuesta: Identificar el nivel de dominio de conocimiento técnico que poseen los colaboradores del personal administrativo, sobre las plantas de tratamiento de aguas residuales, su ubicación en el complejo y proceso operacional. Verificar el dominio de conocimiento técnico sobre la situación del recurso hídrico y su situación actual en Guatemala, así como el marco legal que lo respalda.
 - Descripción de instrumento: El instrumento realizado está conformado por 8 preguntas, todas en modalidad abierta, fue diseñado para realizarlo de manera personal con los miembros del departamento de recursos hídricos, la encuesta contiene un encabezado, logo de la universidad, objetivo por el cual se está realizando e instrucciones precisas.
 - Aplicación de Instrumento: Se solicitó autorización el responsable del proyecto en el complejo para realizar las encuestas, indicando él el día y la hora para realizarlas. Se acordó hacerlas un día por la tarde. Las encuestas fueron realizadas de manera presencial con cada integrante del departamento en presencia del jefe de operaciones. Se realizó un total de 4 encuestas abarcando al 100% de la población del departamento.

- Instrumento 3: Encuestas, modalidad en línea a colaboradores del personal administrativo de los diferentes departamentos administrativos del complejo.
 - Objetivo de la encuesta: Identificar el nivel de dominio de saberes técnicos que poseen los colaboradores del personal administrativo de los diferentes departamentos, sobre las plantas de tratamiento de aguas residuales, su ubicación en el complejo y proceso operacional. Verificar el dominio de saberes técnicos sobre la situación del recurso hídrico y su situación actual en Guatemala, así como el marco legal que lo respalda.
 - Descripción de instrumento: el instrumento realizado está conformado por 10 preguntas, todas en modalidad cerrada, fue diseñado para realizarlo en línea por los miembros del departamento administrativo del complejo, la encuesta contiene un encabezado, logo de la universidad, objetivo por el cual se está realizando e instrucciones precisas.

- Aplicación de Instrumento: Se solicitó autorización del jefe de operaciones para realizar las encuestas, se le envió el link y el realizó la logística interna respecta para distribuirla en los diferentes departamentos. Se acordó un período de un mes para responderlas.

Las encuestas fueron realizadas utilizando la herramienta SurveyMonkey, con autorización del responsable del proyecto en el complejo. Se realizó un total de 32 encuestas, abarcando aproximadamente 12 departamentos, con un total de 32 respuestas del 32 %. Enviadas a un aproximado de 100 personas que son las que integran los distintos departamentos administrativos del complejo.

- Validación de instrumentos: se realizó la validación de instrumentos (encuestas, entrevista, bifoliar) con la técnica juicio de expertos. Considerando que Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez (2008) describen el juicio de expertos como una «estrategia de validación definida como una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, el experto hace juicios y toma decisiones basadas en evidencia o experticia». Se compartieron los diferentes instrumentos con expertos en el tema de manejo de recurso hídrico y plantas de tratamiento de aguas residuales, con el propósito de sugerir aspectos de mejora sobre los mismos.

b. Análisis inicial de información: una vez ejecutado el proceso anterior, se analizó la información inicial para realizar con esto el diagnóstico de necesidades de capacitación como base del diseño de la propuesta de programa de educación ambiental que se pretende desarrollar con el personal administrativo del complejo.

c. Diseño inicial de la propuesta del programa de educación ambiental

(1) Herramientas y recursos de inducción: se programó una segunda reunión con el responsable del proyecto en el complejo, en la cual se conversó sobre el diseño de herramientas de comunicación que favorecerían la formación de una cultura ambiental para el uso adecuado del recurso hídrico, a través de un proceso informativo de inducción previo al proceso de capacitación. Según sus indicaciones se seleccionó como herramienta visual la creación de un bifoliar informativo sobre los temas pertinentes, con el propósito introducir a la población en el tema previo al proceso de capacitación formal.

d. Implementación

(1) Distribución de herramientas y recursos de inducción: se distribuyó, como parte de la propuesta, un bifoliar inductivo con el propósito de informar al personal administrativo del complejo e introducirlo en el proceso de aprendizaje para el fortalecimiento de la cultura ambiental, el cual fue proporcionado a cada miembro del personal en los distintos departamentos.

e. Evaluación: se acordó con el responsable del proyecto en el complejo, que el personal administrativo sería evaluado cada tres meses posterior a recibir el bifoliar informativo, con el propósito de conocer su nivel de conocimiento previo al inicio del proceso de capacitación.

(1) Análisis de la información: a partir del análisis de la información recabada se elaboraron la propuesta y los materiales educativos apropiados para la misma.

(2) Diseño y elaboración de la propuesta: la propuesta se diseñó con varias etapas a considerar y aplicar de manera cronológica, respetando la metodología sugerida en el proceso para realizar el plan de acción que permita alcanzar los objetivos planteados inicialmente al diseñar la misma, respetando cada una de las etapas del diseño establecidas.

(3) Validación: probar con un grupo piloto la propuesta de capacitación. Si se considera necesario o pertinente, la propuesta podría modificarse parcialmente tomando en cuenta las opiniones y resultados del pilotaje.

(4) Implementación: se ejecutó parte del proceso de implementación, el cual es un paso importante en la gestión de un proyecto, debe incorporar todos los aspectos sugeridos en la propuesta, incluyendo las estrategias descritas para lograr sus resultados, métodos de trabajo con los colaboradores y otros participantes, y el sistema de manejo de la información y el conocimiento.

(5) Evaluación: se acordó realizar el proceso de evaluación por trimestre, a través del cual se determinan los cambios generados a partir del resultado actual, en comparación con lo previsto en la planificación realizada previo a la implementación de la propuesta, con el propósito de tomar decisiones para orientar la eficacia de la propuesta y su aplicación en relación a los objetivos planteados inicialmente.

J. Módulo 10: Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido a los trabajadores de restaurantes y quioscos de un complejo comercial y residencial

En el siguiente capítulo se describe la metodología que se utilizó para desarrollar una propuesta de capacitación como parte del programa de educación ambiental para los trabajadores de restaurantes y quioscos de alimentos ubicados en un complejo comercial que responda a la realidad ecológica del contexto. Se aborda el diagnóstico de necesidades de capacitación, el análisis de información, el diseño de propuesta, la validación de instrumentos y la implementación.

Se tomó como referencia la guía de Implementación de la Estrategia Global de Comunicación para el cambio Social y de Comportamiento (CCSyC) que se usó en el Altiplano de Guatemala en conjunto con USAID y el proyecto C-Change, Comunicación para el cambio. Esta guía considera el rol que tiene la comunicación al propiciar el cambio social, que influye un cambio de política, norma y comportamiento individual al encontrar un momento clave efectivo para el cambio, así mismo posee estrategias de comunicación que influyen en el comportamiento que enfatiza la información y comunicación

Figura 54. Metodología.



Fuente: elaboración propia según el diseño del diagrama del proceso C, adaptado de Health Communication Partnership, P. Process Brochure, (2003)

La figura anterior ha sido modificada de la original propuesta debido a que esta investigación no cuenta con una implementación, únicamente el diseño de un programa de educación ambiental

1. **Muestreo y unidad de análisis.** La investigación se llevó a cabo en los restaurantes y quioscos de alimentos ubicados dentro de un complejo comercial y residencial en zona 16, siendo 21 restaurantes y quioscos la unidad de análisis para esta investigación. El tipo de muestreo fue probabilístico aleatorio. De acuerdo con Webster (1998) “una muestra aleatoria simple es la que resulta de aplicar un método por el cual todas las muestras posibles de un determinado tamaño tengan la misma probabilidad de ser elegidas,”

2. **Técnicas de Investigación.** Arias (1999) menciona que “las técnicas de recopilación de datos son las distintas formas de obtener información” Como parte de las técnicas de investigación que fueron utilizadas en el diagnóstico de necesidades son la observación directa, entrevista y encuesta

Según Según Hernández, Fernández y Baptista (1998), “la observación consiste en el registro sistemático, cálido y confiable de comportamientos o conductas manifiestas”. La entrevista, según Siampieri y Cols (2003) se construye como un discurso enunciado principalmente por el entrevistado pero que comprende las intervenciones del entrevistador cada una con un sentido determinado, relacionados a partir del llamado contrato de comunicación y en función de un contexto social en el que se encuentren. De igual manera Nahoum (2005) expone que es un encuentro cordial y ordenado en donde una persona se dirige a otra y cuenta su historia o da la versión de los hechos, respondiendo a preguntas relacionadas con un problema específico.

Por último se utilizó la encuesta. Estas son entrevistas con un determinado número de personas utilizando un cuestionario prediseñado. El método de encuesta incluye un cuestionario estructurado que se da a los encuestados y que está diseñado para obtener información específica (Naresh K. Malhotra.

3. Metodología

a. Diagnóstico de necesidades de capacitación.

- Para la elaboración del diagnóstico de necesidades se llevó a cabo los instrumentos descritos a continuación.
 - Instrumento 1: Observación directa a planta de tratamiento de aguas residuales.
 - Objetivos del instrumento: Comprender el funcionamiento actual de la planta de tratamiento así como las oportunidades de aprendizaje.

- Descripción: La investigación de este proyecto dio inicio con la visita a la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en el complejo comercial y residencial, la visita fue autorizada por el jefe de operación y se realizó en conjunto del encargado de mantenimiento de la planta y compañeros de Ingeniería. Esto permitió identificar conceptos, procesos, historia y problemáticas que dieron inicio a nuevas oportunidades de aprendizaje.
- Instrumento 2: Cuestionario para entrevista con jefe de operaciones
 - Objetivos de la entrevista: Determinar las necesidades específicas de los restaurantes y quioscos de alimentos respecto al manejo de recurso hídrico. Reconocer las posibles estrategias a considerar en la propuesta de programa de educación ambiental.
 - Descripción del instrumento: Para el desarrollo del instrumento, se diseñó una entrevista semiestructurada, la cual contiene preguntas fijas que han sido preparadas con anterioridad, este instrumento cuenta con un encabezado, logo de la universidad y 2 preguntas de forma directa. Se utilizó un lenguaje amigable y con el propósito de responder a los objetivos de la misma, la duración estimada para su realización fue de 10 minutos.
 - Aplicación de instrumento: Se estableció contacto con el jefe de operación para solicitar de su apoyo con dicho instrumento. Se acordó con el jefe de operación por vía telefónica el día y la hora que se realizará la entrevista. Se realizó la entrevista en las oficinas centrales del complejo. Se llevó a cabo la entrevista con un tiempo estimado de 15 minutos
- Instrumento 3: Cuestionario para encuestas con colaboradores de restaurantes y quioscos de alimentos. Basándose en los resultados de la entrevista con el jefe de operaciones, se realizó una encuesta a los colaboradores de restaurantes y quioscos de alimentos con el fin de recabar más información sobre las necesidades expuestas con anterioridad.
 - Objetivos de la encuesta: Determinar el aprendizaje que poseen los colaboradores sobre educación ambiental.
Identificar el aprendizaje que poseen los colaboradores sobre cultura ambiental.
Verificar cuántos restaurantes y quioscos de alimentos posee trampa de grasa
Establecer los aprendizajes que poseen sobre el mantenimiento adecuado de las trampas de grasa.

Descubrir la disposición que posee el personal para participar en un proceso de capacitación

- Descripción de instrumento: es un instrumento que posee 6 preguntas (1 cerrada y 5 abiertas), fue diseñada para pasarla de manera personal a todos los quioscos y restaurantes de alimentos, la encuesta cuenta con un encabezado, logo de la universidad, objetivo por el cual se está realizando e instrucciones claras y precisas, es importante mencionar que el entrevistador debe profundizar e indagar en las preguntas para recabar mejores resultados y que estos mismos ayuden a la toma de decisiones.
- Aplicación de Instrumento: Se solicitó autorización del jefe de operaciones para realizar las encuestas. Se acordaron dos días para la realización. Por parte de administración se brindó una carta de autorización, como respaldo del permiso. Las encuestas fueron realizadas de manera presencial con un representante de cada comercio. Se realizó un total de 20 encuestas abarcando al 100% de la población

b. Análisis de información. Una vez obtenida la información necesaria del paso anterior, se analizaron los aspectos relevantes, lo que llevó a poder identificar oportunidades de aprendizaje. (Ver capítulo VII)

c. Diseño de propuesta. En este paso se creó una propuesta de programa de educación ambiental que responde a las necesidades encontradas en los pasos anteriores.

Para la creación de una herramienta visual, se hizo una investigación, se realizó una visita a la Municipalidad de Guatemala, con el fin de encontrar las normas y marcos legales sobre la protección y mejoramiento del medio ambiente, y poder brindar información teóricamente sustentada, generando interés y compromiso.

d. Validación. El cuarto paso consistió en validar el diseño de propuesta con expertos en el tema.

(1) Alcances de investigación. Entre los alcances de la investigación se pueden mencionar los siguientes:

- Se contó con los permisos necesarios para poder realizar los diferentes instrumentos dentro del complejo comercial y residencial.
- Hubo apoyo indefinido de parte del jefe de operaciones

- La mayoría de quioscos y restaurantes mostraron disponibilidad al momento de ser encuestados.
- Se obtuvo aportes relevantes sobre la problemática a investigar de parte de los encuestados.

(2) Limitaciones de investigación. Entre las limitaciones de la investigación se pueden mencionar los siguientes:

- Tres restaurantes de alimentos no mostraron disponibilidad al momento de ser encuestados, motivo por el cual se redujo la muestra.
- El tiempo estipulado para realizar las encuestas a los restaurantes y quioscos de alimentos se tuvo que ampliar debido a la demanda de gente con la cual contaban los comercios.

VII. RESULTADOS

A. Módulo 1: Análisis de la calidad del agua comparando el método de tubos múltiples y un método con bacteriófagos

Cuadro 31. Análisis de calidad fisicoquímica del agua resultante del tratamiento

Parámetro	Resultados de muestras	Valores permisibles
Temperatura (°C)	23.8 – 25.8	TCR ± 7 °C
Materia flotante	Presente	Ausente
Nitrógeno total (mg/L)	40 – 49	20 mg/L
Fósforo total (mg/L)	12 – 21.9	10 mg/L
pH	7 – 8	6 a 9
Color (u Pt-Co)	531 – 960	500 u Pt-Co
DBO (mg/L)	136.22 – 293	N/A
DQO (mg/L)	316 – 336	N/A
DBO/DQO	0.43 – 0.92	>0.4

Cuadro 32. Análisis de calidad microbiológica del agua recolectada el 10 de julio con el método de tubos múltiples

	Medio de cultivo			Valor permisible
	Lauril triptosa	Verde brillante	EC	
NMP/100mL	>1.6*10 ⁵	>1.6*10 ⁵	>1.6*10 ⁵	<1 * 10 ⁴

Cuadro 33. Análisis de calidad microbiológica del agua recolectada el 24 de agosto con el método de tubos múltiples

	Medio de cultivo			Valor permisible
	Lauril triptosa	Verde brillante	EC	
NMP/100mL	>1.6*10 ⁵	>1.6*10 ⁵	>1.6*10 ⁵	<1 * 10 ⁴

Cuadro 34. Análisis de calidad microbiológica del agua recolectada el 4 de septiembre con el método de tubos múltiples

	Medio de cultivo			
	Lauril triptosa	Verde brillante	EC	Valor permisible
NMP/100 mL	$>1.6 \cdot 10^5$	$>1.6 \cdot 10^5$	$>1.6 \cdot 10^5$	$<1 \cdot 10^4$

Cuadro 35. Unidades formadoras de placa determinadas con el método de bacteriófagos para las muestras filtradas de agua

Muestra	UFP/mL
1	1000
2	316
3	2512

Figura 55. Temperatura de las muestras de agua recolectadas

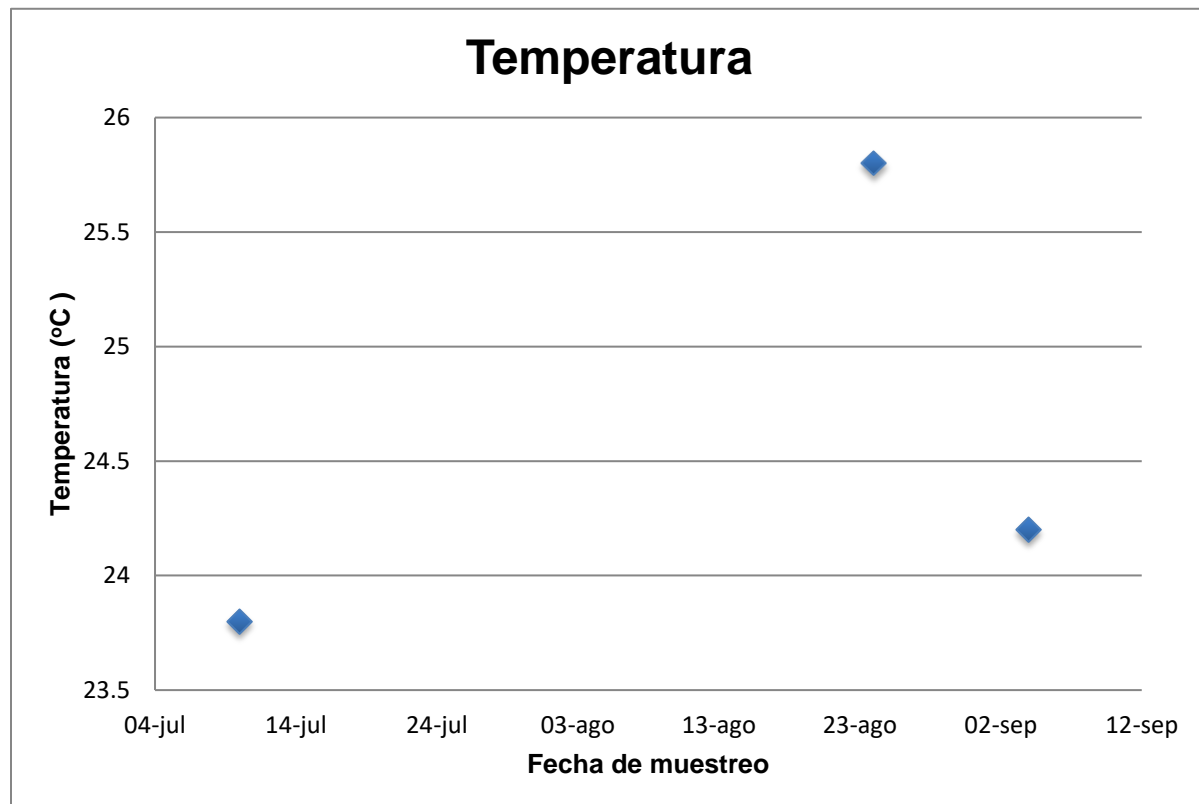


Figura 56. Contenido de nitrógeno total en las muestras de agua recolectadas

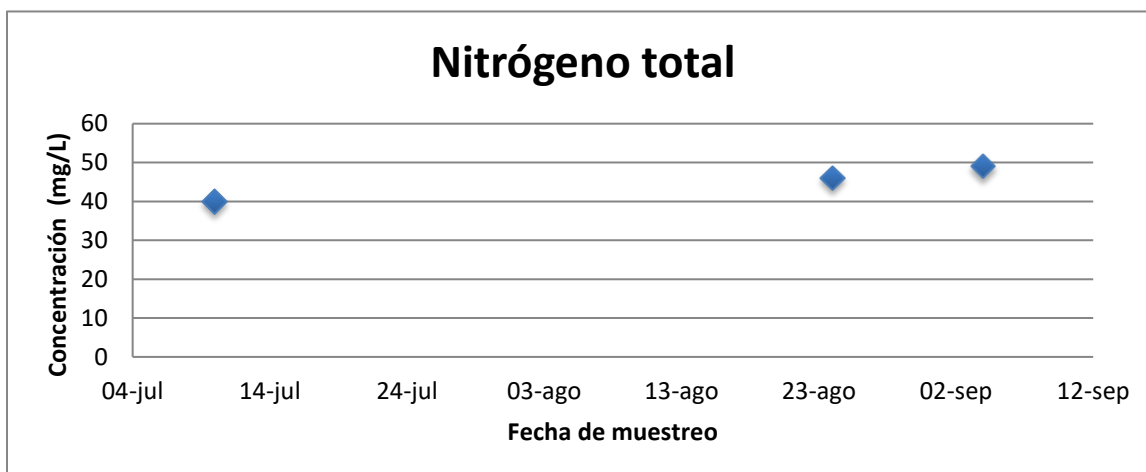


Figura 57. Contenido de fósforo total en las muestras de agua recolectadas

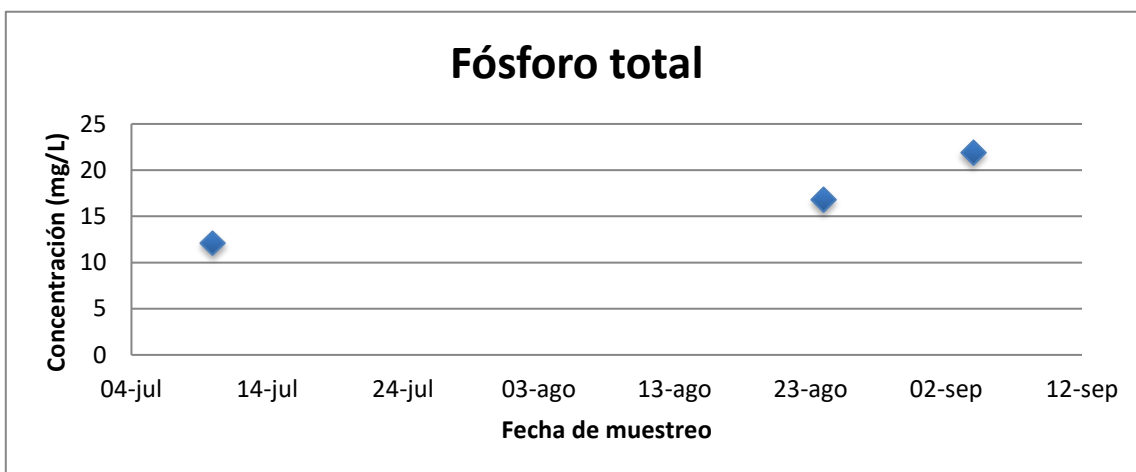


Figura 58. Color de las muestras de agua recolectadas

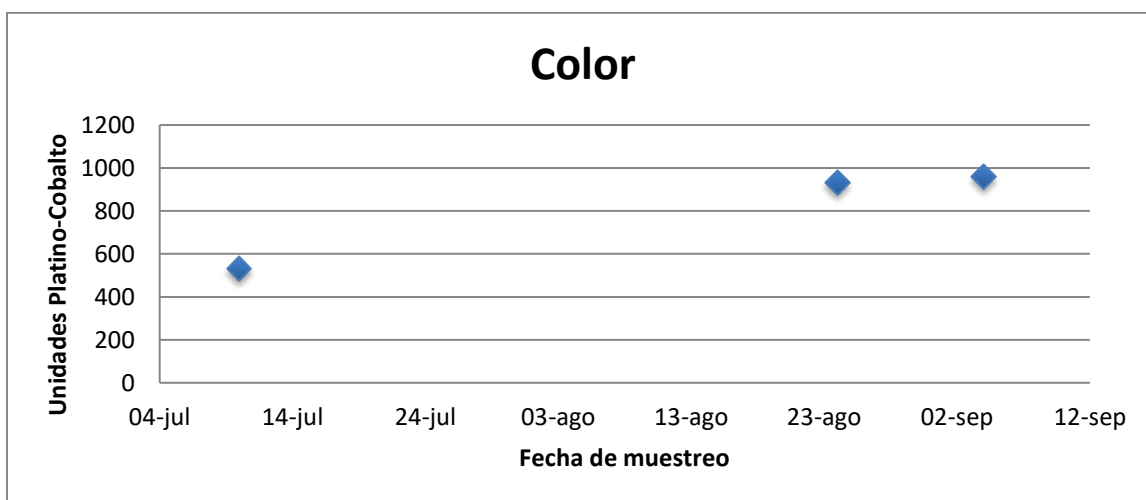


Figura 59. Demanda química de oxígeno de las muestras de agua recolectadas

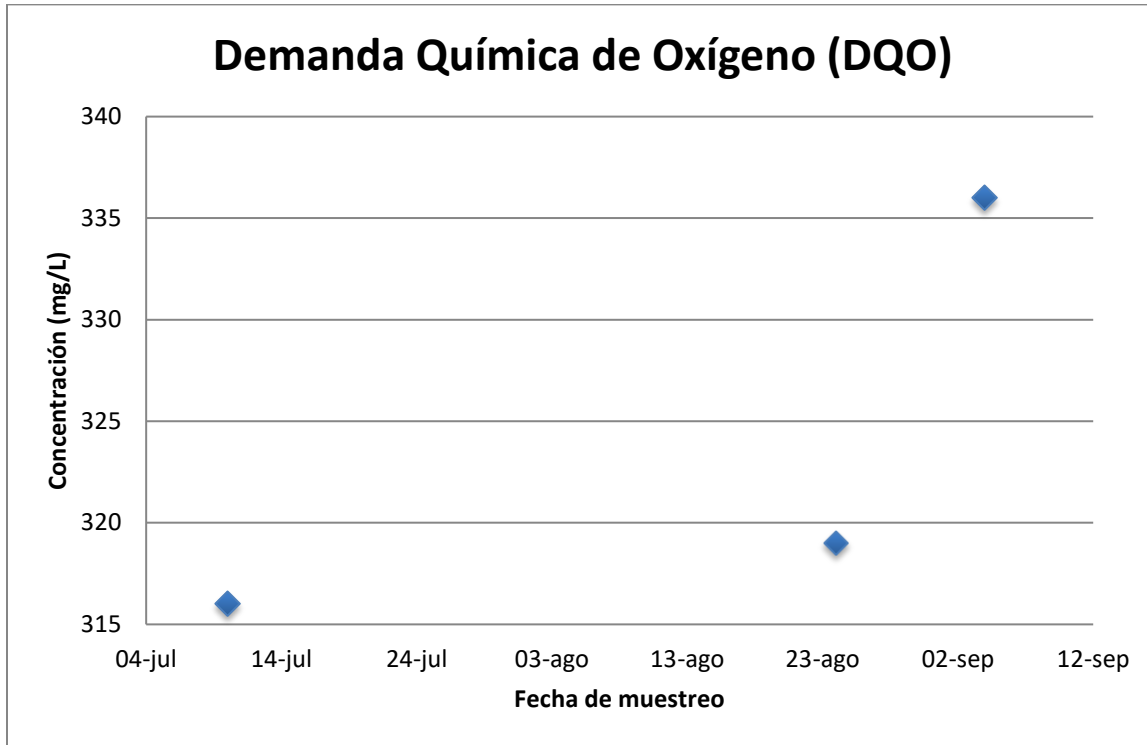
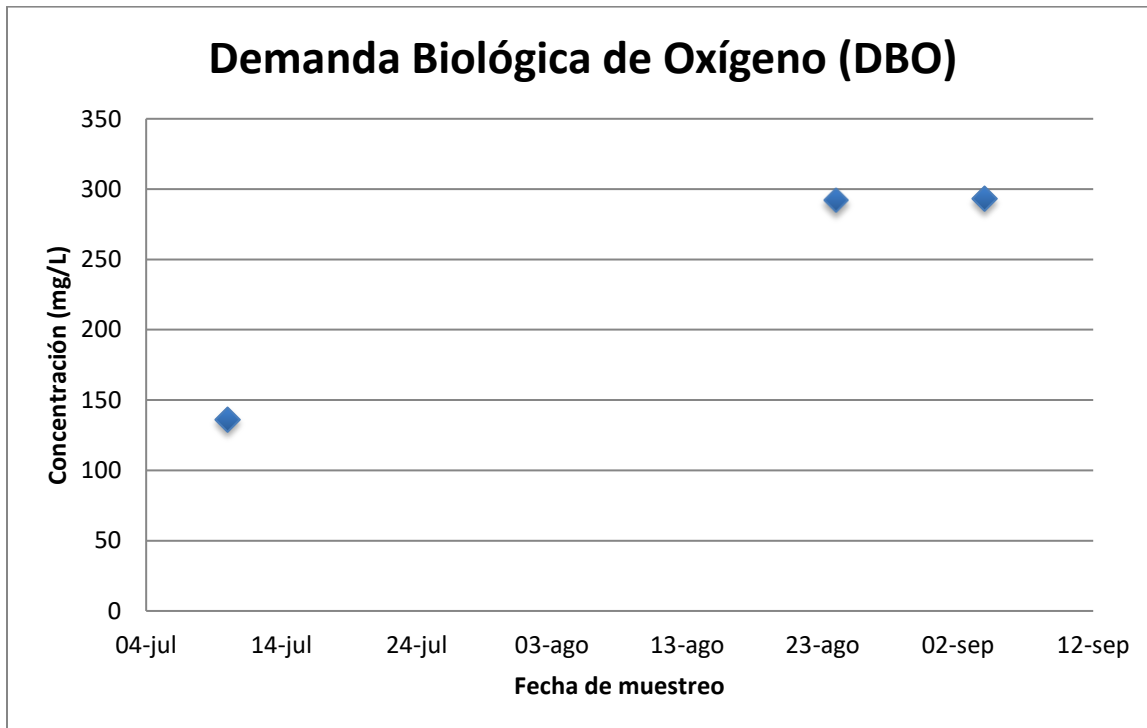


Figura 60. Demanda biológica de oxígeno de las muestras de agua recolectadas



B. Módulo 2: Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica de un complejo comercial y residencial

Cuadro 36. Comparación del caudal actual y el caudal proyectado a 15 años con una tasa de crecimiento poblacional de 5% anual.

	Actual (m³/d)	Proyectado (m³/d)	Porcentaje de crecimiento (%)
Caudal de entrada	152.31	452.64	197%
Caudal de diseño	360	460	27.78%

NOTA: los valores de caudal son estimaciones calculadas a partir de datos habituales de generación de agua residual doméstica.

Cuadro 37. Porcentaje de reducción de la DBO₅ en el tanque de aireación durante el proceso de aireación extendida.

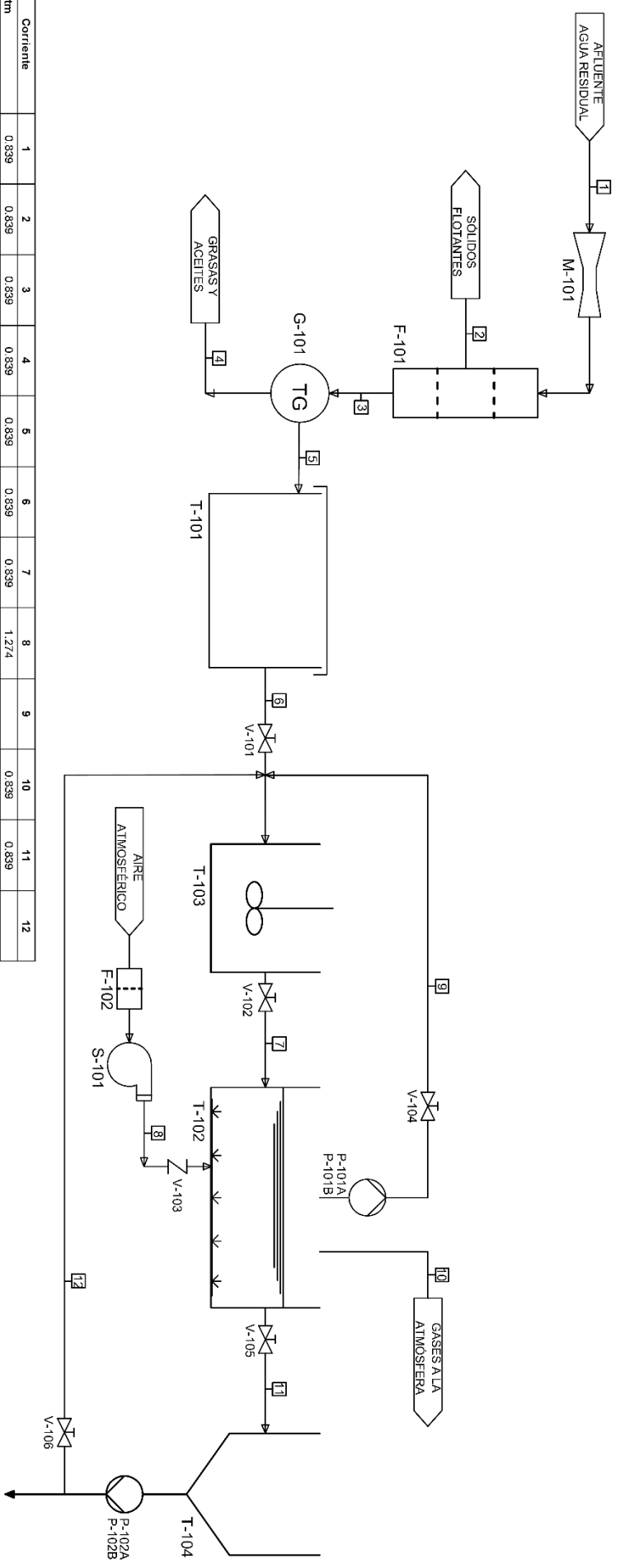
Punto de medición	DQO (mg/L)	DBO₅ (mg/L)	Relación DBO₅/DQO	Porcentaje de reducción de la DBO₅
Entrada	234.22±0.22	231.56±0.46	0.99	47%
Salida	149.00±0.19	122.80±0.24	0.82	

NOTA: los valores de DQO y DBO₅ son promedios aritméticos de los resultados de una prueba realizada en triplicado.

Cuadro 38. Tiempos de retención hidráulica en cada equipo diseñado para las etapas de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.

Equipo	Tiempo de retención (h)
Canal Parshall	0
Canal de rejillas	0
Trampa de grasas y aceites	0.05
Tanque homogeneizador	0
Tanque de aireación	8
Tiempo de retención total	8.05

- M-101 Medidor de caudal Parshall
- F-101 Canal de rejillas de barrotes
- G-101 Tampa de grasas y aceites
- T-101 Tanque de homogeneización
- T-102 Tanque de aireación
- F-102 Filtro de aire
- S-101 Soplador de lodos de desplazamiento positivo
- P-101A/B Bomba de recirculación
- T-103 Tanque anoxico
- T-104 Tanque de sedimentación secundaria
- P-102A/B Bomba de recirculación de lodos activados



Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P. atm	0.839	0.839	0.839	0.839	0.839	0.839	0.839	1.2/4	24.60	0.839	0.839	
T. °C	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	24.60	56.87	24.60	24.60	24.60	24.60
pH	7	-	7	-	7	7	7	-	-	-	7	
Flujo volumétrico, m ³ /h	19.17	-	19.17	-	19.17	19.17	69.00	1613.96	38.33	1613.78	30.75	11.50
Concentración (mg/L)												

DBO	DBO	Grasas y aceites	Nitrogeno	Fosforo	Flujo másico, kg/h	DBO	DBO	Grasas y aceites	Nitrogeno	Fosforo	Microorganismos
903.00	903.00	-	-	-	17.31	903.00	903.00	-	-	-	-
611.00	611.00	34.00	72.00	8.40	11.71	611.00	611.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-	-	-	-	-	0.65	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	1.38	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0.16	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-

PROPIETARIO: MARIA BELEN BONIFAZ OGARRIO
 FECHA: 15/10/2017

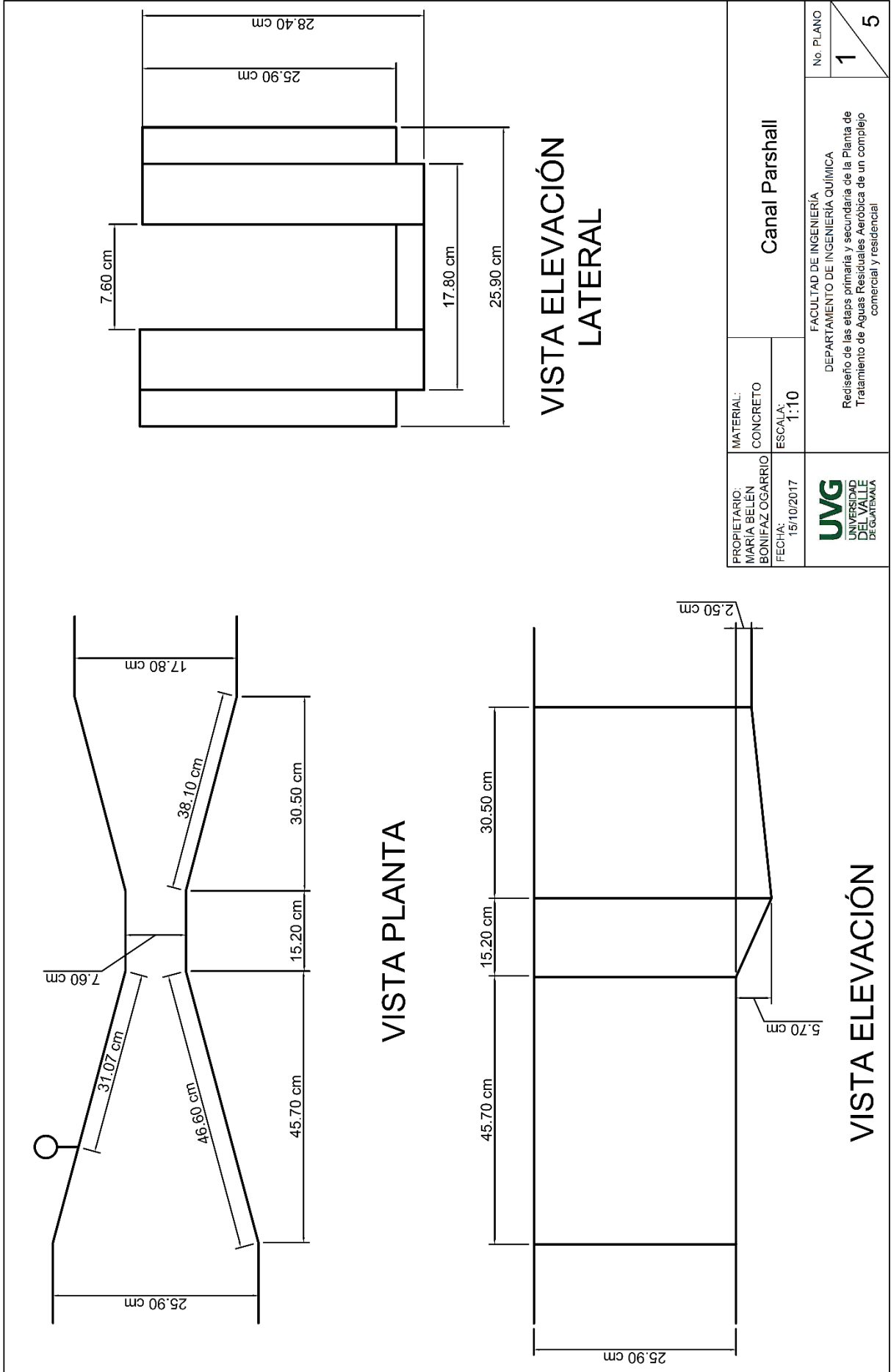
Diagrama de Flujo de las etapas de pretatamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario

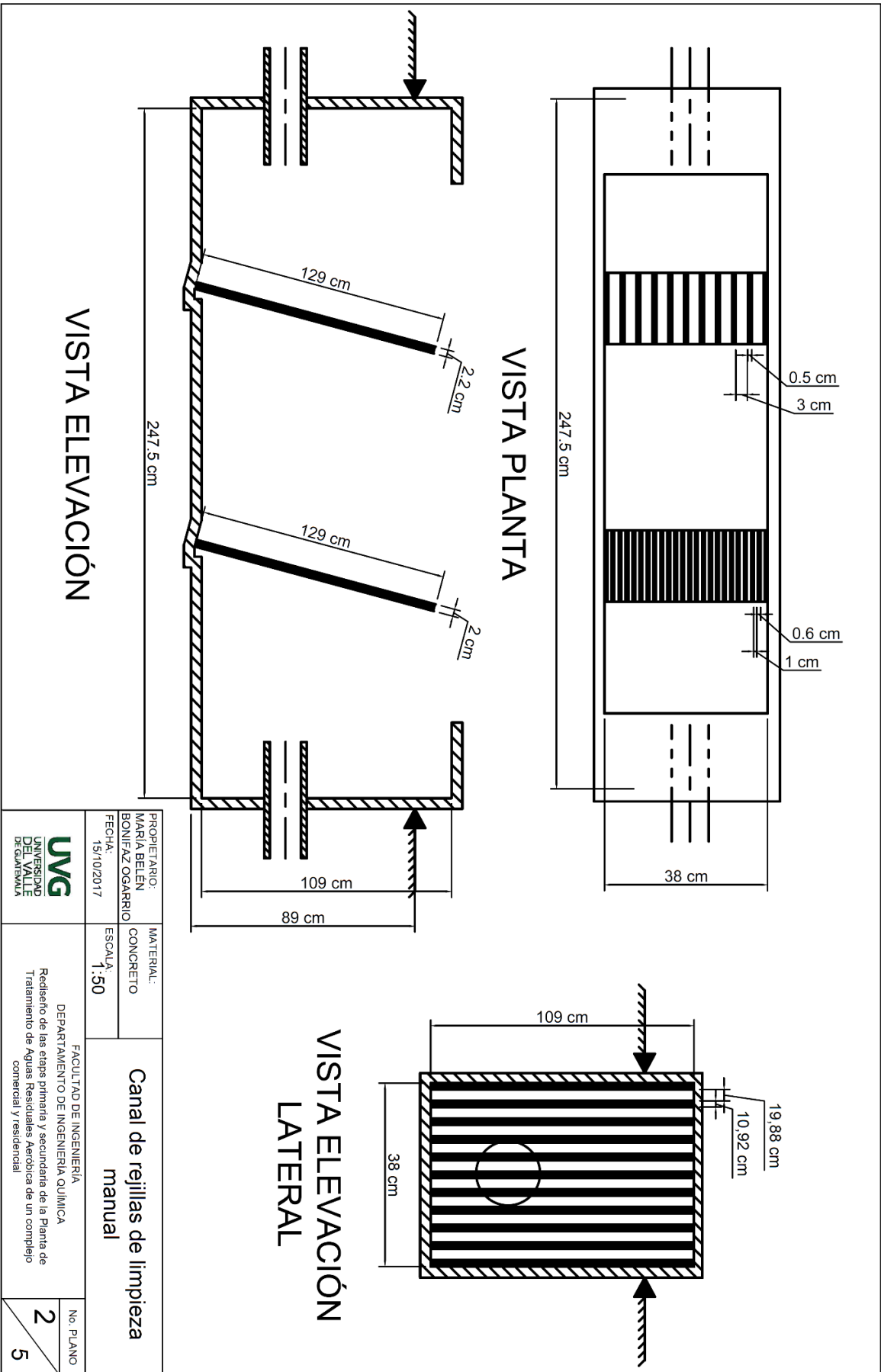
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

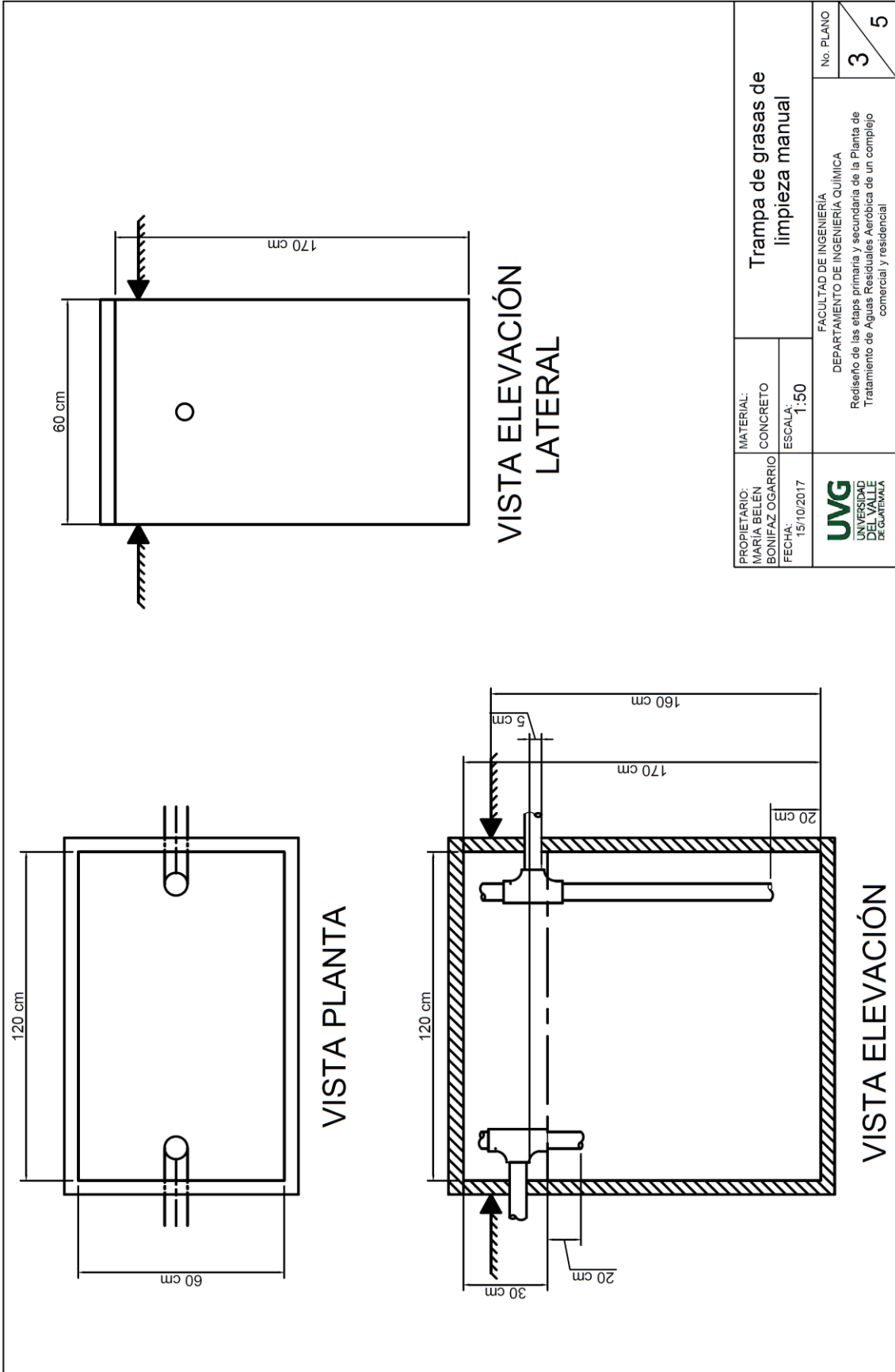
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA

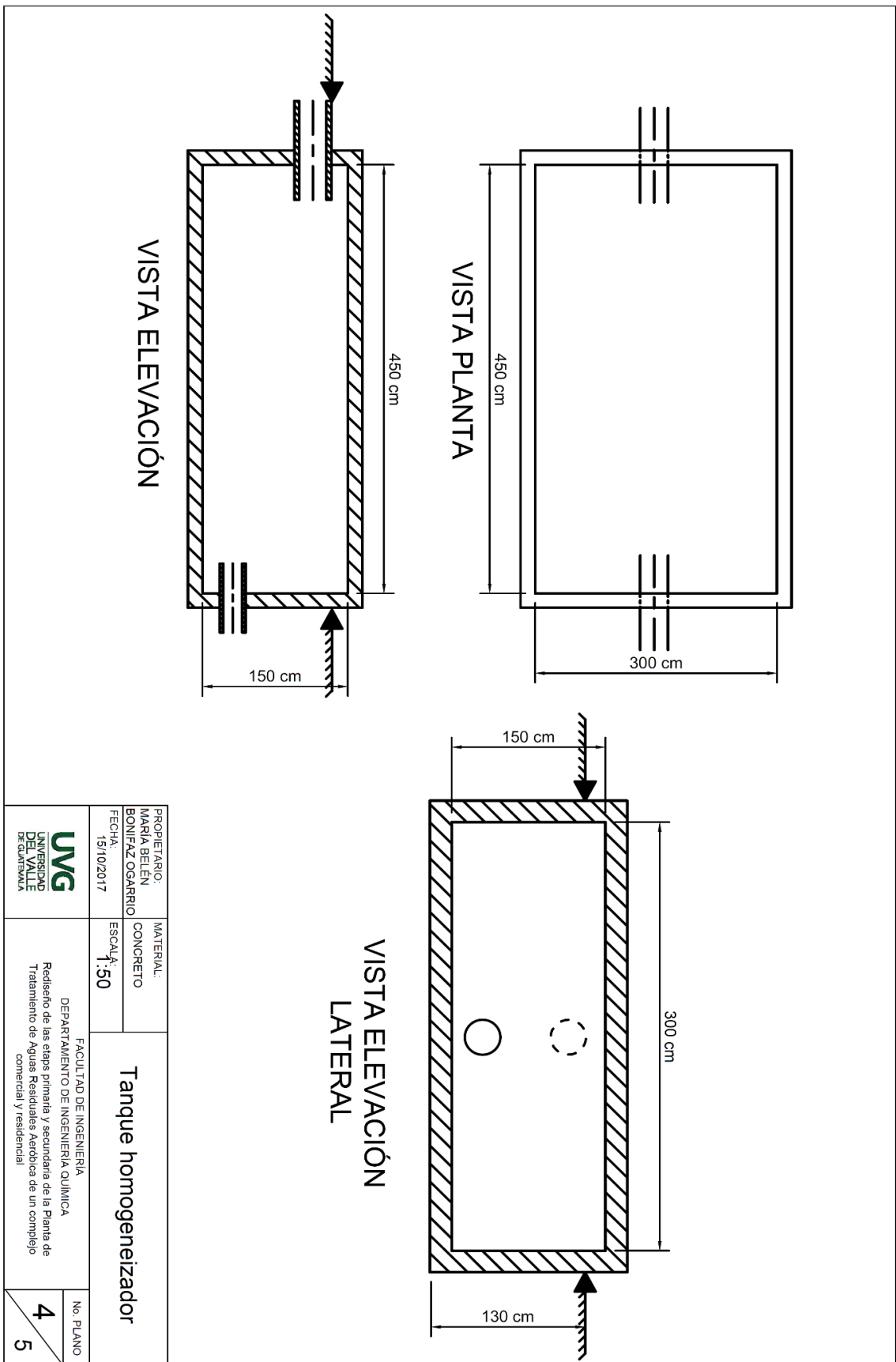
Residuo de las etapas primaria y secundaria de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aeróbica de un complejo comercial y residencial

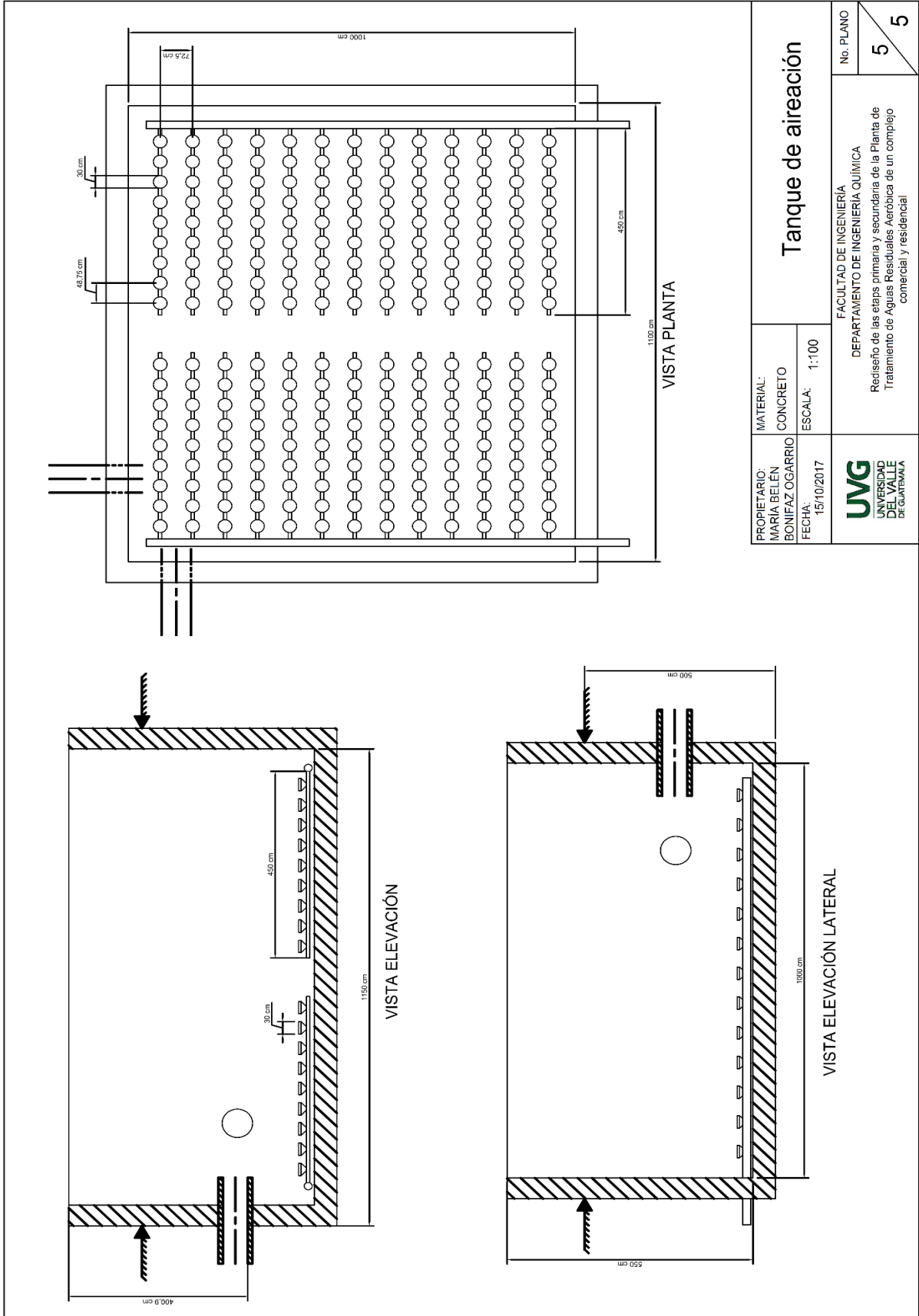
No. DIAGRAMA: 1







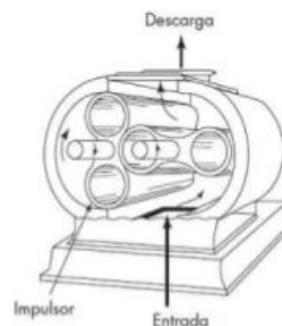




Tanque de aireación		MATERIAL: CONCRETO	No. PLANO 5
		ESCALA: 1:100	
PROPIETARIO: MARIA BELÉN BONIFAZ OGARRIO	MATERIAL: CONCRETO	ESCALA: 1:100	FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aeróbica de un complejo comercial y residencial
FECHA: 15/10/2017	UNIVERSIDAD UVG DEL VALLE DE GUATEMALA	No. PLANO 5	

Cuadro 39. Especificaciones técnicas del soplador necesario para la cumplir con el requerimiento de oxígeno en el tanque de aireación.

Característica	Unidad	Valor
Potencia	kW	14.91 (20 hp)
Flujo volumétrico de aire	m ³ /h	944.65
Temperatura máxima de operación	°C	40
Presión máxima de operación	atm	5.58
Unidades necesarias		2



NOTA: Se calculó para un flujo requerido de aire de 30.04 m³/min.

Cuadro 40. Especificaciones técnicas de los difusores de membrana y tuberías utilizados para el sistema de aireación del tanque aireador.

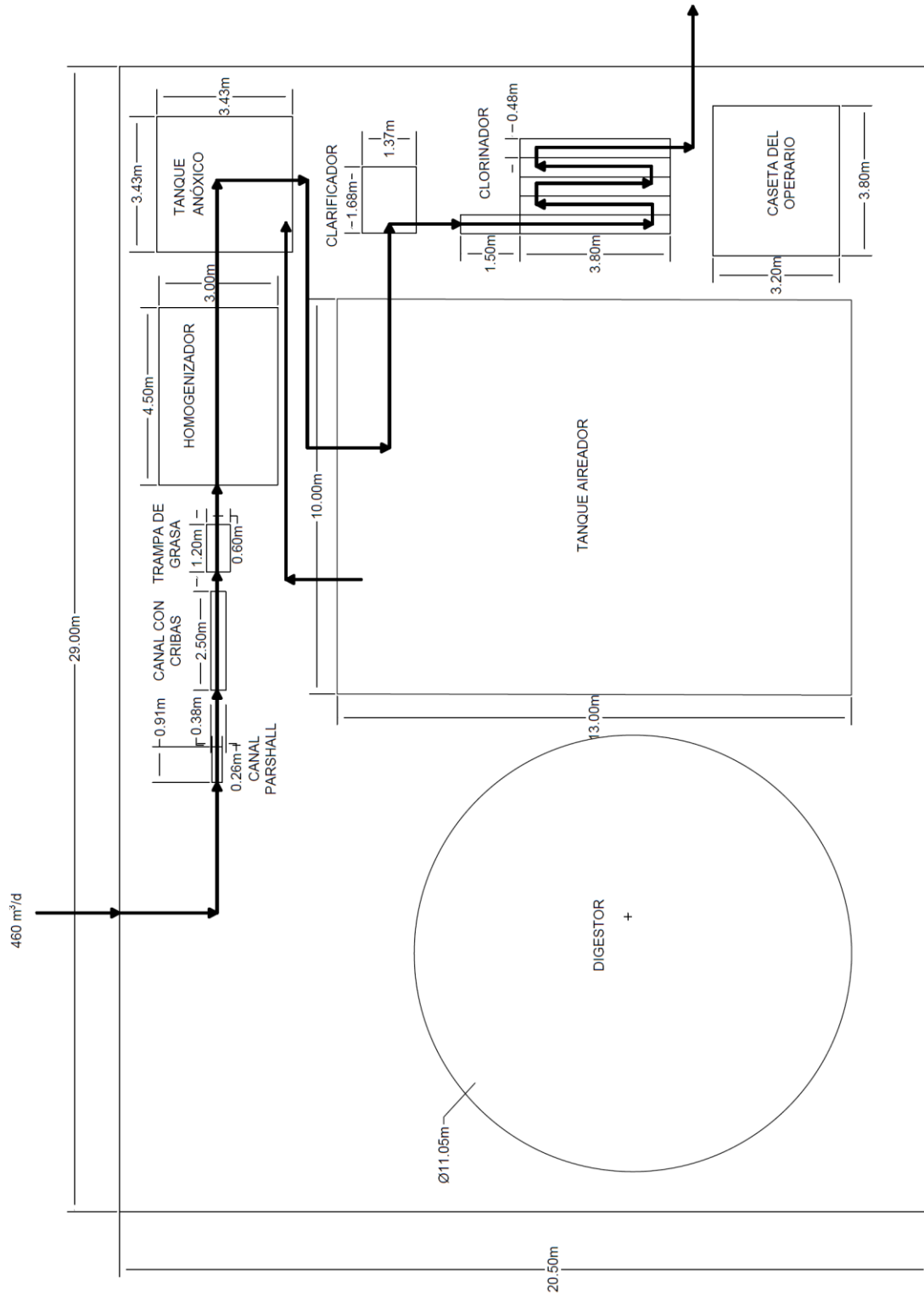
Característica	Unidad	Valor
Diámetro de los difusores	mm	310
Caudal de aire por difusor	Nm ³ /h	8
Pérdidas de carga	atm	0.07
Diámetro de tuberías principales (PVC)	mm	180 (7 in)
Diámetro de las tuberías que distribuyen a los difusores	mm	75 (3 in)
Cantidad de aireadores necesarios		234



Cuadro 41. Características del efluente del tanque de aireación, luego de un proceso de crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno de tipo Ludzack-Ettinger Modificado (MLE).

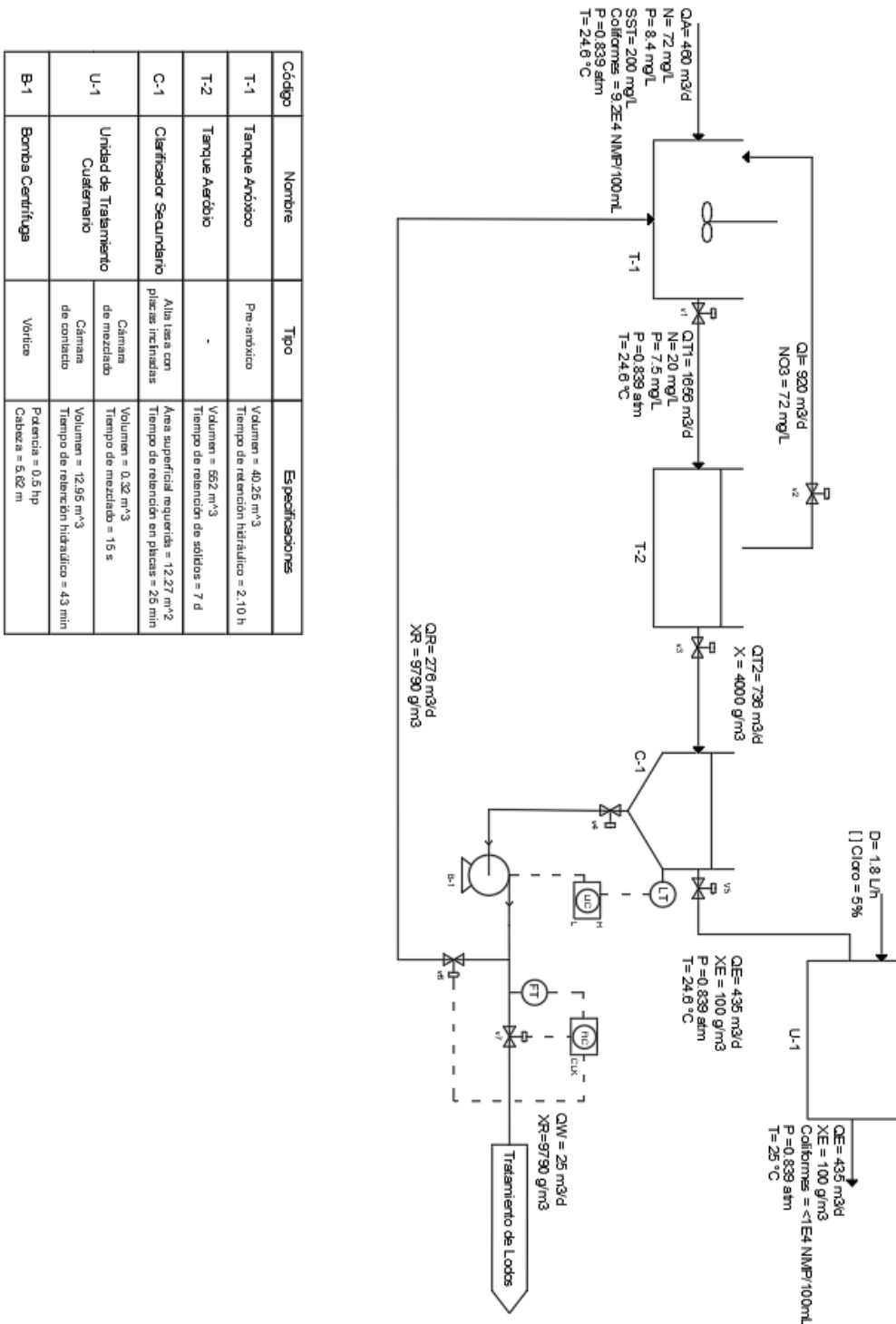
Parámetro	Concentración (mg/L)	Remoción (%)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	62.86	89.71
Demanda química de oxígeno (DQO)	93.03	89.70
Nitrógeno total	0.50	0.99

Figura 61. Esquema de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales del complejo comercial y residencial rediseñada con una proyección a 15 años.



C. Módulo 3: Rediseño de tratamientos terciario y cuaternario de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial

Figura 62. Diagrama de flujo de tratamientos teriario y cuaternario



Cuadro 42. Parámetros del diseño del tanque pre-anóxico para la remoción de nitrógeno en la planta de tratamiento aeróbico

Parámetro	Valor	Unidades
Tasa de recirculación interna (IR)*	200	%
Tasa de recirculación de lodos activados (RAS)*	60**	%
Tasa específica de desnitrificación	0.46	g NO ₃ -N/g biomasa-d
Tiempo de retención hidráulico	2.10	h

*Respecto al caudal de diseño que es 460 m³

**Valor teórico

Cuadro 43. Dimensiones del tanque pre-anóxico para la remoción de nitrógeno en la planta de tratamiento aeróbica

Parámetro	Valor	Unidades
Volumen	40.25	m ³
Largo	3.43	m
Ancho	3.43	m
Alto	3.43	m

Cuadro 44. Concentración de fósforo removido por microorganismos heterótrofos y concentración de fosforo en el efluente

Parámetro	Valor	Unidades
Fosforo removido	1.15	mg/L P
Fosforo en el afluente	7.25	mg/L P

Cuadro 45. Parámetros del rediseño del clarificador secundario de tipo alta tasa con placas inclinadas

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal total de entrada	736	m ³ /d
Carga superficial de sedimentación	60	m ³ /m ² d
Tasa de carga de sólidos	240	kg MLSS/m ² d
Velocidad crítica de sedimentación	0.06	mm/s
Velocidad de sedimentación de la partícula	0.24	mm/s
Tiempo de retención en las placas	24.93	min

*Valor teórico escogido a partir de los siguientes rangos: 60-180 m³/m².d según el tipo de clarificador (Rincón et al, 2014) y 40-64 m³/m²d según el tratamiento previo (Metcalf & Eddy, 2003)

Cuadro 46. Dimensiones del clarificador secundario de tipo alta tasa con placas inclinadas

Parámetro	Valor	Unidades
Área superficial de sedimentación requerida	12.27	m ²
Área superficial de sedimentación*	12.96	m ²
Largo de placas	1.20	m
Inclinación de las placas con respecto a la horizontal*	55	°
Largo*	1.68	m
Ancho*	1.37	m
Alto*	2.31	m

*Datos obtenidos a partir de proveedor

Cuadro 47. Materiales de construcción del clarificador secundario de tipo alta tasa con placas inclinadas

Parámetro	Tipo
Material de las placas inclinadas*	Polipropileno
Material del clarificador secundario*	Acero al carbono

*Datos obtenidos a partir de proveedor

Cuadro 48. Parámetros del rediseño de la cámara de contacto para realizar la desinfección en la planta de tratamiento aeróbico

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal total de entrada	435	m ³ /d
Tiempo de retención hidráulico	43	min

Cuadro 49. Dimensiones de la cámara de contacto para realizar la desinfección en la planta de tratamiento aeróbico

Parámetro	Valor	Unidades
Volumen	12.95	m ³
Número de canales	5	-
Largo	3.80	m
Ancho	0.48	m
Alto	1.43	m

Cuadro 50. Datos del rediseño de la cámara de mezclado para realizar la desinfección

Parámetro	Valor	Unidades
Tiempo de mezclado	15	s
Volumen	0.32	m ³

Cuadro 51. Requerimientos para realizar la desinfección de las aguas residuales a partir de hipoclorito de sodio

Parámetro	Valor	Unidades
Dosis de cloro requerido	5	g/m ³
Concentración de cloro activo en la solución	5	% p/v
Calibración del dosificador	1.81	L/h

* Valor teórico

Cuadro 52. Posicionamiento en el tanque y dimensiones de la turbina de cuchillas y de discos para el tratamiento anóxico y de desinfección, respectivamente

Parámetro	Tipo de turbina	
	Cuchillas (m)	Discos (m)
E	1.14	0.27
j	0.29	0.07
Da	1.14	0.27
W	0.23	0.05
L	0.29	0.07

Cuadro 53. Especificaciones adicionales para la turbina de cuchillas y de discos del tanque anóxico y cámara de mezclado, respectivamente

Parámetro	Tipo de turbina		Unidades
	Cuchillas	Discos	
Número de palas	6	6	-
Inclinación de palas	45	-	°
Material	Acero al carbono	Acero al carbono	-
Potencia del motor	0.56 (0.75)	0.38 (½)	kW (hp)

Cuadro 54. Datos de la bomba para la recirculación y purgado de lodos activados

Parámetro	Tipo / Valor
Tipo de bomba	Centrífuga de vórtice
Potencia	0.38 kW (½ hp)
Carga Total	5.62 m

D. Módulo 4: Rediseño de tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial

Cuadro 55. Comparación entre el caudal de diseño de la planta anaerobia actual de tratamiento de aguas residuales con el caudal de rediseño de la planta proyectado a 15 años con una tasa de crecimiento anual del 5%.

Descripción	Valor	Unidades
Caudal de diseño original	110	m ³ /d
Caudal de rediseño	230	m ³ /d
Porcentaje de crecimiento	209.10	%

Cuadro 56. Dimensiones de la trampa de grasas propuesta para colocar en el canal de entrada de la planta de tratamiento anaerobia.

Descripción	Valor	Unidades
Ancho	1.00	min
Largo	1.00	m
Profundidad	0.50	m
Volumen acumulado	0.50	m ³
Tiempo de residencia hidráulica	3.13	m

Cuadro 57. Parámetros de diseño de cada uno de los sistemas de rejillas de limpieza manual a ser instalados en el canal de entrada de la planta de tratamiento anaerobia.

Descripción	Sistema 1	Sistema 2	Unidades
Área del canal de entrada	0.85	2.40	m ²
Ancho de la caja de rejillas	1.10	1.50	m
Largo de barrotes	0.77	1.60	m
Número de barrotes	19	37	-
Distancia entre barrotes	0.025	0.025	m
Ancho de barrotes	0.015	0.015	m

Cuadro 58. Dimensiones de la canaleta tipo Parshall a instalar en el canal de entrada de la planta anaerobia de tratamiento de aguas residuales.

Descripción	Medida (m)
W	0.076
A	0.466
B	0.457
C	0.178
D	0.259
E	0.381
F	0.152
G	0.305
K	0.025
N	0.057

Cuadro 59. Comparación de las dimensiones y parámetros de operación de dos tipos de tanques de sedimentación primaria para la planta anaerobia de tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial.

Descripción	Tanque circular	Tanque rectangular	Unidades
Área superficial	5.75	5.75	m ²
Diámetro	2.70	-	m
Largo	-	2.88	m
Ancho	-	1.00	m
Profundidad	4.00	1.00	m
Volumen	23.00	12.00	m ³
Tiempo de retención	2.40	1.25	h
Remoción DBO	36.36	29.09	%
Remoción SST	58.39	50.03	%

Cuadro 60. Velocidad lineal y de arrastre de las partículas en el tanque sedimentador primario.

Descripción	Valor	Unidades
Velocidad lineal	4.63 x10 ⁻⁴	m/s
Velocidad de arrastre	0.06	m/s

Cuadro 61. Dimensiones y características del filtro anaerobio de flujo ascendente de la planta de tratamiento de aguas residuales anaerobia del complejo comercial y residencial.

Descripción	Valor	Unidades
Volumen total	19.17	m ³
Volumen ocupado por medio filtrante	9.58	m ³
Diámetro	2.85	m ²
Profundidad	3.00	m
Altura del medio filtrante	1.00	m
Altura arriba del medio filtrante	1.5	m
Altura debajo del medio filtrante	0.5	m
Tiempo de residencia	4.00	h
Eficiencia	56.50	%

Cuadro 62. Características del afluente de agua que abandona el tratamiento biológico de los filtros anaerobios.

Descripción	Valor	Unidades
Carga orgánica del efluente	4.67	kg DBO/m ³
Carga orgánica del agua en el medio filtrante	14.00	kg DBO/m ³
DBO _{afuente}	169.14	mg DBO/L
SST _{afuente}	36.20	mg SST/L

Cuadro 63. Subproductos generados en el tratamiento biológico con filtros anaerobios de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Descripción	Valor	Unidades
Volumen gas (CO ₂ , CH ₄ , H ₂ S, otros)	53.13	m ³ /d
Volumen metano	34.54	m ³ /d
Energía contenida en el metano	314.33	kWh
Lodos estabilizados	3.84	m ³ /d
Tiempo de retención (STR)	21	d

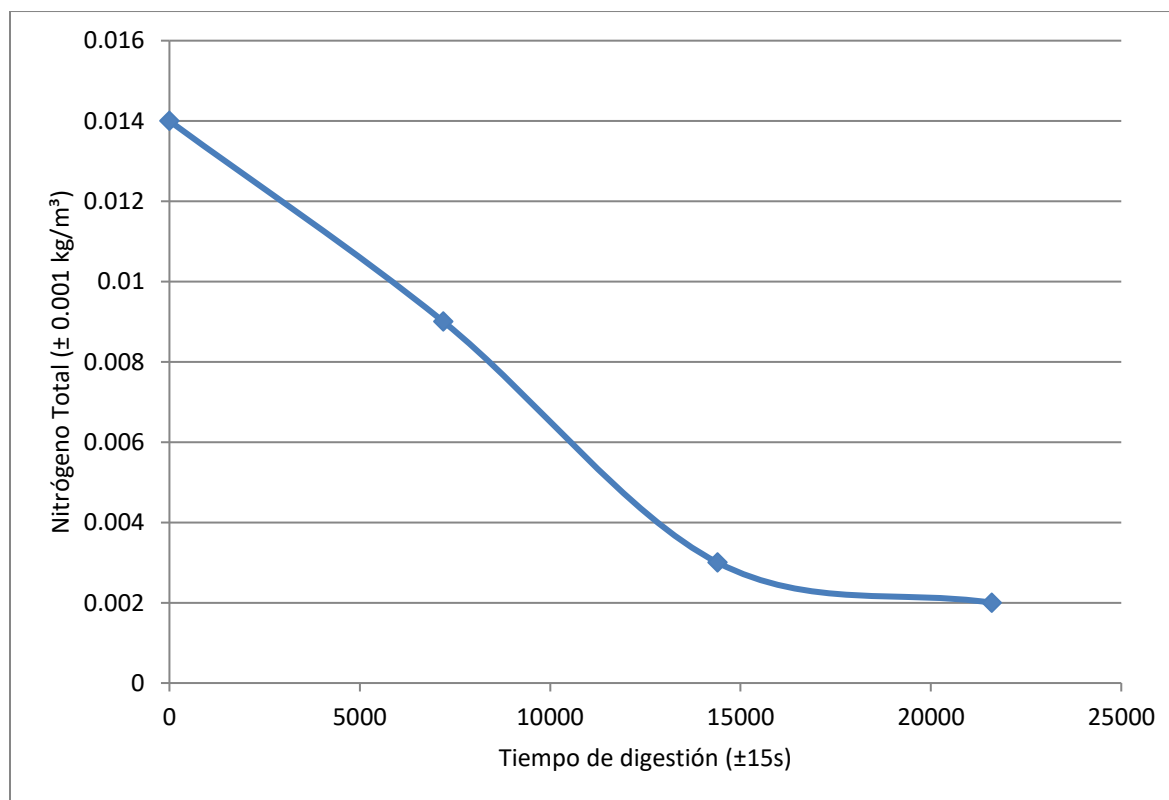
E. Módulo 5: Rediseño del tratamiento terciario y desinfección de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial

1. Porcentaje de remoción de bacterias Bioremove 5100

Cuadro 64. Porcentaje de remoción de sustrato (nitrógeno total) monitoreado durante 6 horas

Tiempo de reacción (±15 s)	Ciclo Nitrógeno Total	
	Concentración sustrato (± 0.001 kg/m ³)	% remoción N
0	0.014	0 ± 0.1235%
7,200	0.009	35.7143 ± 0.1039%
14,400	0.003	78.5714 ± 0.1153%
21,600	0.002	85.7143 ± 0.1179%

Figura 63. Primera aproximación de la expresión cinética de la remoción del Nitrógeno Total con Bacterias BioRemove 5100 marca Novozymes®



Cuadro 65. Cumplimiento del parámetro máximo permisible de nitrógeno total establecido en el artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 "Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos" según porcentaje de remoción de diseño.

Parámetro	Valor de caracterización de afluente	Porcentaje de remoción	Valor teórico de efluente	Límite máximo permisible	Cumplimiento de límite máximo permisible
Nitrógeno Total	0.072 kg/m ³ N	78.5714 ± 0.1153%	0.0154286 ± 0.8314 kg/m ³ N	0.020 kg/m ³ N	Sí

2. Propuesta y dimensiones de los equipos de la etapa terciaria

Cuadro 66. Resumen de equipos y accesorios propuestos para la etapa terciaria

Cantidad	Equipo propuesto	Capacidad
1	Bomba dosificadora de dilución	1.05 × 10 ⁻⁶ m ³ /s (24 gal/día)
2	Tanques agitados verticales (Biorreactores)	22 m ³
2	Motores de agitadores verticales de turbina de 6 palas	745.7 W(1 hp)
1	Bomba centrífuga	559.27 W(3/4 hp)
5	Válvulas de compuerta de PVC	0.1016 m (diámetro)(4 in)
2	Flotadores	5 m altura máximo
2	Estructuras de soporte para agitadores de acero al carbón	No aplica
3.55 m	Tubería PVC	0.1016 m (diámetro) (4 in)
2	Motorreductores	186 – 223710 W (¼ - 300 hp)

Cuadro 67. Especificaciones técnicas de bomba dosificadora para la dosificación de las bacterias BioRemove
5100

Equipo	Características técnicas	Dosificación necesaria de bacterias en medio acuoso
Bomba dosificadora	$1.05 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ máxima dosificación(24 gal/día) Anticorrosiva 110 VAC 50/60 Hz 20 Watt 0.8 A Ajuste de frecuencia (10 – 100%) Ajuste de amplitud de succión (0-100%)	$5.775 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$ (0.1320 gal/día)

Cuadro 68. Medidas de 2 tanques agitados cilíndricos verticales de polietileno (Biorreactores) propuestos para la etapa terciaria

Parte del Bioreactor	Medidas	Unidades
Volumen del bioreactor	22	m ³
Diámetro del bioreactor (D_t)	3	m
Altura del bioreactor con tapa	3.52	m
Altura del fluido (H)	3.17	m

Cuadro 69. Medidas de 2 agitadores verticales de turbina de 6 palas propuestos para los biorreactores de la etapa terciaria

Característica del agitador	Medidas	Unidades
Velocidad	0.6 (36)	rev/s (rpm)
Diámetro de la turbina (D_a)	1	m
Altura del fondo a turbina (E)	1	m
Altura de palas (W)	0.2	m
Ancho de palas (L)	0.25	m

Cuadro 70. Características de 2 motores de agitadores propuestos para los bioreactores de la etapa terciaria

Características técnicas	
Potencia de motores	745.7 W(1 hp)
Eficiencia de motores	70%
RPM	1750
Voltaje	220 V
Amperaje	2.7 A
Conexión eléctrica	Trifásica
Frecuencia	60 Hz

*Nota: se deben de agregar 2 motorreductores para disminuir las revoluciones del motor hasta la velocidad necesaria de 36 rpm.

Cuadro 71. Características técnicas de 1 bomba centrífuga propuesta para los bioreactores de la etapa terciaria

Características técnicas	
Potencia de bomba	559.27 W(3/4 hp)
Eficiencia	65%
RPM	1750
Caudal	0.002662 m ³ /s
Cabeza de succión máxima	6 m
Diámetro de succión	0.038 m
Cabeza de descarga máxima	8 m
Diámetro de descarga	0.025 m
Diámetro de impulsor	0.242 m
Voltaje	220 V
Amperaje	3.8 A
Conexión eléctrica	Trifásica
Temperatura máxima de fluido	Hasta más de 353.15 K
Temperatura ambiente	Hasta más de 313.15 K
Presión máxima	275,790 Pa
Frecuencia	60 Hz

3. Propuesta y dimensiones de los equipos de la etapa de desinfección

Cuadro 72. Resumen de equipos propuestos para la etapa de desinfección

Cantidad	Equipo propuesto	Capacidad
1	Bomba dosificadora de solución de cloro	$1.05 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (24 gal/día)
1	Tanque agitado vertical	5 m ³
1	Motor de agitador vertical de turbina de 6 palas	1,118.55 W(1.5 hp)
1	Válvula de compuerta de PVC	0.1016 m (diámetro) (4 in)
0.3 m	Tubería de PVC	0.1016 m (diámetro) (4 in)
1	Flotador	No aplica
1	Estructura de soporte de motor de agitador en acero al carbón	No aplica
1	Motorreductor	186 – 223710 W (¼ - 300 hp)

Cuadro 73. Especificaciones técnicas de bomba dosificadora para la dosificación de solución de hipoclorito de calcio

Equipo	Características técnicas	Dosificación necesaria de solución de hipoclorito de calcio
Bomba dosificadora	$1.05 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ máxima dosificación (24 gal/día)	$1.386 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ (3.1692 gal/día)
	Anticorrosiva	
	110 VAC	
	50/60 Hz	
	20 Watt	
	0.8 A	
	Ajuste de frecuencia (10 – 100%)	
	Ajuste de amplitud de succión (0-100%)	

Cuadro 74. Medidas de 1 tanque agitado cilíndrico vertical de polietileno propuesto para la etapa de desinfección

Parte del tanque agitado	Medidas	Unidades
Volumen del tanque	5	m ³
Diámetro del tanque (D_t)	2.38	m
Altura del tanque con tapa	1.33	m
Altura del fluido (H)	0.80	m

Cuadro 75. Medidas de 1 agitador vertical de turbina de 6 palas propuesto para el tanque agitado de la etapa de desinfección

Característica del agitador	Medidas	Unidades
Velocidad	1 (60)	rev/s (rpm)
Diámetro de la turbina (D_a)	0.80	m
Altura del fondo a turbina (E)	0.80	m
Altura de palas (W)	0.16	m
Ancho de palas (L)	0.20	m

Cuadro 76. Características técnicas de 1 motor de agitador propuesto para el tanque agitado de la etapa de desinfección

Características técnicas	
Potencia de motor	1,118.55 W(1.5 hp)
Eficiencia de motor	70%
RPM	1750
Voltaje	220 V
Amperaje	2.9 A
Conexión eléctrica	Trifásica
Frecuencia	60 Hz

*Nota: se deben de colocar un motorreductor para disminuir las revoluciones del motor hasta la velocidad necesaria de 60 rpm.

Cuadro 77. Cumplimiento de límites máximos permisibles de coliformes fecales con diseño propuesto de la etapa de desinfección

Parámetros	Valor afluente	% remoción teórico	Valor efluente teórico	Límite máximo permisible	Cumplimiento de límites
Coliformes fecales	92×10^7 NMP/m ³	99%	$92 \times$ 10^5 NMP/m ³	$< 1 \times 10^7$ NMP/m ³	Sí

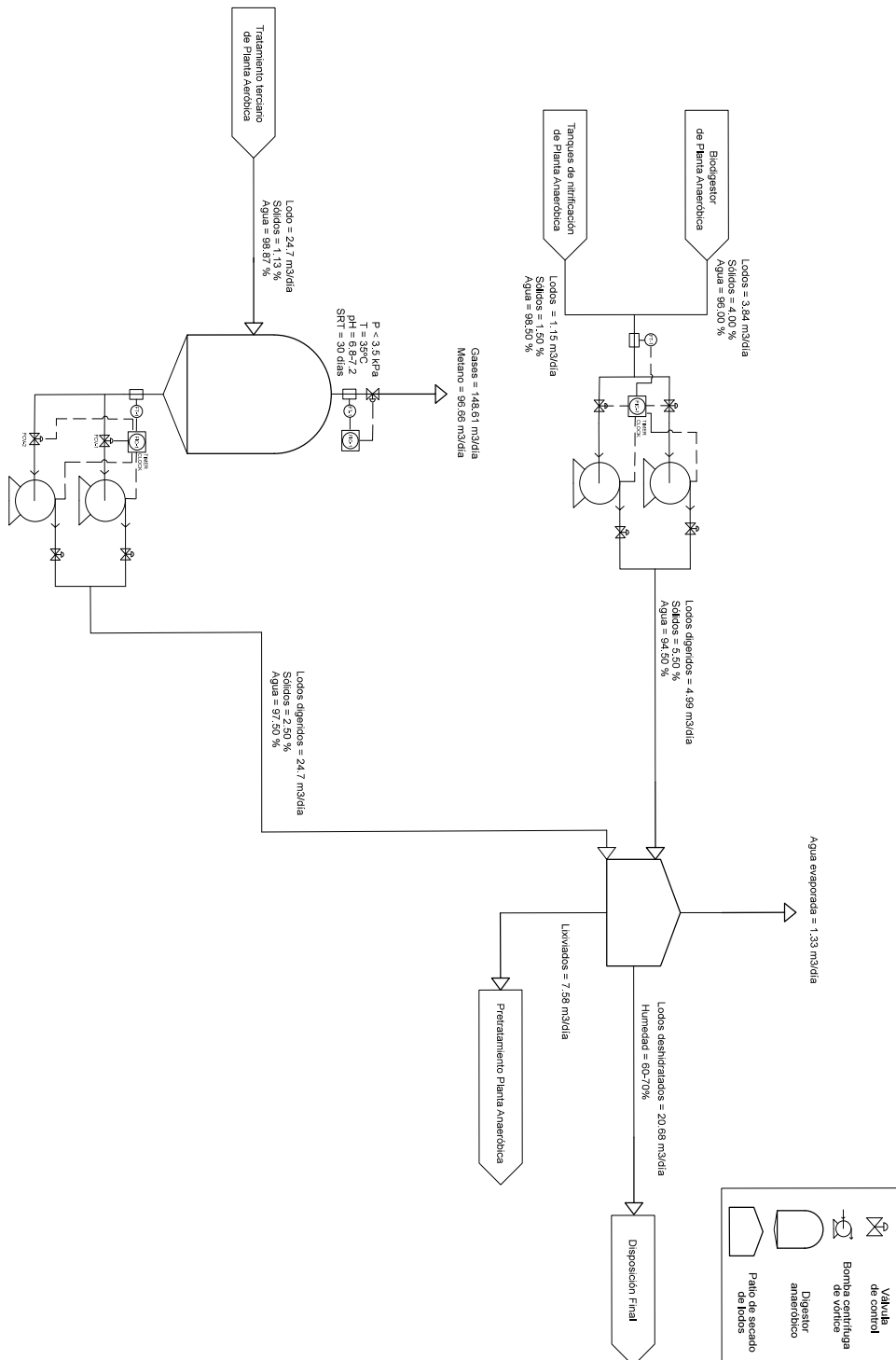
4. Porcentajes de remoción teóricos finales de parámetros

Cuadro 78. Cumplimiento de límites máximos permisibles para agua de reuso tipo V: reuso recreativo

Parámetros	Valor afluente	% remoción teórico	Valor efluente teórico	Límites máximos permisibles	Cumplimiento de límites
Coliformes fecales	92×10^7 NMP/m ³	99%	92×10^5 NMP/m ³	$< 1 \times$ 10^6 NMP/m ³	No
Demanda Bioquímica de oxígeno	0.611kg/m ³	28%	0.169 kg/m ³	0.2 kg/m ³	Sí

F. Módulo 6: Rediseño del tratamiento de lodos y patio de secado de las plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica de un complejo comercial y residencia

Figura 64. Diagrama de flujo del tratamiento de lodos



Cuadro 79. Dimensiones y parámetros de diseño del digestor anaeróbico de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica

Dimensiones	Digestor de una fase	Digestor convencional
Volumen	345.80 m ³	741.00 m ³
Diámetro	8.57 m	11.05 m
Alto	5.99 m	7.73 m
Alto del fondo cónico	1.43 m	1.84 m
Tiempo de retención de sólidos	14 días	30 días
Porcentaje de estabilización	87.30%	88.64 %
Gas metano producido	95.13 m ³ /día	96.66 m ³ /día
Energía producida	590 kWh/día	600 kWh/día

Cuadro 80. Dosificación de cal específica para la cantidad de lodos generados diariamente

Volumen de lodo seco	Masa de sólido seco	Dosis de cal
0.617 m ³	621 kg	186 kg

Cuadro 81. Dimensiones y parámetros de diseño del patio de secado de las plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica

Dimensiones	Total de patios	Patios individuales
Área	330.00 m ²	33.00 m ²
Volumen	297.00 m ³	29.70 m ³
Ancho	15.00 m	4.40 m
Alto	0.90 m	0.90 m
Largo	22.00 m	7.50 m
Tiempo de retención de lodos	10 días	10 días

Cuadro 82. Diseño del método de extracción para la evacuación de lodos de la planta aeróbica y anaeróbica

Tipo de planta	Tipo de bomba	Potencia	Diámetro nominal de tubería de succión	Diámetro nominal de tubería de descarga
Aeróbica	Centrífuga de vórtice	2.24 kW (3 hp)	0.10 m (4 in)	0.07 m (3 in)
Anaeróbica	Centrífuga de vórtice	0.75 kW (1 hp)	0.05 m (2 in)	0.04 m (1.5 in)

Cuadro 83. Comparación de la concentración de metales pesados en los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica actual con parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

Metal	Unidades	Valor muestreado de la PTAR	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	mg/kg de materia seca	5.2492	50	100	> 100
Cadmio	mg/kg de materia seca	0.0535	50	100	> 100
Cromo	mg/kg de materia seca	2.7685	1500	3000	> 3000
Mercurio	mg/kg de materia seca	< 0.0389	25	50	> 50
Plomo	mg/kg de materia seca	6.3075	500	1000	> 1000

Cuadro 84. Comparaciones de niveles de macronutrientes de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica actual con el porcentaje de nutrientes ideal y valores típicos de lodos estabilizados

Nutriente	PTAR	Lodos estabilizados (Metcalf & Eddy, 2003)	Concentración ideal en varias especies de planta (Mosaic Company, 2016)
N	5.36 %	3.30 %	2.50 – 4.50 %
P	1.70 %	2.3 %	0.20 – 1.75 %
K	ND ⁵	0.3 %	1.50 – 5.50 %
Ca	2.58 %	-	1.00 – 4.00%
Mg	0.32 %	-	0.25 – 1.00%

Cuadro 85. Comparaciones de niveles de micronutrientes de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica actual con la concentración de nutrientes ideal

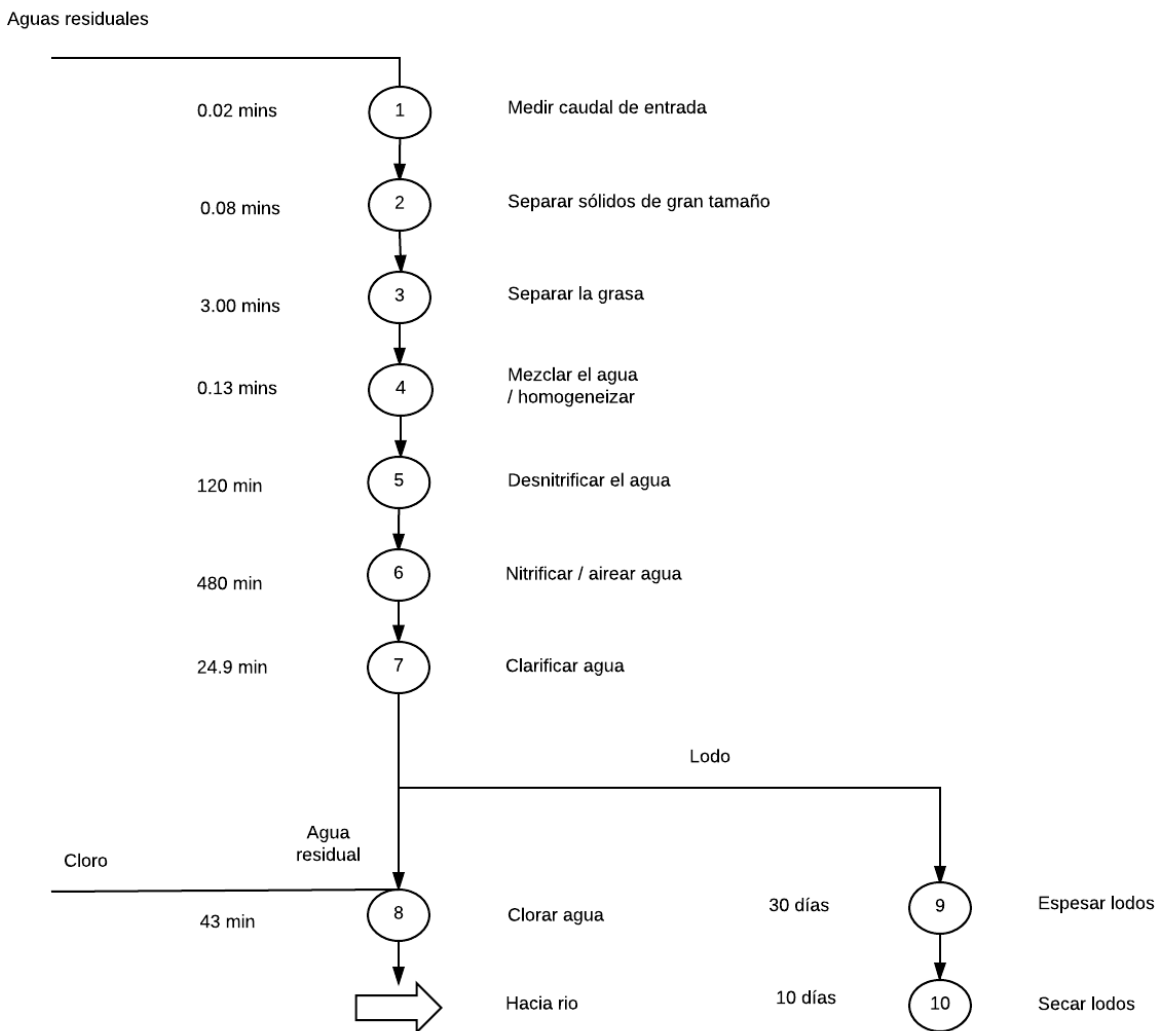
Nutriente	PTAR	Concentración ideal en varias especies de planta (Mosaic Company, 2016)
Cu	5.24 ppm	5 – 30 ppm
Fe	315.48 ppm	100 – 500 ppm
Mn	7.60 ppm	20 – 300 ppm
Zn	117.36 ppm	27 – 100 ppm

⁵No detectado.

G. Módulo 7: Análisis de costos, operativo y de mantenimiento de un rediseño de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial

1. Manual de operaciones

Figura 65. Diagrama de procesos: Proceso de tratamiento de aguas residuales en una planta aerobia



	Número	Tiempo	Unidad
Operaciones	10	40.47	días
Transportes	1	0.08	Minutos

a. Tratamiento preliminar

(1) Canal con cribas

Funcionamiento: El canal posee dos juegos de rejas, una de rejillas gruesas y la otra de rejillas finas; la primera canasta de rejas contiene 10 barrotes de cada lado con un espaciamiento de 0.03 m y la segunda posee 24 barrotes de cada lado con un espaciamiento de 0.01m, ambas con una pendiente respecto a la vertical de 45 grados. El tanque mide 2.50 m x 0.38 m x 1.10 m, resultando así de $1.05 m^3$.

Mantenimiento:

- Mediante un control diario durante 15 días, debe determinarse la cantidad de veces que se debe limpiar el área. Para esto, debe realizarse al menos tres revisiones diarias y utilizar la minuta técnica: X para apuntar los resultados. Si la cantidad de sólidos retenidos en el tanque cubren el 15% de la superficie, debe limpiarse.
- Se debe realizar una con la ayuda de una cuña. La limpieza comienza desde el fondo del tanque donde se coloca la cuña, luego se presiona hacia la rejilla y se jala. Los sólidos primero se deben depositar en la parte superior de las canastas para que estos escurran. Debe realizarse este procedimiento para cada juego de rejillas hasta que no se observen más residuos. Con la ayuda de una pala o manualmente utilizando guantes, debe retirarse todos los sólidos recolectados y depositarlos en el basurero.
- Durante la limpieza de las rejillas, el operario debe observar el estado de las canastillas. Se debe tomar en cuenta para esta revisión que el espaciamiento entre cada barrote debe ser el mismo, no debe haber ningún tipo de aberturas, no puede faltar ningún barrote y estos deben estar correctamente adheridos a su base. En caso de que el barrote no este correctamente adherido, se debe contactar con un soldador, si presenta algún otro problema, debe contactarse a un herrero para que este pueda hacer las correcciones necesarias.

(2) Trampa de grasas

Funcionamiento: Para poder separar la grasa, el agua ingresa en una tubería en forma de T de 2 pulgadas, con dirección hacia el fondo del canal, puesto que el peso específico de la grasa es inferior al peso específico del agua, esta flota sobre el agua mientras que el agua puede circular hacia la próxima operación unitaria mediante otra tubería T también de 0.05 m (2 pulg). El tanque mide 1.20m x 0.60m x 1.7m, resultando así de $1.22 m^3$.

Mantenimiento:

- Mediante un control diario durante 15 días, debe determinarse la cantidad de veces que se debe limpiar el área. Para esto, debe realizarse al menos tres revisiones diarias y utilizar la minuta técnica: X para apuntar los resultados. Si la cantidad de sólidos retenidos en el tanque cubren el 25% de la superficie, debe limpiarse.
- Se debe realizar la limpieza de este tanque con la ayuda de un colador. Este debe introducirse hasta medio tanque y luego realizar un movimiento de forma ascendente tratando de atrapar la mayor cantidad de grasa posible. La grasa debe depositarse inmediatamente al basurero. Debe realizarse este procedimiento hasta que ya no se observe grasa en la superficie.
- Debe realizarse una limpieza anual de las paredes del tanque que pueden irse recubriendo de grasa.

(3) Tanque de homogenización

Funcionamiento: El tanque de homogenización, es el último equipo del tratamiento preliminar en la planta, este tiene como objetivo amortiguar las variaciones de caudal con el fin de mantener un caudal constante de salida, así como controlar las variaciones de los parámetros fisicoquímicos del agua residual. Para lograr este objetivo, la tubería de salida tiene un diámetro menor a la tubería de entrada, lo cual provoca que el caudal de salida sea constante. El tanque es de 4.50 m x 3.00 m x 1.5 m, resultando así de 20.25 m^3 .

Mantenimiento:

- Debe realizarse una inspección cada 15 días, para controlar su funcionamiento y que ya no haya ningún sólido en el área.
- De haber un sólido, debe removerse con la herramienta adecuada.

b. Tratamiento secundario

(1) Tanque de aireación

Funcionamiento: Para que la metabolización ocurra de la forma correcta, debe utilizarse aireadores que además de proveer oxígeno, suministran de movimiento; el tanque requiere un flujo de aire de 26.90 m^3/min , con una potencia mínima requerida de 20,730.46 W (27.8 hp), para esto se utiliza un soplador capaz de suministrar esto y 234 difusores de membrana de burbuja fina. El tiempo de retención del agua en el tanque de aireación es de 8 horas. Sus dimensiones son de 11.00m x 10.00m x 5.5 m, resultando así de 60.50 m^3 .

Mantenimiento:

- Sopladores: El aireador posee dos sopladores encargados de proveer el flujo de aire a los difusores. En dado caso el aireador comience a mostrar un desperfecto, debe contactarse con el proveedor inmediatamente.
- Difusores: El aireador posee 234 difusores, que se encuentran adheridos a una red de tubería anclada en el fondo del aireador. Los difusores no requieren de ningún tipo de mantenimiento, por lo que únicamente se le puede dar mantenimiento correctivo, estos son de burbuja fina, si la membrana de alguno llega a romperse, se observarían en el aireador burbujas gruesas o grandes, y esto indicaría el desperfecto. Para poderlo cambiar, se debe primero contactar al proveedor para que envíe uno nuevo y ya teniendo ese, debe vaciarse el tanque para poder realizarse el cambio con el roto, desenroscando el antiguo y enroscarse el difusor nuevo.

c. Tratamiento terciario

(1) Tanque anóxico

Funcionamiento: El desnitrifica del agua residual, mediante una retención de 2 horas (120 min) y el uso de un mezclador de paletas inclinadas a 45 grados de la vertical. El del tanque es de 3.43 m x 3.43 m x 3.43 m, resultando así de 40.35 m^3 .

Mantenimiento: El contactor anóxico posee un mezclador de paletas inclinadas, son 4 paletas, cada una con un ángulo de 45 grados. Puesto que este sistema es completamente cerrado, debe realizarse una inspección anual del equipo. Para esto, primero es necesario detener el motor del mezclador y luego abrir el tanque de tal forma que este no se lastime. Luego debe limpiarse el mezclador para poder realizar una inspección correcta, contar si hay 4 paletas y que estén sujetas de forma correcta y en ángulos de 45 grados; de ser esto correcto debe cerrarse el contactor y se debe llamar al proveedor.

(2) Tanque de clarificación

Funcionamiento: Separar el lodo del agua residual utilizando paletas inclinadas, lodo se sedimenta en el fondo del tanque y el gua continua su flujo. El tanque es de 1.68 m x 1.37 m x 2.31 m, resultando así de 60.50 m^3 .

Mantenimiento: El clarificador, por ser un equipo especializado, es de Estados Unidos. El proveedor asegura que el equipo es de bajo mantenimiento; sin embargo, por la especialización

del equipo, en caso de daño debe consultarse en el manual del clarificador cuál es el problema y luego contactar al proveedor para poder solucionarlo.

d. Tratamiento cuaternario

(1) Clorinador

Funcionamiento: El clorinador posee una cámara de mezclado y una cámara de contacto, en la cámara de mezclado se agrega el hipoclorito de sodio a una concentración de 5% utilizando un dosificador de con dosis de 1.65 L/h. Por otro lado, la cámara de contacto posee una forma de serpentín el cual permite una mezcla homogénea. La cámara de ingreso y mezclado es de 1.50 m x 0.45 m x 1.43 m, resultando así de $0.97 m^3$ y la cámara de contacto es de 3.80 m x 0.48 m x 1.43 m, resultando así de $2.60 m^3$. Dependiendo de la cantidad de hipoclorito de sodio que se compre, debe hacerse la reorden al menos 5 días antes de que se llegue a terminar.

Mantenimiento:

- Mezclador: El clorinador posee un mezclador de disco. Puesto que este sistema es completamente cerrado, debe realizarse una inspección anual del equipo. Para esto, primero es necesario detener el motor del mezclador y luego abrir el tanque de tal forma que este no se lastime. Luego debe limpiarse el mezclador para poder realizar una inspección correcta, determinar si el disco está sujeto correctamente y que no presente ninguna abolladura; de ser esto correcto debe cerrarse el clorinador, de no ser así, se debe llamar al proveedor.
- Dosificador: Si comprar el hipoclorito de sodio con el mismo proveedor del dosificador, este es capaz de ofrecer el mantenimiento gratuito cada vez que se adquiera este. De lo contrario, se debe realizar una inspección anual, en la cual primero se debe detener el funcionamiento del mezclador y del dosificador, luego abrir el tanque y ver si el dosificador no presenta ningún desperfecto. Otra forma de determinar su correcto funcionamiento es la medición de cloro en el caudal de salida de la planta de tratamiento. Si el cloro presenta rangos fuera de lo normal, es porque el dosificador está dañado y debe contactarse al proveedor para su reparación.

e. Tratamiento de lodos

(1) Digestor de lodos

Funcionamiento: El digestor estabiliza la materia orgánica, con un tiempo de retención de 30 días. El digestor posee un diámetro de 11.05 m y una altura de 7.73 m, además tiene un fondo cónico de 1.84 m de altura.

Mantenimiento: El digestor de lodos posee una termocupla y un medidor de pH, los cuales miden la temperatura y pH del lodo. Debe realizarse una inspección diaria de estos indicadores. La temperatura no debe superar los 38° Celsius y el pH no debe ser menor a 7.

(2) Patio de secado de lodos

Funcionamiento: El patio deshidrata los lodos, mediante su esparcimiento y mezcla durante de 10 días. El patio es de 3.80 m x 0.48 m x 1.43 m, resultando así de 2.60 m³

Mantenimiento:

- Para que el pH no sea ácido, menor a 7, se le debe agregar una dosis de cal diariamente: 0.3 kg por cada kg de lodo. El operario debe mezclar el lodo con la ayuda de una pala.
- El patio tiene 10 divisiones, cada día se debe extraer el lodo que ingreso al patio 10 días antes y en esta área se agrega el lodo que se produjo en la PTAR ese día; con la ayuda de una pala debe retirarse el lodo, la disposición final está determinada por el complejo comercial.

f. Análisis de laboratorio. Debe realizarse un análisis de laboratorio bimensual de la descarga de la PTAR para asegurar su adecuado funcionamiento, los parámetros que deben medirse mediante esta prueba debe ser los estipulados por el acuerdo gubernativo 236-2006: Temperatura, coliformes fecales, fosforo, nitrógeno, metales pesados, etc.

g. Mantenimiento general. Una vez al año, debe realizarse una inspección detallada de los equipos, preferiblemente cuando el caudal sea menor. Esta debe estar a cargo de un ingeniero químico. Se debe inspeccionar que cada canal no presente fisuras o daños en las paredes mediante observación, y que las tuberías no estén rotas o tapadas, lo cual puede determinarse mediante un diferencial de caudal significativo entre una operación y la que le precede o le sigue. En el caso de que se presenten fisuras, desperfectos o problemas en las tuberías, debe contactarse a una constructora en caso de ser necesario o a un albañil, para poder solucionar el problema.

Debe además realizarse la impermeabilización se debe realizar con resinas epóxicas, dando al menos una capa a cada operación unitaria.

Cuadro 86. Hoja de registro de limpieza

Operación unitaria :		Nombre de la operación	
Última fecha de mantenimiento:		fecha	
Próxima fecha de mantenimiento:		fecha	

Fecha	Hora de la limpieza	Firma	Observaciones

Cuadro 87. Hoja de registro de mantenimiento

Operación unitaria :				Nombre de la operación
----------------------	--	--	--	------------------------

Fecha	Trabajo realizado	Costo	Tiempo	Observaciones

Cuadro 88. Hoja de registro de caracterización del agua residual

Hoja de control de una planta de tratamiento aerobia de aguas residuales								
Parametro	Dimensionales	Límites permisibles	Descarga de PTAR					
			mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6
Temperatura	Grados celsius	TCR \pm 7						
Grasas y Aceitres	Miligramo por litro	10						
Materia flotante	Ausencia/presencia	ausente						
Sólidos suspendidos	Miligramo por litro	100						
Nitrógeno total	Miligramo por litro	20						
Fósforo total	Miligramo por litro	10						
Potencial de hidrógeno	Unidades	6 a 9						
Coliformes fecáles	no más probable en 100 ml	$< 1 \times 10^4$						
Arsénico	Miligramo por litro	0.1						
Cadmio	Miligramo por litro	0.1						
Cianuro total	Miligramo por litro	1						
Cobre	Miligramo por litro	3						
Cromo hexavalente	Miligramo por litro	0.1						
Mercurio	Miligramo por litro	0.01						
Níquel	Miligramo por litro	2						
Plomo	Miligramo por litro	0.4						
Zinc	Miligramo por litro	10						
Color	Unidades platino cobalto	500						

2. Perfil de puesto del operario. A continuación, se muestra el perfil del operario basado en competencias; es importante tener en cuenta al momento de contratar al operario que este debe descender 25 metros diariamente utilizando escalera. Además de esto, se le debe otorgar un horario establecido puesto que tendría que destinar al menos 1 hora para la mezcla y extracción de lodo. El operario debe recibir capacitaciones periódicas no solo de su trabajo sino también de seguridad industrial y primeros auxilios.

Cuadro 89. Perfil del puesto del operario.

PERFIL DEL PUESTO																																																																				
Nombre del cargo	Técnico operario																																																																			
Unidad de dependencia	Departamento de recursos hídricos																																																																			
A cargo de																																																																				
Cantidad de dependientes	Ninguno																																																																			
Descripción del cargo	Inspeccionar y garantizar el buen funcionamiento de la planta de tratamiento aerobia y realizar labores complementarias al proceso.																																																																			
Funciones del cargo	<ol style="list-style-type: none"> 1 Garantizar el funcionamiento de cada operación unitaria 2 Controlar los parámetros que determinan el buen funcionamiento 3 Garantizar y comprobar que las características del caudal de salida son las adecuadas 4 Extraer los residuos sólidos de las operaciones unitarias que lo requieran 5 Abastecer de cloro, el clorinador 6 Corroborar una correcta disposición de los sólidos 7 Comunicar cualquier necesidad y desperfecto en la planta 																																																																			
Requisitos mínimos	Formación académica Culminación de diversificado Experiencia laboral Ninguna																																																																			
Competencias	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Nivel</th> </tr> <tr> <th>Bajo</th> <th>Medio</th> <th>Alto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Responsabilidad</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Organización</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Capacidad de análisis</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Habilidad para tomar decisiones</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Comunicación efectiva</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Integridad</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Flexibilidad</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Iniciativa</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Juicio</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Trabajo en equipo</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trabajo bajo presión</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Planificación</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Independencia</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Creatividad</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Delegación</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Nivel			Bajo	Medio	Alto	Responsabilidad			X	Organización		X		Capacidad de análisis		X		Habilidad para tomar decisiones		X		Comunicación efectiva		X		Integridad			X	Flexibilidad		X		Iniciativa		X		Juicio			X	Trabajo en equipo	X			Trabajo bajo presión	X			Planificación		X		Independencia			X	Creatividad	X			Delegación	X		
	Nivel																																																																			
	Bajo	Medio	Alto																																																																	
Responsabilidad			X																																																																	
Organización		X																																																																		
Capacidad de análisis		X																																																																		
Habilidad para tomar decisiones		X																																																																		
Comunicación efectiva		X																																																																		
Integridad			X																																																																	
Flexibilidad		X																																																																		
Iniciativa		X																																																																		
Juicio			X																																																																	
Trabajo en equipo	X																																																																			
Trabajo bajo presión	X																																																																			
Planificación		X																																																																		
Independencia			X																																																																	
Creatividad	X																																																																			
Delegación	X																																																																			

3. **Costos del rediseño.** A continuación, se presentan los costos de inversión del rediseño de una planta de tratamiento aerobia de aguas residuales.

Se realizó un análisis de costos para la construcción de equipos de obra gris utilizando proporciones de la cantidad de materiales necesaria para cada equipo, el precio unitario de cada elemento fue proporcionado por el Ingeniero Civil Alfredo Jiménez y se realizó una comparación con los precios unitarios publicados por la cámara de construcción de Guatemala.

Cuadro 90. Comparación entre el precio unitario dado por el Ing. Jiménez y los precios de la cámara de construcción de Guatemala

Material de construcción	Unidad	Precio Unitario (Q)	Precio Unitario (Q) Cámara de construcción
Cemento portland gris	saco	75	75
Arena de río	m3	100	107
Piedrín	m3	200	202
Madera para formaleta	p.t.	5	7
Alambre de amarre No. 16	lb.	5	2
Clavo diversas medidas	lb.	5	-
Malla electrosoldada 6"x6" 4.5/4.5	unidad	275	263
Impermeabilizante	gl.	225	-
Material Selecto	m3	80	-
Codo de 4" PVC y accesorios	unidad	100	-
Tee de 4" PVC y accesorios	unidad	150	-

Utilizando el precio unitario del material dado por el Ing. Jiménez, se obtuvo el costo total de cada equipo en función de los materiales. El costo de mano de obra es el 50% de los materiales, mientras que los costos indirectos representan el 35% del de materiales y mano de obra.

Cuadro 91. Costo del equipo de obra gris del rediseño, construyendo el total de los equipos.

Operación unitaria	Costo de materiales (Q)	Costo de Mano de Obra (Q)	Costos indirectos (Q)	Costo total (Q)
Canal Parshall	3,789.43	1,894.71	1,989.45	7,673.59
Canal de cribado	3,789.43	1,894.71	1,989.45	7,673.59
Trampa de grasa	2,911.32	1,455.66	1,528.44	5,895.43
Tanque de homogeneización	14,882.78	7,441.39	7,813.46	30,137.63
Tanque anóxico	25,346.96	12,673.48	13,307.15	51,327.59
Tanque aireador	164,871.83	82,435.92	86,557.71	333,865.47
Tanque de cloración	17,475.26	8,737.63	9,174.51	35,387.39
Digestor anaeróbico	138,384.42	69,192.21	72,651.82	280,228.46
Patio de lodos	123,854.05	61,927.03	65,023.38	250,804.45
Total	495,305.48	247,652.74	260,035.38	1,002,993.60

NOTA: La PTAR ya posee un aireador, sin embargo, se debe ampliar su capacidad por lo que no puede eliminarse del costo. Si se toma en cuenta únicamente la construcción de la ampliación para este equipo, el costo disminuye 18%.

Cuadro 92. Costo del equipo de obra gris del rediseño, construyendo a partir de la planta ya existente.

Operación unitaria	Costo de materiales (Q)	Costo de Mano de Obra (Q)	Costos indirectos (Q)	Costo total (Q)
Canal Parshall	3,789.43	1,894.71	1,989.45	7,673.59
Canal de cribado	3,789.43	1,894.71	1,989.45	7,673.59
Trampa de grasa	2,911.32	1,455.66	1,528.44	5,895.43
Tanque de homogeneización	14,882.78	7,441.39	7,813.46	30,137.63
Tanque anóxico	25,346.96	12,673.48	13,307.15	51,327.59
Tanque aireador	83,117.21	41,558.60	43,636.53	168,312.34
Tanque de cloración	17,475.26	8,737.63	9,174.51	35,387.39
Digestor anaeróbico	138,384.42	69,192.21	72,651.82	280,228.46
Patio de lodos	123,854.05	61,927.03	65,023.38	250,804.45
Total	413,550.85	206,775.43	217,114.20	837,440.48

Cuadro 93. Costos del equipo propuesto para el rediseño.

Artículo	Costo unitario (Q)	Cantidad	Costo total (Q)
Escalera 11m	15,255.00	1	15,255.00
Escalera 14m	19,068.00	1	19,068.00
Canasta de rejillas gruesas	575.00	1	Incluido en obra gris
Canasta de rejillas fina	425.00	1	Incluido en obra gris
Difusores	364.80	263	95,942.40
Soplador	41,375.00	2	82,750.01
Mezclador	52,247.32	1	52,247.32
Clarificador	123,992.87	1	123,992.87
Envío	8,368.97	1	8,368.97
Mezclador	13,082.02	1	13,082.02
Dosificador	4,725.00	1	4,725.00
Tonel	270.00	7	1,890.00
Termocupla	560.00	1	560.00
PH metro	560.00	1	560.00
Antorcha biogas	175,480.45	1	175,480.45
Pérgola	112,860.00	1	112,860.00
Piedrin	200.00	66	13,200.00
Arena negra	100.00	66	6,600.00
Bomba	6,618.00	1	6,618.00
Bomba	870.00	1	870.00
Total			734,070.03

Fuente: cotizaciones y consulta de catálogos, ver anexos

Cuadro 94. Equipo con mayor porcentaje de representación en el costo total del rediseño.

Artículo	Proveedor	Modelo o especificación	Precio total (Q)	Porcentaje de participación
Difusores	Ecodena	Difusores de membrana burbuja fina	95,942.40	13%
Soplador	Cole Parmer	FPZ SCL K10 Regenerative Blowers	82,750.01	11%
Clarificador	Hydroquip	HQI-CLA-84LP	123,992.87	17%
Pérgola	Airsa	Pérgola de lamina galvanizada	112,860.00	15%
Antorcha biogas	Emison	5m3/hora	175,480.45	24%
TOTAL				81%

Cuadro 95. Comparación entre el costo de extracción de lodos y la utilización de una bomba contemplando el patio de lodos en la superficie

Descripción	Costo (Q)	Periodicidad	Costo anual (Q)
Extracción de lodos	2,000.00	Semanal	104,000.00
Bomba	6,618.00	-	6,618.00

Cuadro 96. Costo total del rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales aerobia

Descripción	Costo total (Q)
Construcción en obra gris	821,922.39
Torta de cemento	22,682.52
Equipo	734,070.03
Tubería	7,280
Total	1,585,954.94

Cuadro 97. Costo de estudios y licencias para realizar la construcción que se requiere para el rediseño

Descripción	Costo (Q)
Licencia de construcción	71,368
Estudio de Suelo	45,000
Estudio Hidrogeológico	20,000
Muros de contención	400,000
Estudio de taludes	10,000
Total	546,367.97

Cuadro 98. Costo total del rediseño de una PTAR aerobia

Descripción	Costo total (Q)
Licencia de construcción y estudios	546,367.97
Construcción en obra gris	821,922.39
Torta de cemento	22,682.52
Equipo	734,070.03
Tubería	7,280
Total	2,132,322.91

H. Módulo 8: Presupuesto de rediseño y elaboración de manuales de operaciones y mantenimiento

1. Manual de operaciones

a. Descripción. La función de una planta de tratamiento consiste en tratar las aguas residuales de tal forma que el efluente cumpla con el reglamento vigente del MARN para el Tratamiento de las Aguas Residuales y la Disposición de Lodos”Para realizar una adecuada evaluación de los procesos operativos de cada planta de tratamiento, es necesario conocer la forma precisa de la operación del sistema, así como la calidad del agua tratada.

En este manual se detallan las operaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de un complejo comercial y residencial. En este documento se incluye información general del proceso de tratamiento y de los equipos mecánicos que servirán de guía para el cumplimiento de las labores cotidianas en la operación de la planta de tratamiento.

b. Legislación: El Acuerdo Gubernativo 236-2006, “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”, es el reglamento que establece los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico. Este reglamento es aplicable a los entes generadores de aguas residuales y las personas responsables del manejo tratamiento y disposición final de lodos. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

De acuerdo con el Artículo 19, al finaliza las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, se establece como meta de cumplimiento de demanda bioquímica de oxígeno la cantidad de 3,000 kilogramos por día, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que 200 miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Los entes generadores existentes que alcancen y mantengan estos valores habrán cumplido con la meta establecida en este artículo. (Acuerdo Gubernativo 236-2006).

Adicionalmente, deberán cumplir los límites máximos permisibles de los siguientes parámetros:

Cuadro 99. Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Material flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	<1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

c. Descripción de la planta

(1) Especificaciones del tratamiento

- Tipo de aguas residuales: Aguas residuales domésticas
- Generación de aguas negras: 230 m³/día
- Concentración de DBO afluente: 611 mg/ l
- Concentración de DBO efluente: < 200 mg / l
- Caudal de diseño: 230 m³/día
- Carga biológica de diseño: 4.67 kg / m³ día

(2) Componentes mecánicos del sistema

Cuadro 100. Componentes mecánicos del sistema

Cantidad	Descripción
2	Bombas centrífugas de ¾ hp, 1750 rpm
1	Bomba centrífuga de 1 hp
2	Bomba dosificadora
1	Agitador de 1.5 hp
2	Agitador de 1 hp

(3) Proceso de tratamiento: Esta planta consiste en un sistema de tratamiento aeróbico con estabilización y deshidratación de lodos. Esta cuenta con pretratamiento, con el fin de remover lípidos y sólidos y materiales grandes compuesto por rejillas, trampas de grasa y una canaleta Parshall. El proceso de tratado está conformado por 1 tanque sedimentador primario, 2 tanques de filtrado anaeróbico de flujo ascendente, 2 tanques de reducción de nutrientes y un 1 tanque para desinfección. Además, cuenta con 1 patio de secado de lodos.

Figura 66. Fases del tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial.

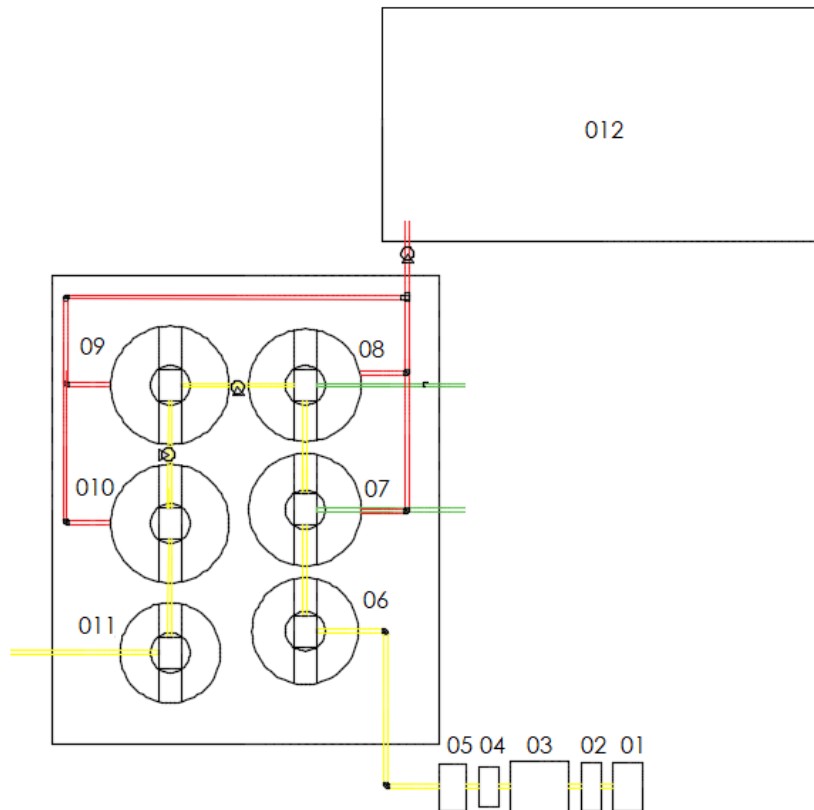


Figura 67. Diagrama de Operaciones de la PTAR del complejo comercial y residencial

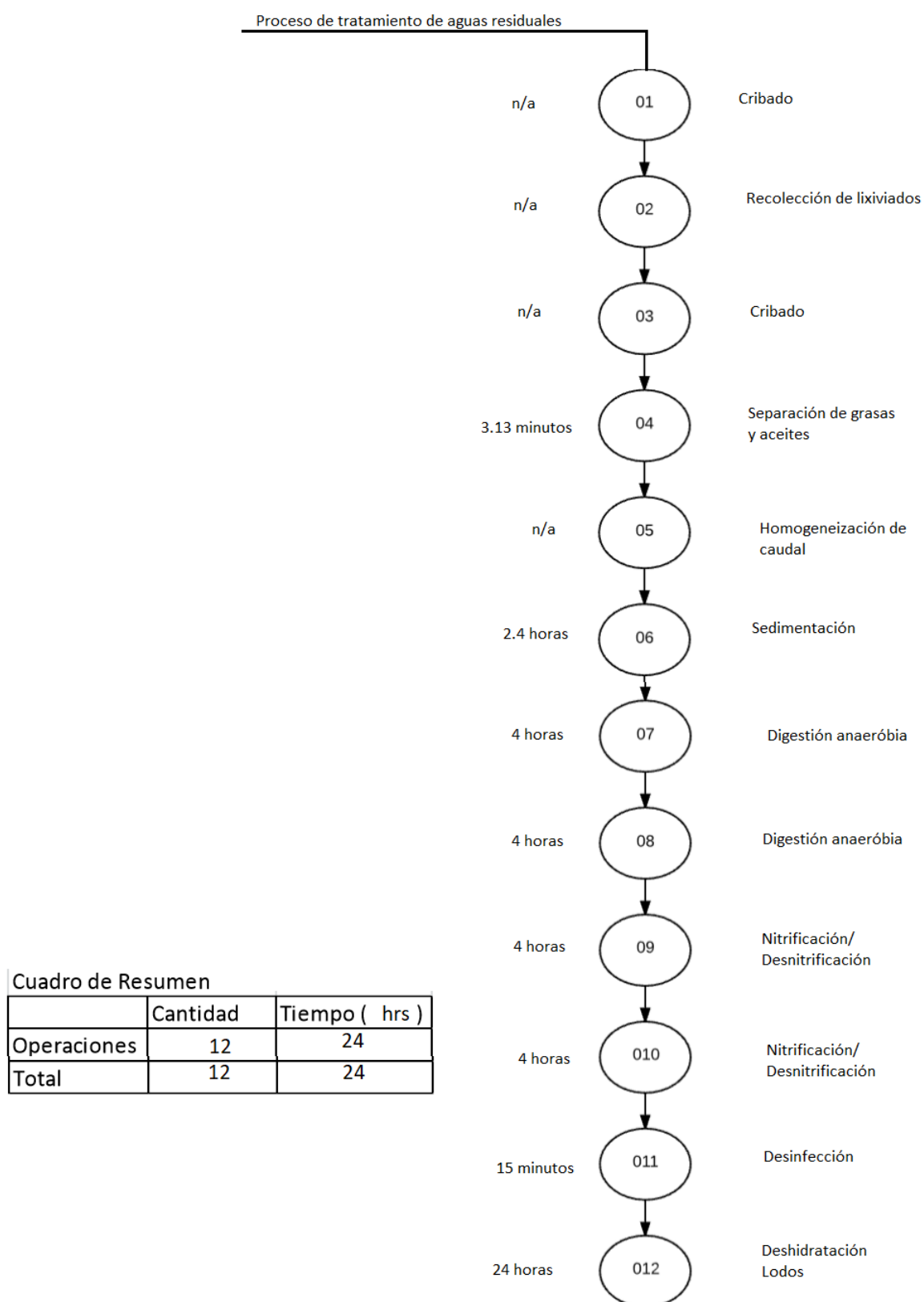
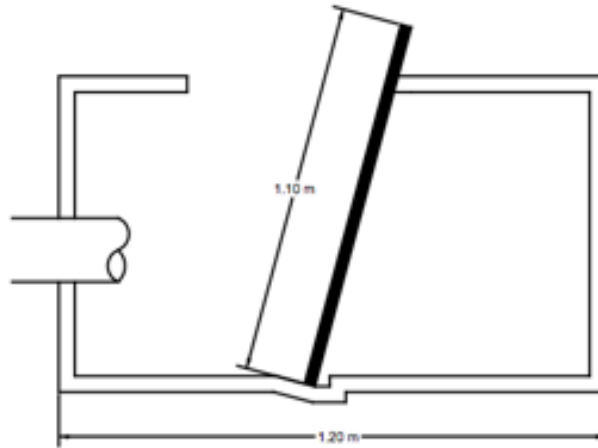
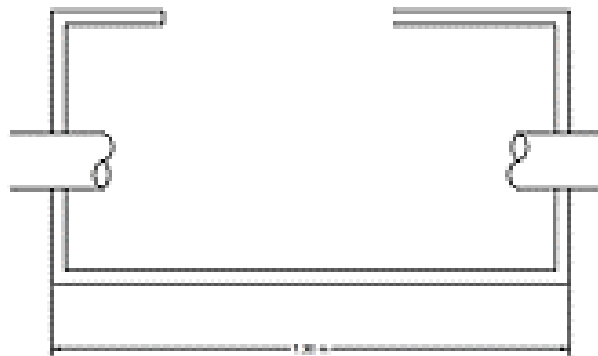


Figura 68. Fase 01 Caja de rejillas 1



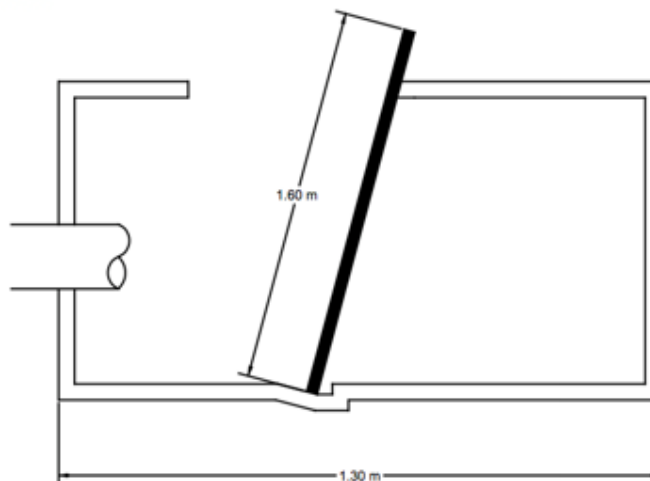
Fuente: (Melgar, 2017)

Figura 69. Fase 02 Caja de lixiviados



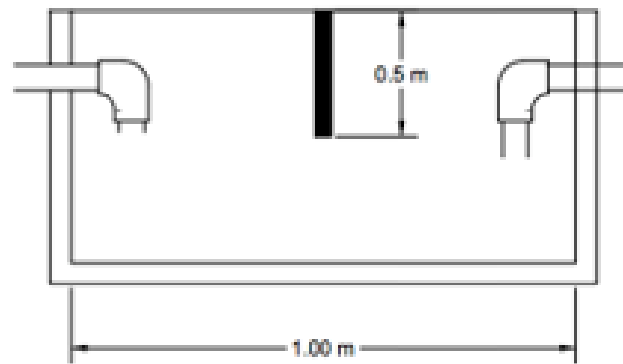
Fuente: (Melgar, 2017)

Figura 70. Fase 03 Caja de rejillas 2



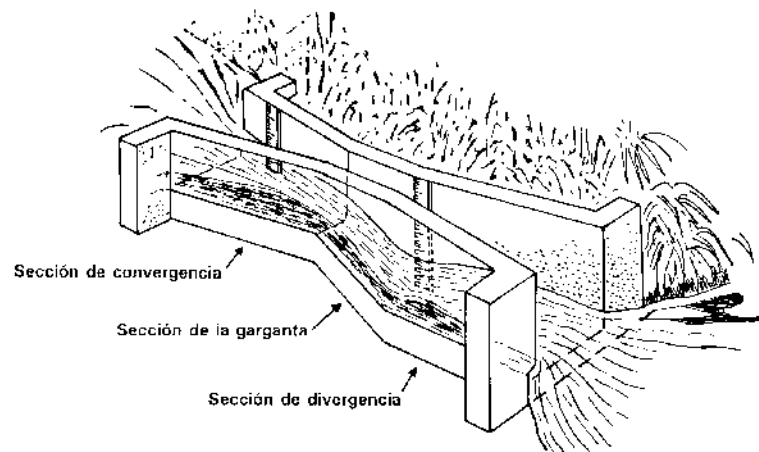
Fuente: (Melgar, 2017)

Figura 71. Fase 04 Trampa de grasa



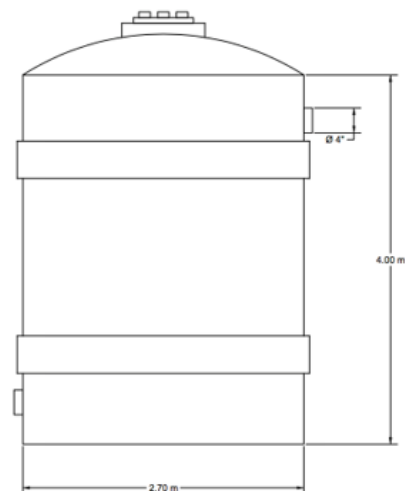
Fuente: (Melgar, 2017)

Figura 72. Fase 05 Canaleta Parshall



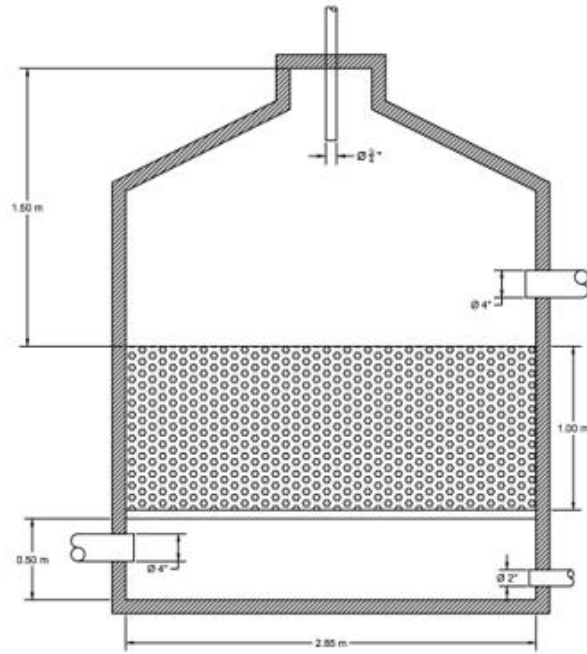
Fuente: (FAO, 2016)

Figura 73. Fase 06 Tanque sedimentador primario



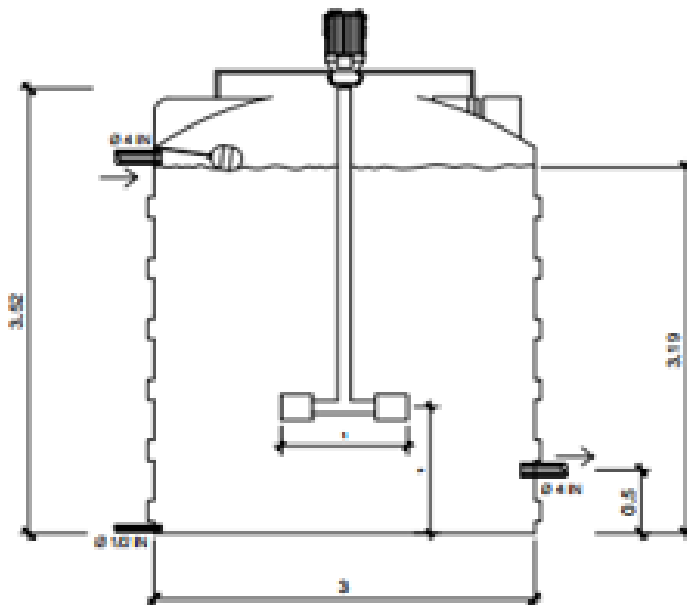
Fuente: (Melgar, 2017)

Figura 74. Fase 07 y 08 Tanque de filtro anaeróbico



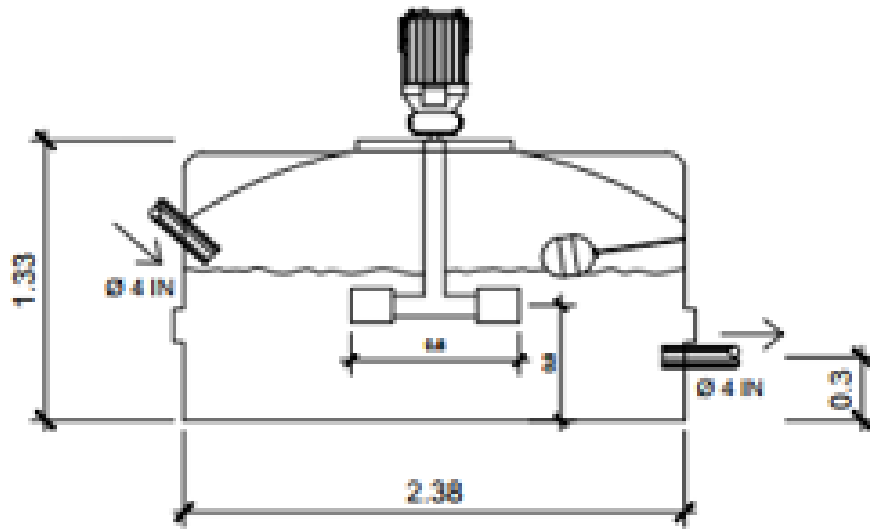
Fuente: (Melgar, 2017)

Figura 75. Fase 09 y 010 Tanque de reducción de nutrientes



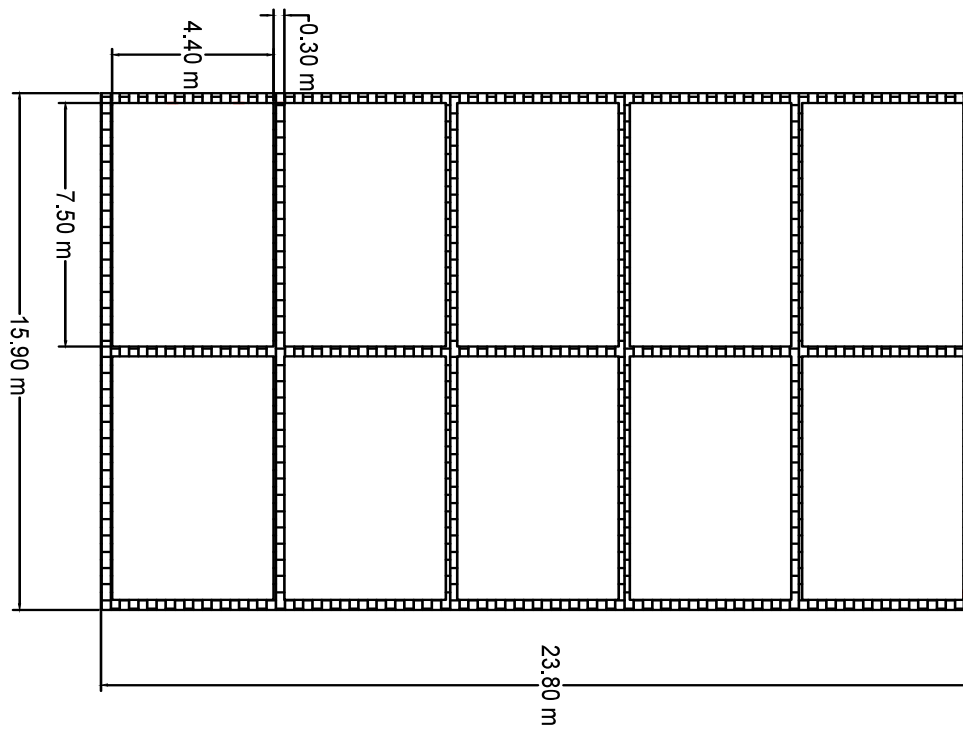
Fuente: (Jiménez, 2017)

Figura 76. Fase 011 Tanque de desinfección



Fuente: (Jiménez, 2017)

Figura 77. Fase 012 Patio de secado de lodos



Fuente: (García, 2017)

(4) Etapas del tratamiento. El tratamiento de la PTAR anaeróbica del complejo comercial y residencial se divide en seis etapas:

(a) Etapa I: Pretratamiento. En esta etapa se eliminan desechos sólidos, material grueso, así como la separación física de grasa. Se desarrolla en las rejillas, trampas de grasa y la canaleta Parshall.

(b) Etapa II: Tratamiento primario. Esta etapa se desarrolla con el fin de remover los residuos sólidos sedimentables y materia flotante para disminuir la concentración de sólidos suspendidos. Se lleva a cabo en el tanque sedimentador primario.

(c) Etapa III: Tratamiento secundario. En esta etapa se lleva a cabo la digestión biológica del material orgánico, es decir la asimilación a través de los microorganismos de la contaminación biológica. Se lleva a cabo en dos tanques de filtro anaeróbico.

(d) Etapa IV: Tratamiento terciario. Esta etapa consiste en la reducción de los nutrientes del agua residual. Se produce el proceso de nitrificación y desnitrificación que consiste en la transformación de los nitratos a nitrógeno gaseoso, en ausencia de oxígeno. Es decir, reducir el nitrógeno de las aguas residuales. El proceso se da en los tanques de reducción de nutrientes.

(e) Etapa V: Desinfección. Es la última etapa del proceso de tratamiento el propósito de la desinfección consiste en reducir los microorganismos patógenos que existen en el agua. El método de desinfección que se da en la planta se realiza con una dilución de hipoclorito de calcio.

(f) Etapa VI: Tratamiento de lodos. Esta etapa es realizada en un patio de secado de lodos, en la que se deshidratan los lodos extraídos de los tratamientos secundario y terciario diariamente.

A continuación, se muestra un resumen de las fases de las etapas que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial:

Cuadro 101. Descripción caja de rejillas 1

No. Fase	01
Estructura	Caja de rejillas 1
Operación unitaria	Cribado
Descripción	<p>Consiste en el desbaste o retención de sólidos. Se utiliza para la retención de objetos voluminosos (basura, plásticos, fibras, etc.) que podrían provocar obstrucciones en el proceso.</p> <p>Paso 1. El agua residual generada por el complejo comercial y residencial entra por un extremo de la caja de rejas por medio de tubería que la transporta hasta la planta de tratamiento.</p> <p>Paso 2. El agua residual pasa a través de las rejillas, permitiendo que los sólidos y objetos queden retenidos.</p> <p>Paso 3. El agua residual sigue hacia las tuberías a la siguiente fase</p>
Estructura previa	-
Estructura posterior	Caja de lixiviados
Especificaciones	<p>Área de rejillas: 0.85 m²</p> <p>Alto: 1.10 m</p> <p>Largo: 1.20 m</p> <p>Ancho: 0.77 m</p> <p>Construcción: Obra gris</p> <p>Cantidad de barros: 19</p> <p>Ancho superior entre barros: 0.015 m</p> <p>Ancho inferior entre barros: 0.025 m</p> <p>Tiempo mínimo de retención: -</p>

Cuadro 102. Descripción caja de lixiviados

No. Fase	02
Estructura	Caja de lixiviados
Operación unitaria	-
Descripción	Esta no es una operación como tal en la planta. Sin embargo, en esta parte se recaudan los lixiviados generados por los desechos sólidos del complejo comercial y residencial, con el fin de tratarlos y reducir el impacto ambiental que puedan producir.
Estructura previa	Caja de rejillas 1
Estructura posterior	Caja de rejillas 2
Especificaciones	Alto: 1 m Largo: 1.2 m Ancho: 0.5 m Construcción: Obra gris Tiempo mínimo de retención: -

Cuadro 103. Descripción caja de rejillas 2

No. Fase	03
Estructura	Caja de rejillas 2
Operación unitaria	Cribado
Descripción	<p>Consiste en el desbaste o retención de sólidos. Se utiliza para la retención de objetos voluminosos (basura, plásticos, fibras, etc.) que podrían provocar obstrucciones en el proceso.</p> <p>Paso 1. El agua residual generada por el complejo comercial y residencial entra por un extremo de la caja de rejas por medio de tubería que la transporta hasta la planta de tratamiento.</p> <p>Paso 2. El agua residual pasa a través de las rejillas, permitiendo que los sólidos y objetos queden retenidos.</p> <p>Paso 3. El agua residual sigue hacia las tuberías a la siguiente fase</p>
Estructura previa	Caja de lixiviados
Estructura posterior	Trampa de grasa
Especificaciones	<p>Área de rejillas: 2.4 m²</p> <p>Alto: 1.6 m</p> <p>Largo: 1.3 m</p> <p>Ancho: 1.5 m</p> <p>Construcción: Obra gris</p> <p>Cantidad de barros: 39</p> <p>Ancho superior entre barros: 0.015 m</p> <p>Ancho inferior entre barros: 0.025 m</p> <p>Tiempo mínimo de retención: -</p>

Cuadro 104. Descripción trampa de grasa

No. Fase	04
Estructura	Trampa de grasa
Operación unitaria	Separación de grasas y aceites
Descripción	<p>En esta operación, se remueven las grasas y aceites del agua. Se realiza con base en las diferencias de densidades, por lo que el agua pasa por la tubería a la siguiente operación, mientras las grasas quedan retenidas.</p> <p>Paso 1. El agua residual entra a la trampa de grasas en un extremo.</p> <p>Paso 2. Por la diferencia de densidades, las grasas y aceites quedan arriba del agua como una capa superficial y el agua pasa por debajo.</p> <p>Paso 3. Debido a la placa en la parte superior, la capa de grasas y aceites queda retenida en la trampa (es decir, la placa las detiene de continuar) y el agua pasa por debajo de la placa para entrar en la siguiente fase.</p>
Estructura previa	Caja de rejillas 2
Estructura posterior	Canaleta Parshall
Especificaciones	<p>Área: 2.3 m²</p> <p>Largo: 1 m</p> <p>Ancho: 0.5 m</p> <p>Construcción: Obra gris</p> <p>Profundidad: 0.5 m</p> <p>Volumen: 0.75 m³</p> <p>Tiempo mínimo de retención: -</p>

Cuadro 105. Descripción canaleta Parshall

No. Fase	05
Estructura	Canaleta Parshall
Operación unitaria	Homogeneización de caudal
Descripción	<p>La canaleta Parshall es un canal con estrechamiento o reducción con sección transversal con el fin de estabilizar el flujo del agua y permitir la medición del caudal.</p> <p>Paso 1. El agua residual entra por un extremo de la canaleta, con un flujo turbulento (no homogéneo)</p> <p>Paso 2. El agua residual pasa a través de la canaleta donde se estabiliza el flujo</p> <p>Paso 3. El agua residual sale de la canaleta hacia la siguiente fase, con un flujo homogéneo que permite la medición del caudal.</p>
Estructura previa	Trampa de grasa
Estructura posterior	Tanque sedimentador primario
Especificaciones	<p>Ancho de garganta: 7.6 cm</p> <p>Caudal mínimo: 0.85 L/seg</p> <p>Caudal máximo: 53.8 L/m</p> <p>Construcción: Obra gris</p> <p>Tiempo mínimo de retención: -</p>

Cuadro 106. Descripción tanque sedimentador primario

No. Fase	06
Estructura	Tanque sedimentador primario
Operación unitaria	Sedimentación
Descripción	<p>Es un tanque con flujo ascendente en el que se sedimentan las partículas más grandes. Este proceso se da por la velocidad a la que entra el flujo del agua.</p> <p>Paso 1, El agua entra al tanque por un tubo en la parte baja del tanque. (Es decir, se llena de abajo hacia arriba)</p> <p>Paso 2. Los sólidos, al ser más pesados que el agua, se sedimentan y se quedan en el fondo del tanque.</p> <p>Paso 3. El agua sale por un tubo por la parte superior del tanque hacia la siguiente fase.</p>
Estructura previa	Canaleta Parshall
Estructura posterior	Tanque de filtro anaeróbico 1
Especificaciones	<p>Volumen: 23 m³</p> <p>Alto: 4 m</p> <p>Diámetro: 2.7 m</p> <p>Construcción: Obra gris</p> <p>Tiempo de retención: 2.4 horas</p>

Cuadro 107. Descripción tanque de filtro anaeróbico 1 y 2

No. Fase	07 y 08
Estructura	Tanque de filtro anaeróbico 1 y 2
Operación unitaria	Digestión anaeróbica
Descripción	<p>Es un tanque de flujo ascendente, donde se reduce produce la digestión anaeróbica. Su función es reducir la carga contaminante de las aguas residuales. Cada día se producen en promedio 3.20 m³/día de lodos*, se bombean diariamente al patio de secado de lodos. Está dividido en tres cámaras: la superior, la media y la inferior.</p> <p>Paso 1. El agua entra a la cámara inferior. Al mismo tiempo se acumulan los sólidos que se sedimentan de la cámara media. Además, recibe los sólidos y materia producida en la cámara media, por medio de la gravedad permaneciendo tranquila para su digestión anaeróbica</p> <p>Paso 2. En el tanque medio, hay filtros de colmena plásticos en los que se forma una capa superficial de biomasa, responsable de la formación de lodos, es decir el proceso anaeróbico.</p> <p>Paso 3. Durante el proceso anaeróbico, se produce gas metano. En la cámara superior se almacena este gas, que luego se extrae por la parte superior del tanque, y se quema en un quemador de antorcha para transformar el metano en dióxido de carbono (CO₂)</p> <p>*Producción de lodos con base en el caudal proyectado. Esta producción está en dependencia del caudal.</p>
Estructura previa	Tanque sedimentador primario
Estructura posterior	Tanque de reducción de nutrientes, patio de lodos.
Especificaciones	<p>Volumen: 9.58 m³</p> <p>Alto: 3 m</p> <p>Diámetro: 2.85 m</p> <p>Tiempo de retención: 4 horas (por tanque)</p> <p><u>Filtro de colmena</u></p> <p>Material: Polipropileno (PP)</p> <p>Diámetro máximo por unidad: 0.16 m</p> <p>Área superficial libre: 96%.</p> <p>Alto: 0.05 m</p> <p>Área específica: 120 m²/m³</p>

Cuadro 108. Descripción tanque de reducción de nutrientes 1 y 2

No. Fase	09 y 010
Estructura	Tanque de reducción de nutrientes 1 y 2
Operación unitaria	Nitrificación/Desnitrificación
Descripción	<p>Consiste en la reducción de los nutrientes del agua residual. Se realiza en dos tanques, utilizando la dosificación de bacterias en el primer tanque y la agitación del agua en ambos.</p> <p>Se produce el proceso de nitrificación y desnitrificación para transformar los nitratos a nitrógeno gaseoso, en ausencia de oxígeno. Es decir, reducir el nitrógeno de las aguas residuales. En esta etapa se producen en promedio 1.15 m³/día de lodos*, que son extraídos diariamente al patio de secado.</p> <p>Paso 1. El agua entra por la parte superior del tanque, donde se le agregan las bacterias para el proceso de reducción de nutrientes.</p> <p>Paso 2. Se retiene el agua durante 4 horas en cada tanque, para que las bacterias transformen los nitratos.</p> <p>*En base al caudal proyectado</p>
Estructura previa	Tanque de filtro anaeróbico 2
Estructura posterior	Tanque de desinfección, patio de lodos
Especificaciones	<p>Volumen: 22 m³</p> <p>Alto: 3.52 m</p> <p>Diámetro: 3 metros</p> <p>Tiempo de Retención: 4 horas</p> <p><u>Dosificación de bacterias</u></p> <p>Equipo: Bomba dosificadora</p> <p>Bacterias: BioRemove 5100</p> <p>Dilución: 60.5475 gramos de bacterias en 600 mL de agua</p> <p>Dosis diaria: 0.5 L / día*</p> <p><u>Agitadores</u></p> <p>Velocidad: 0.6 rev/seg</p> <p>Turbina: 6 palas</p> <p>* Dosis para caudal promedio proyectado (230 m³/día). Si el caudal es menor, por cada 1 m³/día del caudal se debe agregar 2.17 mL/día. Diariamente, se debe graduar la bomba dosificadora en base a la medición del caudal medido en la canaleta Parshall.</p>

Cuadro 109. Descripción tanque de desinfección

No. Fase	011
Estructura	Tanque de desinfección
Operación unitaria	Desinfección
Descripción	<p>En esta operación se añade una dilución de hipoclorito de calcio granulado por medio de una bomba dosificadora en el tanque destinado para esta tarea, con el fin de reducir y eliminar los microorganismos patógenos que existen en el agua.</p> <p>Paso 1. El agua residual entra por la parte superior del tanque Paso 2. La bomba dosificadora, agrega de acuerdo a la dosis, la cantidad de la dilución de hipoclorito de sodio al agua. Paso 3. Luego que el agua pasa el tiempo requerido, el agua sale de la planta de tratamiento al canal de salida, que se dirige a la planta de tratamiento aeróbica del complejo comercial y residencial.</p>
Estructura previa	Tanque de reducción de nutrientes 2
Estructura posterior	-
Especificaciones	<p>Volumen: 5 m³ Alto: 1.77 m Diámetro: 2.20 m Tiempo de Retención: 15 minutos</p> <p><u>Dosificación de hipoclorito de calcio</u> Equipo: Bomba dosificadora Dosis diaria: 0.5L/hora* Dilución: 5 miligramos de hipoclorito de calcio en 1 L de agua</p> <p><u>Agitador</u> Velocidad: 1 rev/seg Turbina: 6 palas</p> <p>*Dosis para caudal promedio proyectado (230 m³/día). Si el caudal es menor, por cada 1 m³/día del caudal se debe agregar 2.17 mL/día. Diariamente, se debe graduar la bomba dosificadora en base a la medición del caudal medido en la canaleta Parshall.</p>

Cuadro 110. Descripción patio de secado de lodos

No. Fase	012
Estructura	Patio de secado de lodos
Operación unitaria	Deshidratación de lodos
Descripción	Se realiza la deshidratación de los lodos extraídos de los tratamientos secundario y terciario diariamente.
Estructura previa	Tanque de filtro anaeróbico 1 y 2, tanque de reducción de nutrientes 1 y 2.
Estructura posterior	-
Especificaciones	El patio está dividido en 10 cavidades, las cuales se irán llenando una a una cada día. El fondo del patio está lleno con 200 mm de piedrín y 200 mm de arena. Sobre el fondo de arena y piedrín se coloca electro malla para separarlos de los lodos. Cada cavidad tiene un sistema de drenaje conectada a una tubería de recolección principal de lixiviados generados por los lodos, para que nuevamente ingresen a la planta de tratamiento, por lo que cada cavidad tiene un 1% de inclinación, evitando la acumulación del agua.
Volteo de Lodos	<p>Paso 1. Los lodos que han pasado durante 10 días en el patio (1 día en cada cavidad) son extraídos manualmente del patio, para su disposición por una empresa externa.</p> <p>Paso 2. Pasar los lodos de cada cavidad a la cavidad siguiente, apaleando los lodos.</p> <p>Paso 3. Llenar la cavidad que se vació con los lodos provenientes directamente de los tanques encendiendo la bomba correspondiente a la extracción de lodos.</p> <p>Paso 4. Diariamente, luego de la extracción de lodos, se debe agregar 186 kg de cal a los lodos* y revolverlos durante dos horas. Durante el proceso, se debe monitorear que el pH sea igual a 12 con un medidor de pH.</p> <p>*Si el caudal es igual al caudal proyectado (230 m³/día). Si la cantidad es menor, por cada 1 m³/día de lodos producido, se deben agregar 6.26 kg de cal</p>

2. Manual de mantenimiento

a. Personal requerido: Para la correcta y continua operación de la planta de tratamiento de aguas residuales es necesario contar con un operador y un supervisor.

El operador es el encargado del manejo de dosificadores, válvulas, bombas y equipos, así como del monitoreo y documentación. El operador debe estar capacitado para realizar labores de operación y mantenimiento. Sus labores son diarias.

El supervisor es el encargado de interpretar los parámetros de control del sistema, realizar los informes de operación de la planta, así como indicar al operario las acciones a seguir en caso de cualquier eventualidad. El supervisor debe ser un ingeniero con conocimientos en el área ambiental y sistemas de tratamiento. Este debe realizar, como mínimo, una visita por semana a la planta.

b. Capacitación: Es necesario que los operarios de las plantas de tratamiento reciban una capacitación adecuada, para que de este modo realicen su trabajo de forma correcta y eficiente. Dicha capacitación debe tratar conceptos básicos, que permitan al operario comprender bien la función de su trabajo y la importancia del mismo. También es necesario transmitir la importancia de su trabajo y las repercusiones que tiene realizarlo incorrectamente tanto para su seguridad y bienestar, como para el ambiente.

Entre los temas de capacitación se deben incluir:

- Normas de vestimenta
- Seguridad industrial y ocupacional
- Reglamento Interno
- Horarios
- Documentación de procesos
- Manejo de maquinaria y equipo (Operación y mantenimiento)
- Personas de apoyo y supervisores (A quién puede acudir en caso de dudas)
- Tratamiento de aguas residuales

Debe tomarse en consideración que es importante realizar capacitaciones regularmente para garantizar los conocimientos de las personas.

c. Arranque del sistema: El arranque de los tanques de filtrado se puede definir como un periodo de transición inicial, marcado por inestabilidades operacionales. Se puede conseguir de tres formas.

- Utilizar lodo adaptado a las aguas que serán tratadas: en este caso el arranque se da de una forma rápida y satisfactoria, se evita la necesidad de aclimatar el lodo.
- Utilizar lodo no adaptado al tipo de aguas que se pretende tratar, aquí el arranque del sistema pasa por una etapa de aclimatación, incluyendo una fase de selección microbiana.
- Permitir que la planta genere sus propios lodos. Ésta se considera una de las formas más desfavorables ya que se puede tardar desde cuatro hasta 6 meses para lograr el funcionamiento adecuado del sistema.

(Lobo, 2015)

Se deben tomar en consideración para el arranque: el volumen del inóculo, la carga hidráulica volumétrica, así como la climatización de la biomasa.

(1) Volumen del inóculo: Es determinado en función de la carga biológica inicialmente aplicada. Esta carga se refiere a la cantidad de materia orgánica aplicada diariamente al tanque de filtrado, por unidad de biomasa presente en el mismo (Lobo 2015).

$$CB = \frac{Q \cdot S}{M} \quad (E122)$$

Donde

CB = Carga biológica

Q = Caudal (m³/día)

S = Concentración de sustrato del efluente (DQO = kg/m³)

M = Masa de microorganismos presentes en el tanque de filtrado (SST – Sólidos disueltos)

Se recomienda que las cargas biológicas iniciales, durante el arranque sean del orden de 0.05 a 0.5 kg DQO/SST, dependiendo del tipo de efluente. En caso de aguas domésticas, las cargas biológicas pueden ser del orden de 0.30 kg (Lobo 2015).

(2) Carga hidráulica volumétrica. Esta equivale a la cantidad de agua residual aplicada al tanque de filtrado, por unidad de volumen (Lobo, 2015).

$$CHV = \frac{Q}{V} \quad (E123)$$

Donde

Q = Caudal (m³/día)

V = Volumen total del tanque de filtrado (m³)

(3) Climatización de la biomasa. Las principales directrices, para la climatización de la biomasa en tanque de filtrado es de aguas domésticas son las siguientes:

- No regresar al tanque de filtrado, el lodo perdido en el efluente
- Aumentar la carga orgánica progresivamente, siempre que la remoción de DBO y DQO alcance por lo menos 60%.
- Mantener las concentraciones de ácidos grasos volátiles debajo de 200 a 300 mg/l.
- Proveer la alcalinidad necesaria al sistema, de forma que pueda mantener un pH próximo a 7.

(Lobo 2015)

(a) Introducir el lodo al tanque de filtrado. La inoculación, se puede dar tanto con el tanque de filtrado lleno como vacío, sin embargo, se recomienda la segunda opción. En el caso se encuentre vacío se debe cuidar que se descargue en el fondo del tanque de filtrado, se deben evitar las turbulencias, además se debe dejar el lodo en reposo por un período aproximado de 12 a 24 horas con el objetivo de que se dé una adaptación gradual a la temperatura ambiente.

(b) Alimentación del tanque de filtrado. Una vez finalizado el periodo de reposo, se debe iniciar la alimentación del tanque de filtrado con las aguas residuales hasta que alcance aproximadamente la mitad de su volumen útil. Luego se debe dejar sin alimentación por un periodo de 24 horas. Al finalizar este periodo se deben recolectar muestras dentro del tanque de filtrado y efectuar el análisis con el fin de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de los parámetros legales.

Posteriormente, se continúa con el proceso de llenado del tanque de filtrado hasta alcanzar su volumen total. Se debe dejar nuevamente sin alimentación por otro periodo de 24 horas. Al finalizar este periodo se deben recoger nuevamente muestras para que sean analizadas. Además, se debe implantar el monitoreo del sistema en caso no reaccione positivamente. De ser necesario reinicie el arranque.

d. Seguridad e higiene en la planta

(1) Reglamento de seguridad. Los riesgos a los que está expuesto un empleado en instalaciones de este tipo son principalmente las lesiones físicas e infecciones. Éstos se eliminan fácilmente si se toman las medidas de prevención adecuadas. Para mantener el orden y la seguridad en todas las instalaciones del sistema, es necesario implementar las siguientes medidas:

- Mantener limpio y ordenado el espacio de trabajo
- Utilizar el equipo de protección durante la realización de labores
- Mantener todas las áreas de la planta libre de obstáculos que puedan ocasionar caídas
- No usar ropa o zapatos holgados
- No fumar o provocar cualquier tipo de chispa o llama en las áreas cercanas a los tanques
- No ingerir alimentos en ninguna de las áreas de la planta
- Desconectar la alimentación eléctrica de las bombas cuando se ejecuten labores de mantenimiento en ellas y las tuberías. Además, asegurarse que las válvulas estén cerradas para el mantenimiento
- Las cajas de control sólo deben ser operadas por el operador y supervisor de la planta
- Tomar las medidas preventivas para mitigar los riesgos
- Seguir las indicaciones de operación y mantenimiento en la secuencia y formas adecuadas
- Verificar el buen estado del equipo de protección personal, así como las herramientas y equipo de trabajo

Además, el personal debe estar capacitado respecto a las medidas de emergencia, primeros auxilios, así como con las políticas del complejo comercial y residencial respecto a planes de emergencia, evacuación y lugares de reunión.

(2) Riesgos potenciales

Cuadro 111. Riesgos sanitarios

Riesgos sanitarios
<p><u>Determinación de los riesgos</u></p> <p>El agua residual constituye un vector potencial importante de enfermedades por contacto y/o inhalación. Múltiples elementos patógenos pueden tener un efecto dañino sobre la salud humana, entre otros: bacterias, parásitos, virus, hongos.</p>
<p><u>Acciones preventivas</u></p> <p>Las personas relacionadas con la operación de una PTAR deben:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Actualizar sus vacunas 2. Higiene personal 3. Usar ropa que cubren las partes expuestas del cuerpo 4. Usar zapatos industriales con punta de acero 5. Usar guantes de látex desechables 6. Usar mascarilla y redecillas (en su caso) desechables 7. Usar lentes de protección transparentes 8. Evitar el contacto de las manos con la boca, ojos y oídos 9. No consumir alimentos-bebidas y no fumar en zonas operativas 10. Desinfectarse frecuentemente las manos con un gel antibacterial 11. Depositar guantes y máscaras desechables en botes de basura cerrados 12. Lavar y desinfectar frecuentemente su ropa, sus zapatos técnicos, herramientas de trabajo, lápices, etc. 13. Ducharse al terminar su turno 14. Limpiar y desinfectar sus uñas con un cepillo
<p><u>Acciones de emergencia</u></p> <p>En caso de un contacto accidental con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La piel: uso de gel antibacterial, limpieza con agua y jabón • Herida abierta: limpiar y desinfectar, consultar a un médico • Ojos: enjuague abundante con agua limpia, consultar a un médico • Oído interno: consultar a un médico • Ingestión: consultar un médico a la brevedad posible

Fuente: (InterPro France, 2016)

Cuadro 112. Riesgos químicos

Riesgos químicos
<p><u>Determinación de los riesgos</u></p> <p>El tratamiento del agua residual puede requerir del uso de varios productos químicos potencialmente peligrosos para la salud humana. Entre los principales usos: desinfección (hipoclorito de sodio, tricloro, gas cloro, ozono), neutralización de pH (soda cáustica, cal, ácido nítrico), coagulación</p>
<p><u>Acciones preventivas</u></p> <p>Las personas que manipulan productos químicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Almacenar los productos químicos en espacios bien ventilados 2. Separar los productos químicos de composiciones diferentes para evitar incendios o reacciones secundarias 3. Rotular correctamente los envases de productos químicos de composiciones diferentes 4. Al verter un producto químico en un recipiente o tanque, asegurarse que no contenga otro residuo químico (peligro de reacción exotérmica en caso de pH diferentes y/o generación de gases nocivos) 5. Al diluir un producto químico, verter primero el agua y luego completar con el producto químico 6. Usar máscaras con filtros apropiados (usualmente de carbón activado) 7. Usar ropa cubren todas las partes del cuerpo 8. Usar zapatos industriales de punta de acero 9. Usar guantes largos de látex desechables o mejor de neopreno 10. Usar lentes de protección transparentes 11. No consumir alimentos-bebidas y no fumar en zonas operativas
<p><u>Acciones de emergencia</u></p> <p>En caso de un contacto accidental con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La piel: enjuague abundante, consultar a un médico en caso de quemaduras • Los ojos: enjuague abundante con agua limpia, consultar a un médico • Por inhalación de gases o ingestión de químicos: consultar a un médico, llamar al servicio de emergencia en caso de pérdida de consciencia
<p><u>Equipo de seguridad</u></p> <p>Guantes, máscaras con filtros, botas de hule, lentes de protección transparentes, traje especial para trabajo en planta.</p>

Fuente: (InterPro France, 2016)

Cuadro 113. Riesgos con gases orgánicos

Riesgos con gases orgánicos
<p><u>Determinación de los riesgos</u></p> <p>La materia orgánica contenida en el agua residual puede generar gases letales cuando se degrada en ausencia de oxígeno (fermentación). El peligro de estos gases reside en el hecho de ser inodoros a concentraciones elevadas. Entre los gases más peligrosos: el ácido sulfhídrico (olor a huevo podrido a baja concentración) y el metano.</p>
<p><u>Acciones preventivas</u></p> <p>Las personas que deban realizar trabajos a proximidad de un almacén de agua residual o de lodos no aireado en continuo (materia sin oxígeno disuelto) deben:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Utilizar un equipo portátil de medición de concentración de gases (ácido sulfhídrico y de metano, etc.) con alarma, antes y durante los trabajos a realizar <p>En espacios abiertos (ventilación limitada)</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Usar máscaras (integral recomendada) con filtros apropiados (usualmente de carbón activado), 3. Asegurar el trabajador con arnés de seguridad y línea de vida 4. Trabajar en equipo <p>En espacios confinados (ventilación nula)</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Contratar profesionales experimentados con equipos especiales (tanques autónomos de respiración)
<p><u>Acciones de emergencia</u></p> <p>En caso de un contacto exposición a gases:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Niveles bajos: llevar a la víctima a un lugar fresco y bien ventilado, consultar a un médico • Niveles altos: si no respira, proporcione respiración artificial. Obtenga atención médica de inmediato.
<p><u>Equipo de seguridad</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Máscaras de gases, arneses, medidor de concentración de gases, tanques autónomos de respiración, línea de vida.

Fuente: (InterPro France, 2016)

Cuadro 114. Riesgos eléctricos

Riesgos eléctricos
<p><u>Determinación de los riesgos</u></p> <p>Los riesgos eléctricos con alta o media tensión son reales en PTAR debido al uso de transformadores, tableros y equipos electromecánicos en un entorno muy húmedo y corrosivo. Los riesgos principales son: quemaduras, muerte por paro cardíaco.</p>
<p><u>Acciones preventivas</u></p> <p>Las personas que manipulen equipos eléctricos deben:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tener los equipos y tableros conectados a tierra. El cableado debe respetar las normas de seguridad industrial 2. Usar zapatos aislantes, casco y lentes de protección 3. Verificar que la zona de intervención está seca 4. Colocar una alfombra aislante 5. Cortar la alimentación eléctrica antes de proceder a controles o reparaciones 6. Comprobar la ausencia de alimentación eléctrica con un voltímetro 7. Trabajar con herramientas especiales para electricidad
<p><u>Acciones de emergencia</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • No toque a la persona • Interrumpa la fuente de suministro de corriente • Con ausencia de respiración y pulsos: primeros auxilios • Llamar al servicio de emergencia • Con quemadura de primer tipo: rociar con agua limpia la quemadura y consultar a un médico a la brevedad posible • Con quemadura de segundo y tercer tipo: llamar al servicio de emergencia
<p><u>Equipo de seguridad</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Casco, lentes de protección, calzado aislante, multímetro, conexiones a tierra

Fuente: (InterPro France, 2016)

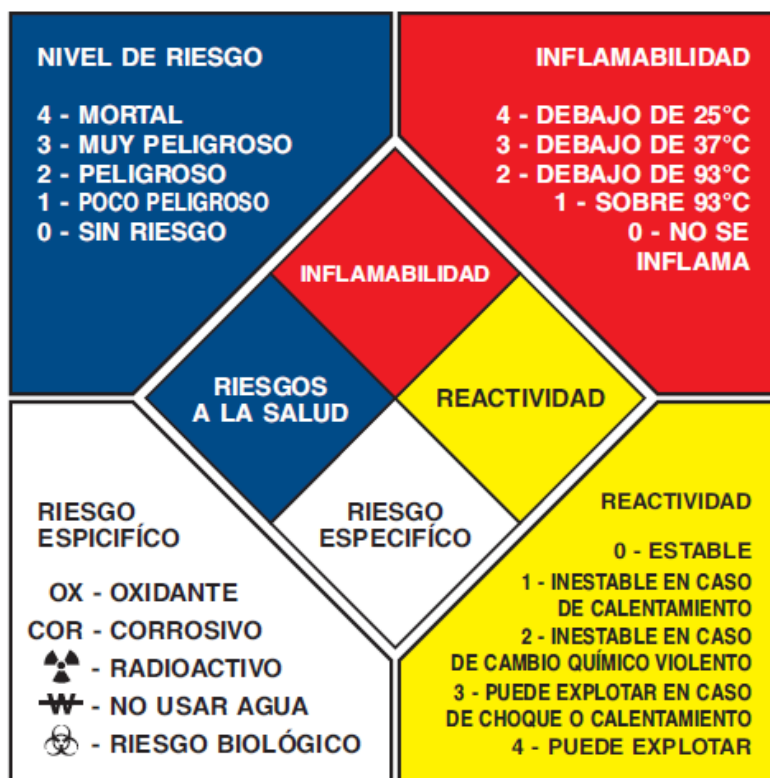
Cuadro 115. Riesgos con equipos pesados

Riesgos con equipos pesados
<p><u>Determinación de los riesgos</u></p> <p>El peso de los equipos de una PTAR (bombas, motores, compresores, etc.) puede sobrepasar los 100 KG. Las lesiones pueden ser agravados por los riesgos sanitarios inherentes a una PTAR. Los equipos, metálicos, suelen tener partes afiladas que pueden infligir cortes profundos y peligrosos. Las caídas de equipos pueden provocar sangrado o hemorragias internas.</p>
<p><u>Acciones preventivas</u></p> <p>Las personas que manipulen equipos pesados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar zapatos con punta de acero • Utilizar un casco de seguridad • Utilizar faja lumbar para proteger la espalda • Utilizar guantes de mallas metálicas • De ser posible, utilizar equipo de levantamiento mecánico
<p><u>Acciones de emergencia</u></p> <p>En caso de accidente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Golpe fuerte: consultar a un médico a la brevedad para evitar el riesgo de un sangrado interno • Fractura: llamar al servicio de emergencia y proporcionar los primeros auxilios • Sangrado: llamar al servicio de emergencia y proporcionar los primeros auxilios
<p><u>Equipo de seguridad</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Guantes, faja lumbar, casco, calzado industrial

Fuente: (InterPro France, 2016)

(3) Manejo de materiales y reactivos: Para prevenir los riesgos de las sustancias químicas que se manejan en las instalaciones, es necesario establecer formato identificación, por medio de códigos de colores y bandas de identificación. Los riesgos que presentan las sustancias químicas en su manejo se clasifican de acuerdo a los posibles daños que provocan a la salud de los trabajadores, la susceptibilidad de la sustancia para arder, para liberar energía o cualquier tipo de problema clasificado en el rombo de seguridad (CEA Jalisco, 2013).

Figura 78. Rombo de seguridad



Fuente: (CEA Jalisco, 2013)

El código para identificar las sustancias químicas, así como los recipientes que los contengan, deben considerar lo siguiente:

- Nombre o código de la sustancia
- Tipo y grado de riesgo
- Forma geométrica
- Información complementaria (riesgo especial, equipo de protección personal, etc.)

(CEA Jalisco, 2013)

(a) Ácidos. Los ácidos como el ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido fosfórico y ácido sulfúrico son usados para ajustar el pH y para limpiar el equipo. Son muy peligrosas al tacto aún en concentraciones diluidas. No se deben mezclar los ácidos con sustancias alcalinas, excepto cuando tengan situaciones absolutamente controladas. Siempre se debe agregar lentamente el ácido al agua. Nunca se debe realizar el proceso inverso (CEA Jalisco, 2013).

Nunca se debe tocar o palpar un ácido a menos que se porten protectores que soporten y protejan del ácido. Se debe utilizar guantes y ropa adecuada de protección. Es importante evitar oler o inhalar las emanaciones de los ácidos y sus vapores, ya que la garganta puede resultar seriamente dañador. Es necesario utilizar protección para los ojos (CEA Jalisco, 2013).

(b) Corrosivos: Los químicos corrosivos incluyen a los de pH alto, con alrededor de 9 unidades. Algunos de los materiales que se utiliza en la PTAR considerados como corrosivos son: el hidróxido de calcio (cal hidratada), hidróxido de sodio (soda cáustica) y el óxido de calcio (cal viva). Estos químicos son usados para agregar coagulantes, ajustar el pH, como en el patio de secado de lodos, limpiar filtros y neutralizar derrames de ácidos. El químico utilizado en la planta es hipoclorito de calcio (al 65%) (CEA Jalisco, 2013).

Cuando se encuentran en forma seca o líquida y son mezclados con agua, las reacciones liberan de forma muy rápida hidrógeno gaseoso, el cual tiene una alta explosividad. Si la mezcla se realiza en áreas cerrada la expansión puede romper el recipiente donde tiene lugar. Además, se deben evitar inhalar los vapores e inhalaciones. Se debe portar protección ocular, así como guantes para evitar el contacto con la piel (Aris Industrial, 2016).

(4) Herramientas y materiales

(a) Equipo de protección personal.

- Uniforme
- Guantes de látex y de malla
- Lentes de protección
- Botas con punta de acero y suela antideslizante
- Botas de hule
- Redecilla
- Mascarilla
- Cubrebocas
- Casco

- Faja lumbar
- Linterna
- Tapones de oído

(b) Materiales para toma de muestras

- Frascos estériles
- Guantes de Látex
- Hielera
- Cooler con icepack
- Termómetro láser
- Cinta de Ph

(c) Herramientas y equipo de mantenimiento

- Carretillas de mano
- Pala
- Cuchara con asa metálica
- Caja de herramientas con: martillo, alicate, clavos, llave expansiva, llave de tubo, etc.
- Manguera para lavado
- Rastrillo
- Cepillo
- Escoba
- Colador
- Fósforos

e. Muestreos en la planta: El muestreo debe tomarse de los flujos de agua residual los lodos en varios puntos del proceso de tratamiento, incluyendo las entradas de registro, los tanques, así como en la salida del caudal. En la etapa de recolección de muestras se debe utilizar el equipo de seguridad adecuado. Después de cada muestreo es conveniente lavarse las manos con agua y jabón abundante. Se recomienda una frecuencia de muestreo de una vez cada 2 o 3 semanas de los parámetros definidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, "Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos".

(1) Tipos de muestra. En la planta se usan las muestras puntuales y las muestras compuestas, dependiendo del parámetro a determinar.

Muestra puntual: Es la muestra tomada en un lugar representativo, en un determinado momento. Se utilizan para medir parámetros como pH, temperatura, sólidos suspendidos (Quintero, 2013).

Muestra compuesta: Es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por periodos determinados, las cuales pueden tener volúmenes iguales o ser proporcionales al caudal durante el periodo de muestras. Estas se utilizan para medir DQO (Quintero, 2013).

(2) Procedimiento para la toma de muestras. Se debe tener una muestra que represente con exactitud el material donde procede y evitar que se produzcan alteraciones en su composición antes que se realicen las pruebas correspondientes. Para realizar la toma de muestra se deben tener las siguientes precauciones (Quintero, 2013):

- En caso de que la muestra sea compuesta o integrada, se sugiere mantener los recipientes de las diferentes muestras puntuales, ubicados a la sombra y tapados para evitar alteraciones en las características de la muestra por elementos extraños.
- Antes de llenar el envase con la muestra, lavar 2 o 3 veces el recipiente con el agua que va a ser recolectada. De ser posible, esterilizar el recipiente
- Realizar la toma con cuidado para garantizar que los resultados analíticos representen la composición real.
- Llevar un registro con la información suficiente, que debe contener: nombre de quién toma la muestra, fecha, hora, localización, temperatura del agua, condiciones meteorológicas, nivel del agua.
- Refrigerar la muestra una vez recolectada.
- Tomar la muestra en el centro de la corriente a una profundidad media.

(Quintero, 2013)

f. Mantenimiento de equipos

(1) Preventivos

(a) Rejillas. Las rejillas se deben limpiar una vez al día, preferiblemente en la mañana antes de la hora de mayor caudal. Esto se puede realizar de forma manual o con el uso de un rastrillo. Los desechos orgánicos se deben colocar en el patio de secado de lodos y el resto depositarlos en la basura.

- Paso 1. Tomar una cubeta vacía junto con el rastrillo
- Paso 2. Agacharse, para recoger la basura y sólidos atrapados por la rejilla, con el rastrillo y colocar los desechos en la cubeta
- Paso 3. Disponer la basura y sólidos en un basurero para desechos sólidos, si la rejilla presenta lodos

- Paso 4. Recoger con una pala los lodos, y disponerlos en una cubeta
- Paso 5. Trasladar los lodos a el patio de secado de lo Se deben inspeccionar una vez por semana las rejillas de forma detallada. Hay que revisar que las superficies de concreto no presenten rajaduras y que los barrotes no estén quebrados o corroídos, en caso contrario deben ser reparadas. Si se presenta un deterioro grave, se debe realizar el remplazo del elemento.

(b) Caja de lixiviados. Se deben limpiar las superficies de concreto cada 2 días.

- Paso 1. Tomar cepillo, agua y cubeta.
- Paso 2. En caso haya sedimento, debe recogerse con pala y colocarse en la cubeta, para luego disponerse en el lecho de secado. Si la extracción del material es muy difícil se puede utilizar agua a presión en pequeñas cantidades. Las superficies de concreto se deben inspeccionar una vez a la semana para identificar daños tales como rajaduras, desgaste o grietas. Si se presenta un deterioro grave, debe ser reparado.
- Materiales y equipo: Mascarilla, guantes, botas, cepillo, pala, manguera, cubeta.

(c) Trampa de grasas: Se deben limpiar cada dos semanas.

Figura 79. Colador para trampa de grasa



Fuente: (Carrillo, 2014)

- Paso 1. Tomar cubeta y colador para trampa de grasas.
- Paso 2. Destapar y extraer los flotantes que son las natas de grasas y aceites, usar un colador que le permita retirarlos. Si hay lodos presentes en la trampa, retirar los lodos del

fondo dejando un residuo aproximado al 20% del total con una pala. Colocar los lodos y las grasas en cubetas separadas. Los lodos deben colocarse en el patio de secado de lodos. Las grasas se deben vaciar en fundas o bolsas completamente cerradas y listas para depositarlas en el basurero de desechos sólidos.

- Paso 3. Remover grasas, aceites y sólidos del fondo de la trampa usando espátulas, palas o herramientas que le permitan realizar esta labor.
- Paso 4. Recoger y transportar las natas y lodos, preferibles en canecas, retirándole toda el agua posible. Evitar cualquier derrame.
- Las grasas se deben vaciar en fundas o bolsas completamente serradas y listas para depositarlas en la basura.
- Materiales y equipo: Mascarilla, botas, guantes, colador con orificios, palas, espátulas, caneca, bolsas.

(Carrillo, 2014)

(d) Canaleta Parshall. Se debe realizar el mantenimiento diariamente.

- Paso 1. Cada hora leer la lámina de agua en la rejilla y anotar el valor del caudal en las bitácoras de registro diario.
- Paso 2. Con un cepillo se debe remover el material adherido a las paredes de la canaleta
- Paso 3. Revisar que las paredes de la canaleta no presenten abolladuras o rajaduras. De lo contrario debe reportarse al supervisor.

(Lopera, 2014)

(e) Tanque sedimentador primario. La estructura debe ser inspeccionada una vez al mes, para revisar que las superficies de concreto no presenten rajaduras o daños. De lo contrario, deben ser reparadas. Para darles mantenimiento, cada 18 meses, todos los tanques tienen un mantenimiento profundo.

- Paso 1. Se debe vaciar el tanque por la llave de purga en la parte inferior al tanque. Depositar los lodos que se extraigan depósitos plásticos (toneles) para luego disponer de los lodos en el patio de secado de lodos.
- Paso 2. Con agua a presión, lavar las paredes del tanque. El agua debe recolectarse en un depósito y ser recirculada en la planta de tratamiento. Se puede verter en la caja de lixiviados.
- Paso 3. Inspeccionar la estructura interna del tanque. Observar que no hayan rajaduras ni daños superficiales. De lo contrario se debe reportar.

(f) Tanque de filtro anaeróbico. Una vez por semana se debe realizar la inspección de la entrada del flujo y corroborar que no exista la presencia de materia flotante o natas. De lo contrario, deben ser retiradas con el colador, y colocadas en el patio de secado de lodos (Lobo, 2015).

Cada 18 meses es necesario realizar un retrolavado del tanque. Consiste en hacer pasar agua en dirección descendente por el filtro, se puede llevar a cabo colocando agua limpia por la parte superior del filtro y de ser posible a presión.

- Paso 1. Se debe colocar una manguera conectada en la llave de purga de la bomba de succión de lodos, en la cámara de entrada al filtro por debajo del fondo falso.
- Paso 2. Encender la bomba se produce una succión que hace que el agua en el filtro fluya en dirección descendente, produciendo el retrolavado (Lobo, 2015).
- Paso 3. El agua debe recolectarse en un depósito (tonel plástico) y ser recirculada en la planta de tratamiento. Se puede verter en la caja de lixiviados.

(g) Filtro de colmena. Mensualmente se debe inspeccionar que exista área superficial donde se pueda crear la película de biomasa.

- Paso 1. Inspeccionar el tamaño de la película de la biomasa en el filtro.
- Paso 2. Si ya no se logra ver la capa plástica, se deben retirar del tanque con un colador.
- Paso 3. Lavar con agua a presión los filtros de colmena.

Al realizar el vaciado del tanque de filtro anaeróbico, cada 18 meses, se deben lavar los filtros de colmena. Se debe limpiar la película de biomasa, para que se forme nuevamente dentro del tanque. Se puede retirar la película con un cepillo y agua.

(h) Quemadores de gas. Es importante realizar el mantenimiento de estas unidades para evitar la generación de malos olores.

- Paso 1. Se debe encender un fósforo y lentamente abrir la válvula del quemador
- Paso 2. Hay que colocar el fósforo cerca de la tubería de salida de gas y esperar a que encienda.
- Paso 3. Luego se debe dejar quemando por espacio de una hora o hasta que se extinga la llama. Esta práctica se debe realizar diariamente

(Lobo, 2015)

(i) Tanque de reducción de nutrientes. La limpieza del tanque se da cada 18 meses, con el mantenimiento de los otros tanques.

- Paso 1. El tanque debe drenarse
- Paso 2. Limpiar las paredes internas del tanque con agua a presión y escoba para remover residuos.

(j) Mantenimiento de Agitadores. El mantenimiento habitual (cambio de lubricante del reductor y del rodamiento) es sencilla ya que el accionamiento y sellado están fuera del tanque. Los agitadores superiores a menudo usan un sencillo sellado de agua. Si cuenta con un sello de agua, deben tomarse precaución en controlar el nivel del agua.

Se puede dar mantenimiento a los agitadores cuando se le de mantenimiento a los tanques. Para lograr esto, el tanque debe ser drenado y limpiado y todas las medidas de seguridad tomadas antes de que cualquier operario se introduzca en el digestor. El mantenimiento constará de la limpieza de la hélice, así como el cambio de cojinete y los rodamientos de ser necesario. (Gosuma, 2015)

(k) Tanque de desinfección. La limpieza del tanque se da cada 18 meses, con el mantenimiento de los otros tanques. El tanque debe drenarse y limpiarse las paredes internas. Esto puede realizarse con agua a presión.

(l) Patio de secado de lodos. En cuanto al mantenimiento del lecho, éste consistirá en reemplazar la arena perdida durante la remoción del lodo seco, por arena nueva de igual calidad a la señalada en el proyecto.

- Paso 1. Antes del volteado de lodos, verificar si la capa de arena y de piedrín ha disminuido más debajo de la marca que indica el nivel de estas capas.
- Paso 2. Remover electro malla utilizando guantes
- Paso 3. Reemplazar la capa de arena y piedrín utilizando una pala. Verificar que quede al nivel requerido
- Paso 4. Colocar nuevamente electro malla.

Igualmente, se debe prevenir el crecimiento de vegetales de todo tipo. En el caso eventual de que el lecho muestre una tendencia a obstruirse, toda la capa de arena debe reemplazarse por arena de una granulometría mayor en cuanto a la gradación y tamaño efectivo (Lopera, 2014).

(m) Tuberías. Las tuberías deben mantenerse limpias completamente sin obstrucciones o acumulaciones de cualquier naturaleza. Éstas se encuentran en la parte exterior superior de los pre tratamientos y el filtro anaeróbico. También se deben limpiar las tuberías de la cámara de distribución de afluentes. Para su limpieza se debe remover con una varilla la suciedad que se encuentre adherida a éstas y agregar agua a presión hasta que la tubería esté limpia (UTP, 2014).

(n) Bombas.

- Revisiones diarias:
 - Filtro de succión: Verificar la diferencia entre presión entre los manómetros colocados a cada lado del filtro. Si la caída de presión aumenta, el filtro necesita limpieza.
 - Flujo de bomba: Revisar los medidores de succión y descarga de presión
 - Fugas por los empaques: Debe existir alguna fuga por los empaques para mantenerlos lubricados y para prevenir que el aire exterior entre por el collarín. El escape deberá ser de por lo menos veinte gotas por minuto como mínimo.
 - Temperatura de cojinetes: Revisar la temperatura de los cojinetes. La mayoría, funcionan normalmente entre 60 ° C y 66 ° C.
- Revisiones semanales:
 - Rotación del eje: Se debe girar el eje manualmente una vuelta y cuarto para lubricar los cojinetes y prevenir el atasque del eje
 - Tubería auxiliar: Vea si hay fugas en las conexiones
 - Vibración del eje y de los cojinetes: Verificar con un medidor de vibración manual de los cojinetes y el eje. No debería exceder de 0.002”
- Revisiones adicionales (periódicamente)
 - Lubricación de cojinetes
 - Consumo de energía
 - Pernos de sujeción
 - Inspección interna

(Sena, 2013)

Nota: Para el mantenimiento de equipos, se sugiere adicionalmente tomar en consideración las especificaciones del proveedor.

(2) Correctivos. Durante la operación normal de este tipo de sistemas, pueden surgir una serie de problemas que disminuyen la calidad del proceso, desfavoreciendo las condiciones ambientales del efluente y de los alrededores.

Las soluciones pueden ser aplicadas directamente por el operario de la planta. Sin embargo, en caso de que las condiciones persistan o de que el problema sea de gran importancia, debe recurrirse al encargado del sistema. A continuación, se presenta un cuadro donde se indican problemas específicos del sistema, sí como las posibles causas y soluciones (Lobo, 2015):

Cuadro 116. Causas y soluciones a los problemas más frecuentes de mantenimiento

Problema	Posible causa	Posibles soluciones
Generación de olores desagradables	Sobrecarga de agua residual con una consecuente reducción del tiempo de retención	Disminuir el caudal afluente en la unidad con problemas
	Elevadas concentraciones de azufre en el agua cruda	Analizar la posibilidad de reducir las concentraciones de sulfatos en el sistema
	Elevadas concentraciones de ácidos grasos en el tanque de filtrado, alcalinidad reducida y/o disminución en el pH.	Agregar cal hidratada, con el objetivo de elevar la alcalinidad del tanque de filtración y mantener el pH próximo a 7
Contenido elevado de sólidos suspendidos	Sobre carga de caudal, lo que genera elevadas velocidades superficiales	Disminuir el caudal del afluente en la unidad con problemas
	Elevadas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente	Verificar la posibilidad de remover los sólidos antes de llegar a los tanques de filtrado. Revisar sedimentadores
	Exceso de sólidos en el tanque de filtrado	Realizar la purga de los lodos del tanque
Proliferación de insectos	Presencia de una capa de espuma que normalmente se crea en el tanque o en el efluente	Aplicar dosis adecuadas de algún tipo de insecticida que no perjudique el funcionamiento de los tanques
		Remover la capa de espuma y enterrarla debidamente
Fluctuación en la cantidad de flóculos	Sobrecarga de agua residual con una consecuente reducción del tiempo de retención.	Disminuir el caudal del afluente en la unidad con problemas

Fuente: (Lobo, 2015)

g. Evaluación operacional. Para controlar las condiciones de funcionamiento de las lagunas y evaluar las medidas de mantenimiento que se aplicarán, se requiere el monitoreo y análisis de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. A continuación, se muestran los parámetros que deben monitorearse, así como su frecuencia mínima e ideal de monitoreo.

Cuadro 117. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Mínimo	Ideal
Cauda del afluente	1 vez por día	Continuo
Caudal del efluente	1 vez por semana	-
Temperatura del agua*	1 vez por semana	1 vez por día
pH*	1 vez por semana	1 vez por día
Color*	1 vez por día	-
DBO del afluente*	2 vez por mes	1 vez por semana
DBI del efluente*	2 vez por mes	1 vez por semana
Sólidos suspendidos del afluente*	2 vez por mes	1 vez por semana
Sólidos suspendidos del efluente*	1 vez por mes	1 vez por semana

*En cada fase. Fuente: (Arriaza, 2009)

Cuadro 118. Monitoreo de parámetros biológicos

Parámetro	Mínimo	Ideal
Coliformes totales y fecales del afluente	1 vez por mes	-
Coliformes totales y fecales del efluente	1 vez por semana	-

Fuente: (Arriaza, 2009)

h. Bitácora de la planta de tratamiento: Diariamente, el operador debe realizar la inspección de parámetros de operación. Debe llevar un registro de los datos obtenidos de la planta, así como los insumos que utiliza diariamente. A continuación, se muestra los registros que debe llenar diariamente con el fin de llevar un registro histórico.

Cuadro 119. Registro caudal

Fecha Dia/Mes/Año	Hora de medición	Caudal	Observaciones	Firma de recibido

Cuadro 120. Registro patio de lodos

Fecha Día/Mes/Año	Hora de medición	Lodos producidos	pH	Cal añadida (kg)	Observaciones	Firma de recibido

Cuadro 121. Registro bombas dosificadoras

Fecha Día/Mes/Año	Hora de medición	Dosis de bacterias	Dosis de hipoclorito de calcio	Observaciones	Firma de recibido

Cuadro 122. Registro mantenimiento fases 01-06

Fecha Día/Mes/Año	01	02	03	04	05	06	Observaciones

Cuadro 123. Registro mantenimiento fases 07-012

Fecha Día/Mes/Año	07	08	09	010	011	012	Observaciones

3. Presupuesto

a. Costos de los recursos

(1) Obra gris

Cuadro 124. Desgloce de costos caja de rejillas 1

Descripción	Precio
Materiales	Q 2,907.54
Mano de obra	Q 1,453.77
Costo directo	Q 4,361.32
Costo indirecto	Q 1,526.46
Total	Q 5,887.78

Cuadro 125. Desglose de costos de caja de rejillas 2

Descripción	Precio
Materiales	Q 5,477.02
Mano de obra	Q 2,738.51
Costo directo	Q 8,215.52
Costo indirecto	Q 2,875.43
Total	Q 11,090.96

Cuadro 126. Desglose de costos trampa de grasa

Descripción	Precio
Materiales	Q 2,412.15
Mano de obra	Q 1,206.07
Costo directo	Q 3,618.22
Costo indirecto	Q 1,266.38
Total	Q 4,884.60

Cuadro 127. Desglose de costos canaleta Parshall

Descripción	Precio
Materiales	Q 2,907.54
Mano de obra	Q 1,453.77
Costo directo	Q 4,361.32
Costo indirecto	Q 1,526.46
Total	Q 5,887.78

Cuadro 128. Desglose de costos sedimentador primario

Descripción	Precio
Materiales	Q 12,726.76
Mano de obra	Q 6,363.38
Costo directo	Q 19,090.14
Costo indirecto	Q 6,681.55
Total	Q 25,771.68

Cuadro 129. Desglose de costos tanques filtro anaeróbico*

Descripción	Precio
Materiales	Q 36,358.17
Mano de obra	Q 18,179.08
Costo directo	Q 54,537.25
Costo indirecto	Q 19,088.04
Total	Q 73,625.29

*Costos para 2 tanques.

Cuadro 130. Desglose de costos de patio de secado de lodos

Descripción	Precio
Materiales	Q123,854.05
Mano de obra	Q61,927.03
Costo directo	Q185,781.08
Costo indirecto	Q65,023.38
Total	Q250,804.45

(2) Materiales y equipo

Cuadro 131. Costos tanque de reducción de nutrientes

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Tanque Rotoplas de 22000 L (LTS R 20%)	2	Q 36,184.50	Q72,369.00

Cuadro 132. Costos bombas dosificadoras

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Bomba dosificadora Stenner Econ VX	2	Q2,950.00	Q5,900.00

Cuadro 133. Costos agitadores

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Agitador 745.7W (1HP) Heavy Duty Clamp Mount	2	Q 10,352.48	Q 20,704.96
Costos de importación	2	Q 5,500.70	Q 11,001.40
Agitador 1,118.55W (1.5HP) Heavy Duty Clamp Mount	1	Q 3,533.00	Q 3,533.00
Costos de importación	1	Q 1,744.43	Q 1,744.43
Total			Q 36,983.79

Cuadro 134. Costos bombas centrífugas

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Bomba Sta-Rite 3/4 HP PSNDH	2	Q 2,421.00	Q 4,842.00
Bomba Foras 1 HP JET 115	1	Q 1,200.00	Q 1,200.00
Total			Q 6,042.00

Cuadro 135. Costos accesorios

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
Tubería PVC 4"	Metros	40	Q 101.85	Q 4,074.00
Tubería PVC 1.5"	Metros	15	Q 19.63	Q 294.45
Tubería PVC 2"	Metros	20	Q 28.66	Q 573.20
Tubería HG 3/4"	Metros	25	Q 45.00	Q 1,125.00
Válvula de compuerta 4"	Unidad	9	Q 1,130.00	Q 10,170.00
Válvula de compuerta 1.5"	Unidad	3	Q 190.00	Q 570.00
Válvula de compuerta 2"	Unidad	2	Q 280.00	Q 560.00
Válvula de Cheque 3/4	Unidad	2	Q 74.00	Q 148.00
Total				Q 17,514.65

(3) Trámites legales

Cuadro 136. Costo trámites legales

Descripción	Precio
Estudio de impacto ambiental	Q 15,000
Estudios geotécnicos (CONRED)	Q 5,000
Estudio de suelos	Q 15,000
Permisos de construcción - Área de Saneamiento Ambiental (Ministerio de Salud)	Q 5,000
Total	Q40,000

Fuente: (Recari, 2017)

b. Clasificación de recursos

Cuadro 137. Clasificación de recursos

Descripción	Precio
Materiales	Q 186,643.23
Equipo	Q 138,809.44
Mano de obra	Q 93,321.61
Costo directo	Q 418,774.28
Costo indirecto	Q 103,657.42
Subtotal	Q 522,431.70
Trámites legales	Q 40,000.00
Total	Q 562,431.70

c. Presupuesto del rediseño

El presupuesto del rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial es de Q 562,431.70.

I. Módulo 9: Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido al personal administrativo del complejo comercial y residencial

1. Diagnóstico de necesidades de capacitación

a. Instrumentos

(1) Instrumento 1: Entrevista con el responsable del proyecto en el complejo.

Cuadro 138. Entrevista semiestructurada, dirigida al jefe de operaciones del complejo

Preguntas	Respuestas
1. ¿Cuál es la situación actual de las plantas de tratamiento de aguas residuales del complejo?	"Funcionan, pero no al 100%. Necesitan reparaciones e inversión en varios aspectos en general. La ubicación y seguridad industrial debe mejorar. El operario de la planta debe conocer también varios aspectos para manejarla mejor"
2. ¿Conocen los colaboradores del complejo la problemática existente respecto a las plantas de tratamiento?	"No todos, los que están más relacionados son los del departamento de recursos hídricos porque de alguna manera es su área, sin embargo, desconozco realmente la situación puntual respecto al departamento, por lo que considero que sería necesario y útil medir qué tan involucrados están y cuánto saben sobre aspectos básicos del manejo de recurso hídrico, marco legal y esos temas".
3. ¿Cuál es el nivel de conocimiento que posee el personal respecto al tema del manejo del recurso hídrico?	"Muy pocos saben, y quisiera que, como parte de grupo del complejo, supieran también lo básico por lo menos. Para que en determinado momento alguien pregunta o nos visita a cualquiera del personal que le pregunte pueda responder lo básico sobre las plantas de tratamiento y por qué es importante y valioso tenerla."

Continuación Cuadro 138.

Preguntas	Respuestas
4. ¿Existe algún medio o recurso al cual los colaboradores puedan avocarse para obtener información sobre las plantas de tratamiento que posee el complejo u otros temas relacionados con el manejo del recurso hídrico?	El manual de operaciones es el que contiene la mayoría de información sobre los temas administrativos relacionados con el complejo, pero algo específico que diga qué es una planta, cómo funciona y esas cosas no hay"
5. ¿Cómo desea involucrar el aspecto educativo para resolver la problemática expuesta?	Quisiera que ustedes me apoyaran con diseñar material para educar a la gente o alguna otra estrategia para que el personal conozca lo básico sobre el manejo adecuado del agua y cultura ambiental"

Interpretación: como resultado de la entrevista y de acuerdo con el objetivo propuesto que consistió en conocer las necesidades específicas del complejo y la problemática a resolver, para identificar las opciones y posibles temas a capacitar, se puede determinar lo siguiente:

Problemática:

- Las plantas de tratamiento funcionan, pero no al 100%
- La ubicación y seguridad deben mejorar
- El operario debe conocer mejor procesos sistemáticos de operación de la planta

Necesidades:

- Definir el nivel de aprendizajes técnicos sobre recursos hídricos que posee el personal del departamento
- Identificar el nivel de aprendizajes técnicos sobre recursos hídricos del departamento administrativo
- Diseñar de material informativo sobre aprendizajes técnicos de recursos hídricos
- Seleccionar estrategias de aprendizaje para capacitación del personal

Departamento Administrativo:

El área administrativa del complejo esta conformada por un estimado de 11 departamentos, con una población de 100 colaboradores aproximadamente, según lo indicó el responsable del proyecto en el complejo. A continuación se observa la participación de los colaboradores y departamentos en los cuales laboran, según su participación en la respuesta de

instrumentos (cada colaborador al responder la encuesta escribió en el primer espacio de la misma, el nombre del departamento al cual pertenece):

Cuadro 139. Participación de colaboradores y departamentos en los cuales laboran.

Departamentos del área administrativa del complejo	Total de participaciones registradas por departamento
Gerencia	1
Recursos hídricos	5
Finanzas	7
Recursos humanos	2
IT	1
Diseño	3
Mercadeo	2
Tesorería	1
Seguridad	5
Ventas	3
Comercialización y Administración comercial	6
Total	36

(2) Instrumento 2: Encuesta Modalidad presencial al Personal administrativo del Departamento de Recursos Hídricos

A continuación, se presenta la encuesta en modalidad presencial dirigida a colaboradores del personal administrativo del departamento de recursos hídricos y una breve descripción.

Figura 80. ¿Sabe usted cuál es la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales?

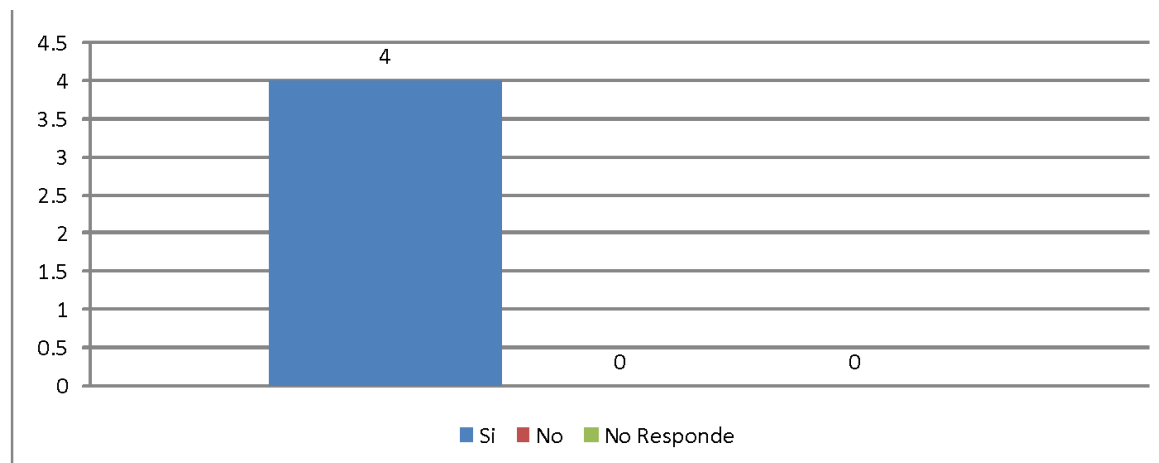


Figura 81. ¿Identifica cómo opera actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales?

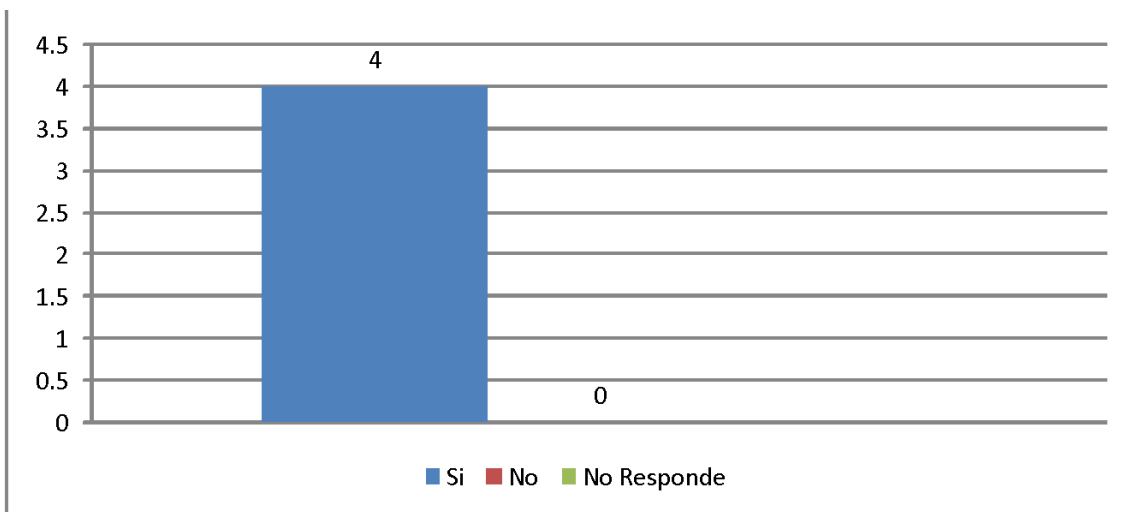


Figura 82. ¿Sabe usted de la situación actual acerca del recurso hídrico en Guatemala?

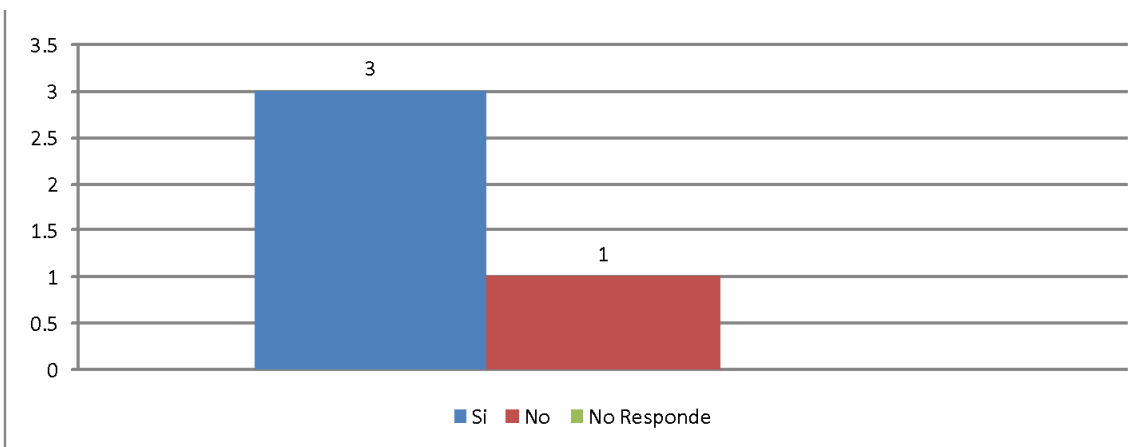


Figura 83. ¿Cuál es la legislación nacional referente al agua potable y qué aspectos monitorea?

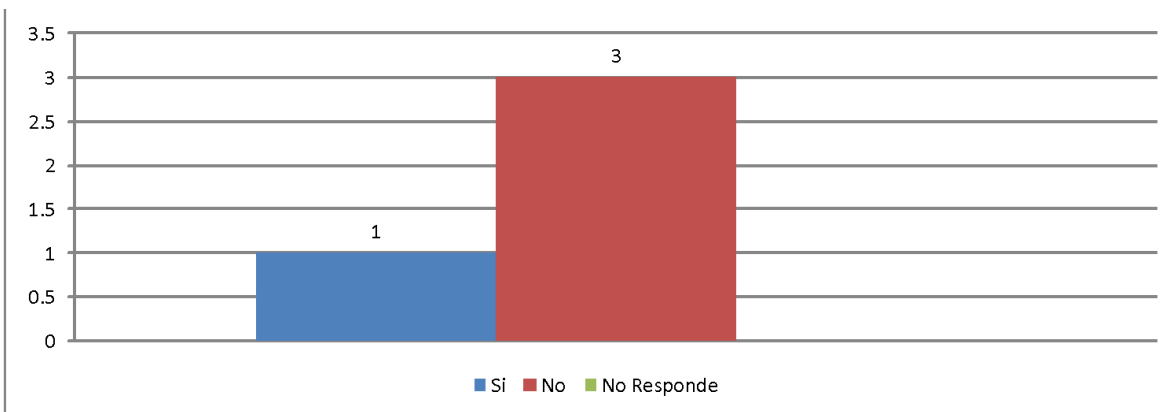


Figura 84. ¿Qué es un balance hídrico?

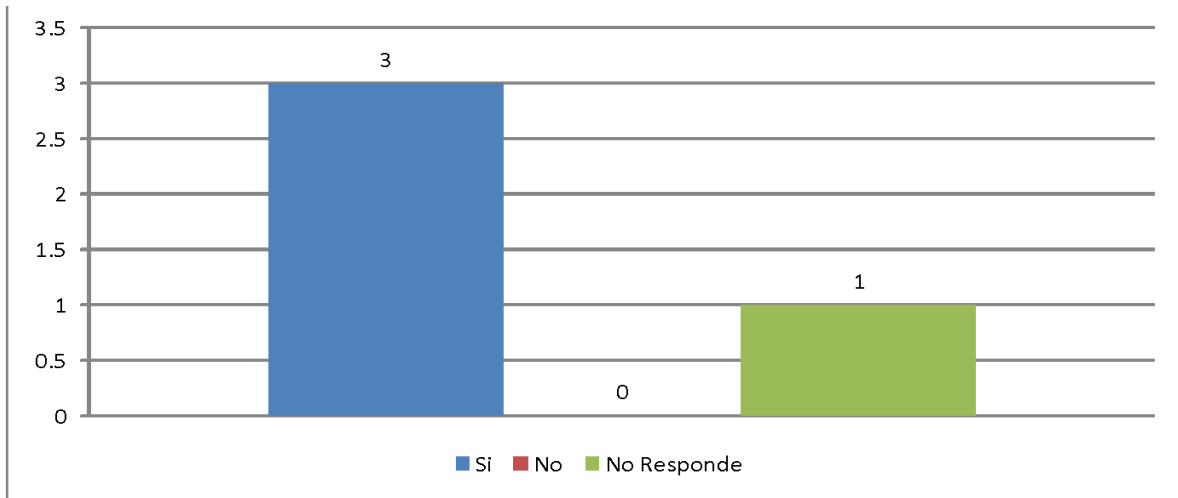


Figura 85. ¿Podría indicar alguna medida de mitigación sencilla de implementar, que permita mejorar la situación actual sobre la falta de lluvia?

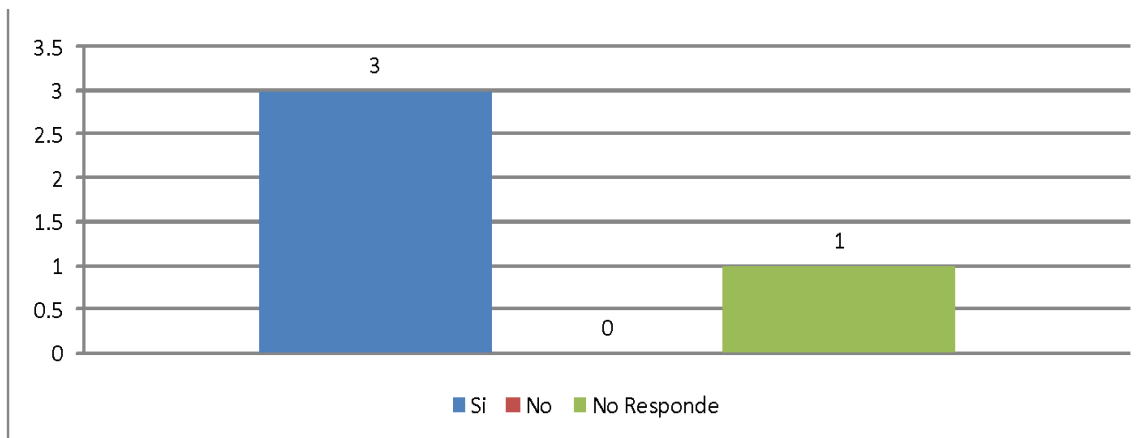


Figura 86. ¿Sabe usted acerca de las políticas de la empresa sobre el tema de gestión de aguas residuales?

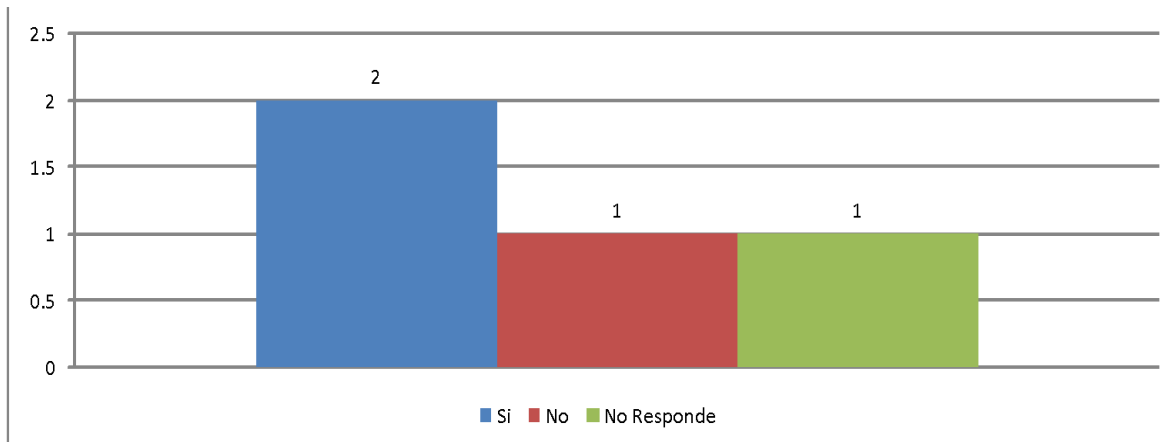
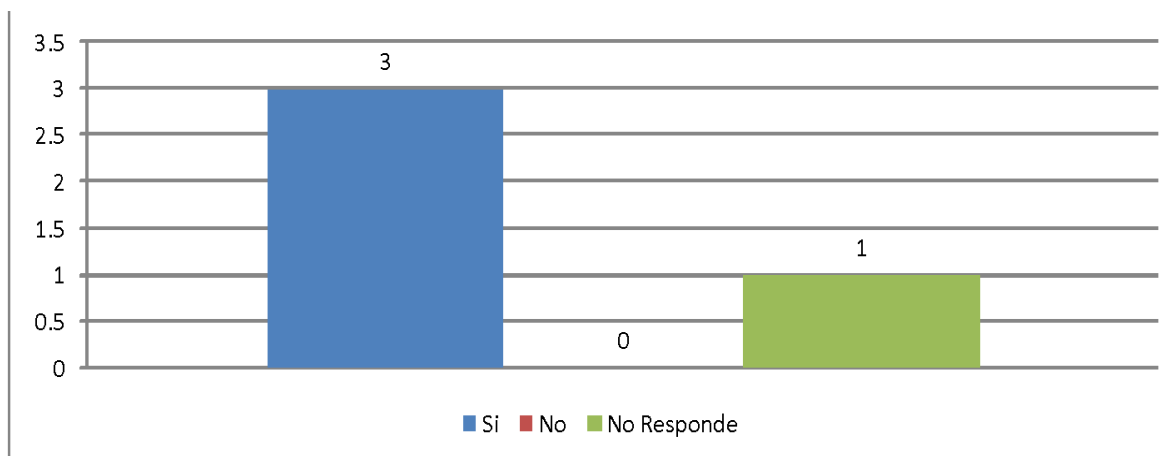


Figura 87. Proponga al menos dos políticas que puedan ser implementadas de manera inmediata y que requieran baja inversión de recursos económicos

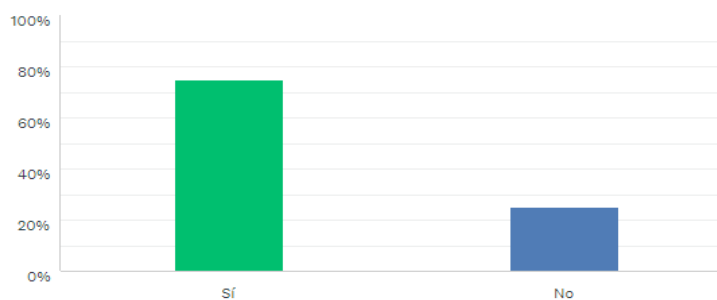


(3) Instrumento 3: Encuesta modalidad en línea a cada departamento del área administrativa del complejo

A continuación, se presenta la encuesta realizada con la modalidad en línea dirigida a colaboradores del personal administrativo de los diferentes departamentos del complejo y una breve descripción.

Figura 88. ¿Sabe usted cuál es la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales?

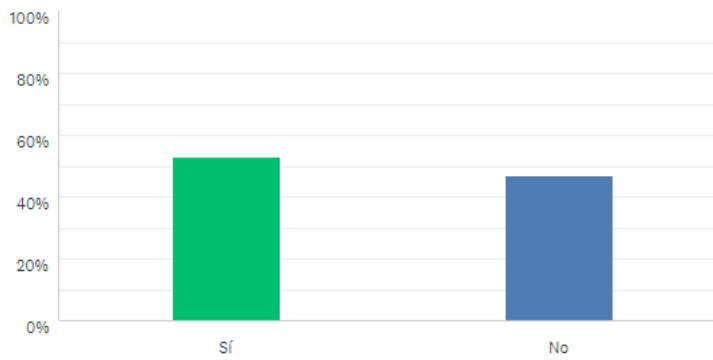
Respondidas: 32 Omitidas: 0



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
▼ Sí	75,00%	24
▼ No	25,00%	8
Total de encuestados: 32		

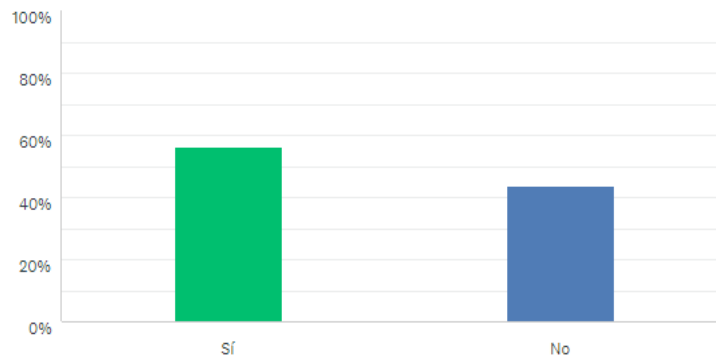
Figura 89. ¿Ha visitado la planta de tratamiento de aguas residuales?

Respondidas: 32 Omitidas: 0



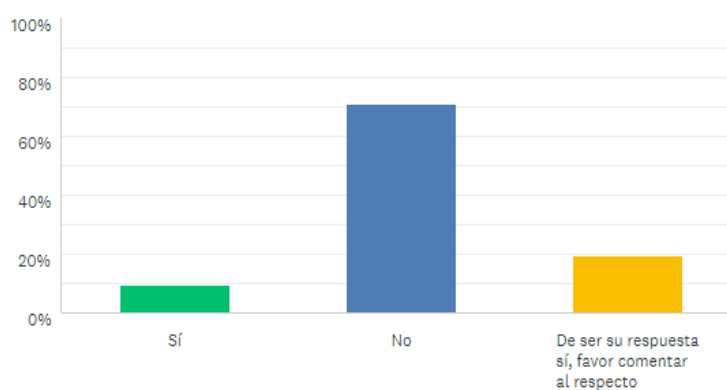
OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
▼ Sí	53,13%	17
▼ No	46,88%	15
TOTAL		32

Figura 90. ¿Sabe usted cómo opera actualmente la planta de tratamiento?



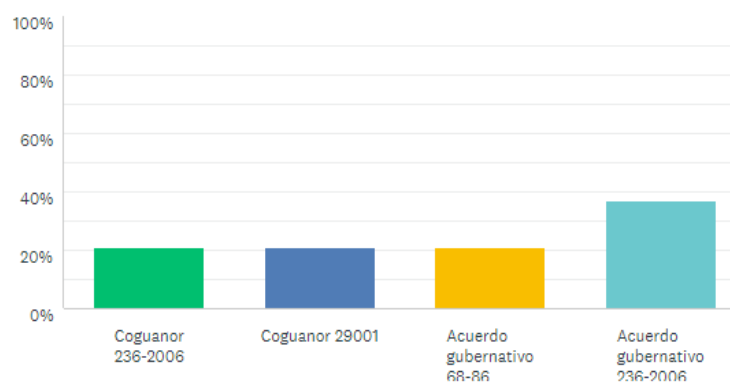
OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
▼ Sí	56,25%	18
▼ No	43,75%	14
TOTAL		32

Figura 91. ¿Sabe usted la situación actual acerca del recurso hídrico en Guatemala?



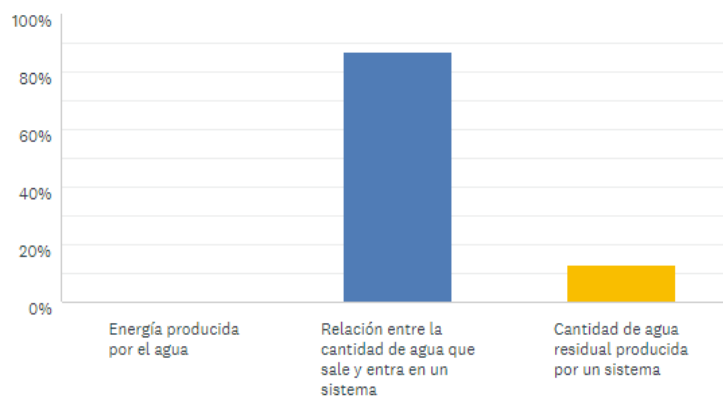
OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS
▼ Sí	9,68% 3
▼ No	70,97% 22
▼ De ser su respuesta sí, favor comentar al respecto	Respuestas 19,35% 6
TOTAL	31

Figura 92. ¿Cuál es la legislación nacional referente al agua potable?



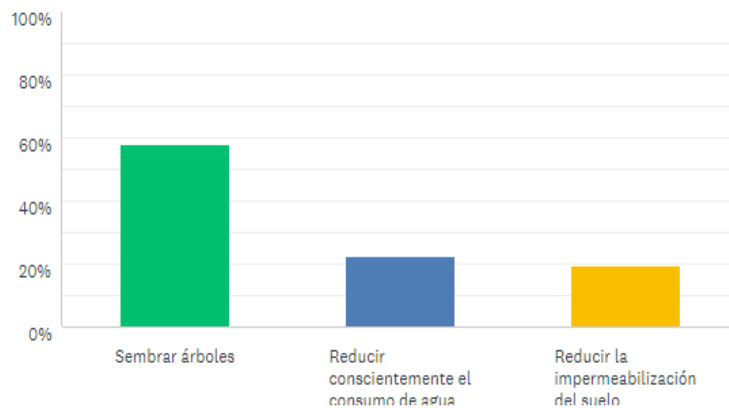
OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS
▼ Coguanor 236-2006	21,05% 4
▼ Coguanor 29001	21,05% 4
▼ Acuerdo gubernativo 68-86	21,05% 4
▼ Acuerdo gubernativo 236-2006	36,84% 7
TOTAL	19

Figura 93. ¿Qué es un balance hídrico?



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS
▼ Energía producida por el agua	0,00% 0
▼ Relación entre la cantidad de agua que sale y entra en un sistema	87,10% 27
▼ Cantidad de agua residual producida por un sistema	12,90% 4
TOTAL	31

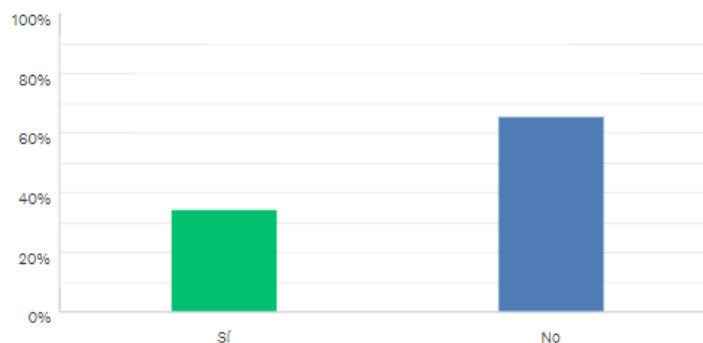
Figura 94. ¿Podría indicar alguna medida de mitigación sencilla de implementar, que permita mejorar la situación actual sobre la falta de lluvia?



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS
▼ Sembrar árboles	58,06% 18
▼ Reducir conscientemente el consumo de agua	22,58% 7
▼ Reducir la impermeabilización del suelo	19,35% 6
TOTAL	31

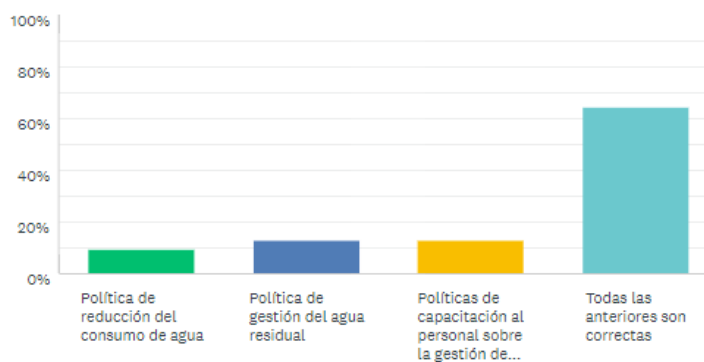
Figura 95. ¿Conoce usted las políticas de la empresa sobre el tema de gestión de aguas residuales?

Respondidas: 32 Omitidas: 0



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
▼ Sí	34,38%	11
▼ No	65,63%	21
TOTAL		32

Figura 96. Indique cuál de estas políticas puede ser implementada de manera inmediata y que requiere baja inversión de recursos económicos



OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS	
▼ Política de reducción del consumo de agua	9,68%	3
▼ Política de gestión del agua residual	12,90%	4
▼ Políticas de capacitación al personal sobre la gestión de agua	12,90%	4
▼ Todas las anteriores son correctas	64,52%	20
TOTAL		31

2. Análisis de información. Como base del diseño de la propuesta de programa de educación ambiental que se pretende desarrollar en el personal administrativo del complejo se diseñó un bifoliar informativo con los temas que se desea abordar en la capacitación con mayor profundidad, derivados de las encuestas realizadas al personal.

3. Diseño inicial de la propuesta del programa de educación ambiental

- Herramientas y recursos de inducción: diseño de bifoliar informativo sobre los temas pertinentes, con el propósito introducir a la población en el tema.
- Implementación
 - Distribución de herramientas y recursos de inducción

El bifoliar se distribuyó al personal administrativo en cada uno de los departamentos el mes de septiembre.

4. **Evaluación.** La evaluación a los colaboradores se realizará durante el mes de noviembre, para realizar después de ello el proceso de capacitación.

J. Módulo 10: Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido a los trabajadores de restaurantes y quioscos de un complejo comercial y residencial.

El complejo comercial y residencial está formado por 17 restaurantes y 4 quiscos con servicio de alimentos, una población aproximada de 75 trabajadores, cada una de las encuestas fue contestada por una persona encarga. Tres de los restaurantes no mostraron disponibilidad al momento de ser encuestados, motivo por el cual se redujo la muestra a 18 encuestados. Cada uno respondió la encuesta de la siguiente forma:

Cuadro 140. Población

Comercios del complejo comercial y residencial	Número de comercios encuestados
Restaurantes	14
Quioscos	4

Cuadro 141. Narrativa de entrevista semi estructurada al Jefe de operaciones

Pregunta	Respuesta
¿Cuál considera que es el mayor problema por el cual los restaurantes y quioscos de alimentos no utilizan trampas de grasa?	“Considero que estos comercios no poseen una cultura y educación ambiental adecuada y por eso no se preocupan ni conocen las consecuencias de la misma”
¿Qué necesitan las empresas para utilizar trampas de grasa?	“Necesitan conocer las consecuencias de no tener una trampa de grasa, así mismo deben conocer cuál es el mantenimiento adecuado, esto podría ser por medio de capacitaciones o bien por algún medio de comunicación (para los comercios que no puedan asistir)”

Figura 97. Conocimiento sobre el término de educación ambiental.

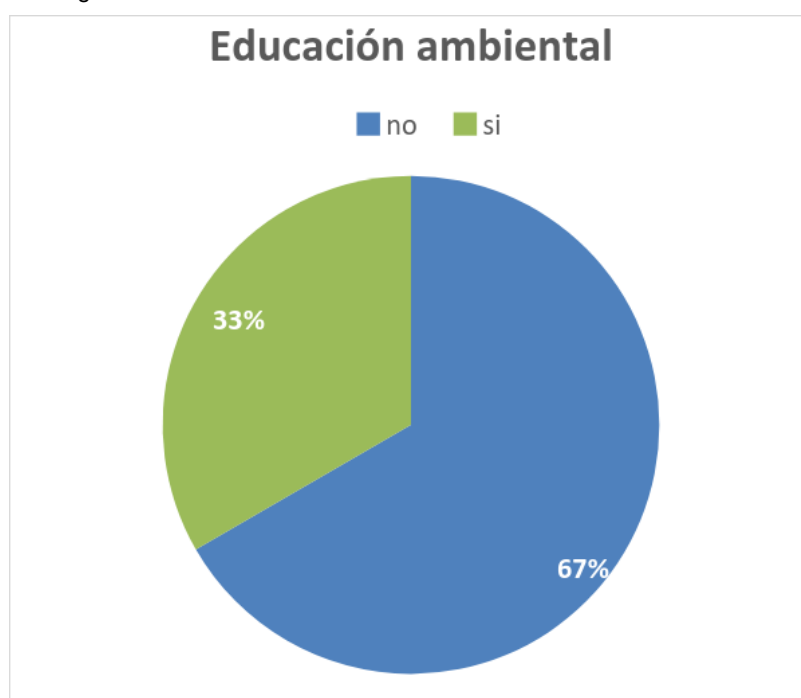


Figura 98. Conocimiento sobre cultura ambiental y el beneficio que representa para el ambiente.

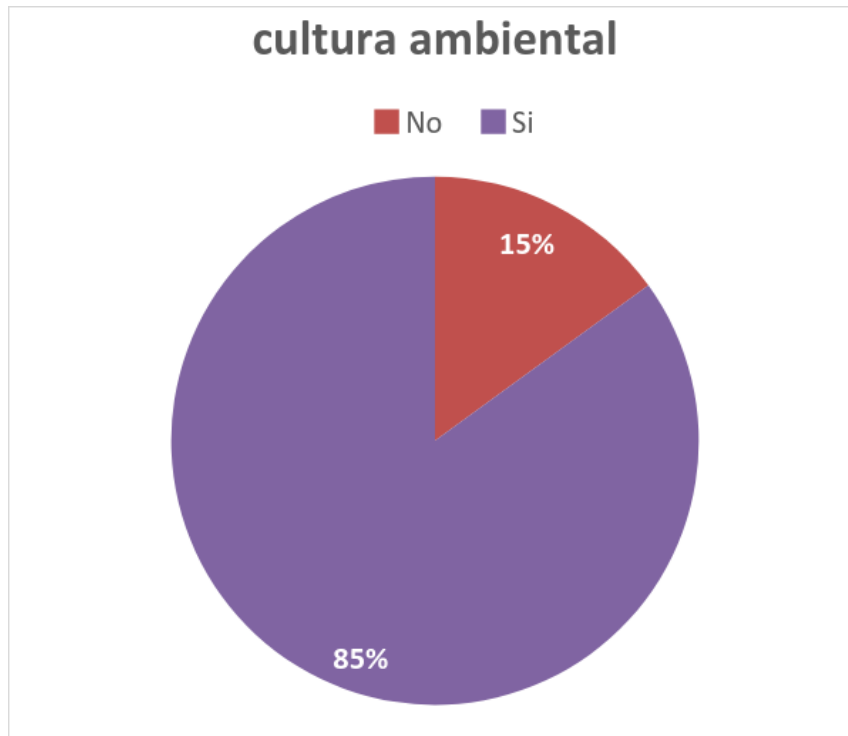


Figura 99. Restaurantes y quioscos que posee sistema de trampas de grasa

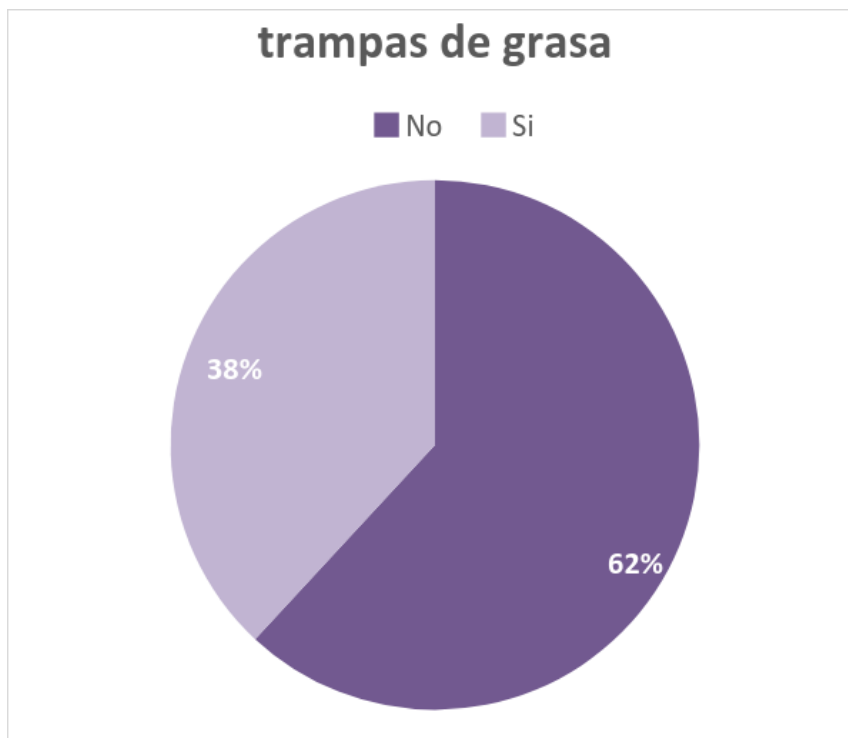


Figura 100. Restaurantes y kioscos de alimentos que realizan mantenimiento adecuado de e l sistema de trampas de grasa.

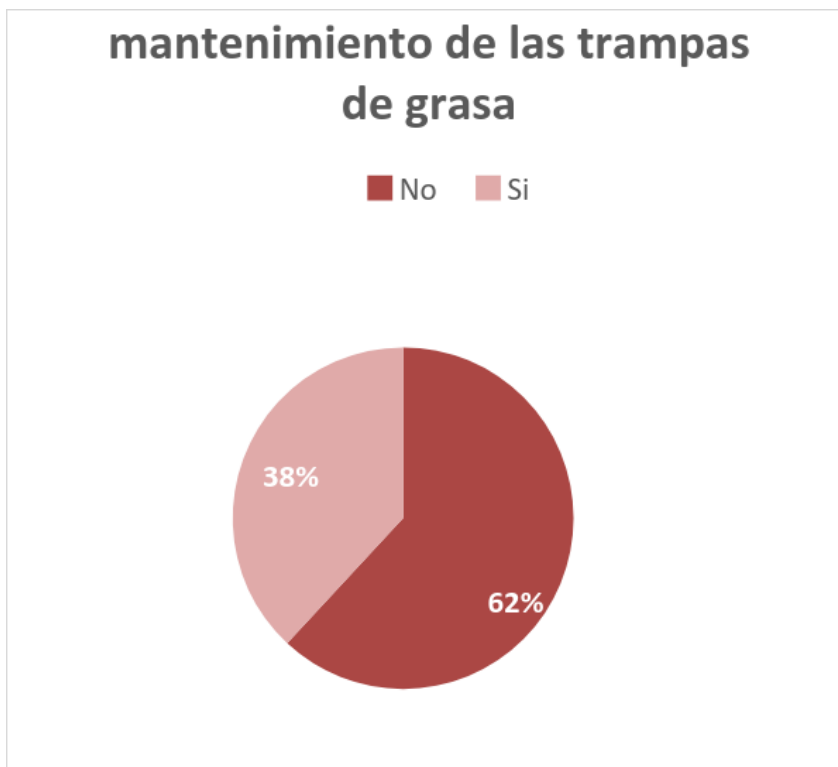
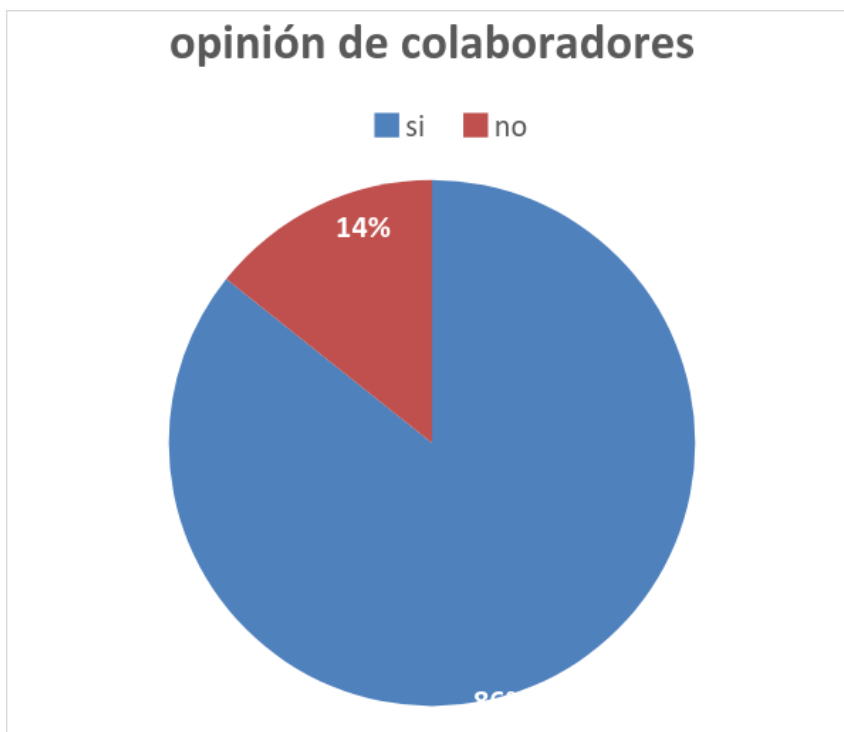


Figura 101. Colaboradores que consideran que un proceso de capacitación sería útil para aprender sobre el cuidado del ambiente.



VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Módulo 1: Análisis de la calidad del agua comparando el método de tubos múltiples y un método con bacteriófagos

Al comparar los resultados obtenidos en cada prueba de laboratorio con los parámetros del artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006, “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”, se observa que algunos de estos se encuentran por encima del valor autorizado por este acuerdo. Para los parámetros fisicoquímicos se observa que para las tres muestras se detectó de materia flotante; en la muestra del 10 de julio se observó papel, mientras que en la del 24 de agosto y 4 de septiembre se observó tierra. La presencia de materia flotante puede indicar un fallo en el tratamiento primario –en el caso del papel observado o bien en el tanque sedimentador, lo cual explicaría la tierra observada (Tchobanglous, 2003).

El siguiente parámetro evaluado fue el nitrógeno total, el cual fue de 40 mg/L para la muestra tomada el 10 de julio, 46 mg/L para la del 24 de agosto y 49 mg/L para la que se recolectó el 4 de septiembre. Es importante resaltar el hecho que la concentración de nitrógeno fue aumentando entre cada muestra y que para los 3 casos estos valores fueron mayores al parámetro establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 (20 mg/L). El problema con las concentraciones altas de nitrógeno en el agua es que puede llevar a la eutrofización del agua, disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto (Xi. *et al.* 2013). Este aumento en la concentración de nitrógeno puede ser explicado por el lugar de donde provienen el agua que es sometida al tratamiento; al ser una zona comercial y residencial en crecimiento, lo mas probable es una presencia mayor de materia fecal o fertilizantes (Sawyer. *et al.* 2003)

El fósforo es otro compuesto que contribuye a la eutrofización del agua, estando presente de forma inorgánica –proveniente de detergentes o fertilizantes- u orgánica –presente en materia fecal (Mayer. *et al.* 2013). Al evaluar el contenido de fósforo total se obtuvieron valores de 12.1, 16.8 y 21.9 mg/L para las muestras tomadas el 10 de julio, 24 de agosto y 4 de septiembre respectivamente. Nuevamente debe resaltarse que hay un aumento en la concentración entre cada muestra, y que en los tres casos son mayores que el parámetro aceptado de 10 mg/L. Este aumento puede ser explicado nuevamente con la fuente de donde proviene el agua que va a tratarse, al ser una zona comercial y residencial en crecimiento es posible que haya un mayor uso de detergentes (o fertilizantes) y una mayor descarga de material fecal producto de la presencia de más gente en la zona.

El siguiente parámetro evaluado fue el potencial de hidrógeno (pH), siendo de 7 para la muestra tomada el 10 de julio, 8 para la del 24 de agosto y 7 para la del 4 de septiembre. Para los 3 casos se observó que estos sí cumplen con el parámetro establecido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, siendo este un rango de 6 a 9. Los factores que causan un aumento en el pH es la presencia de soluciones básicas como soluciones a base de amonio que se usan como limpiadores de superficies. Por otro lado, algunos fluidos corporales como la saliva o la orina pueden causar un descenso en el pH haciéndolo más ácido (Skoog. *et al.* 2015). La variabilidad del pH entre las mediciones no fue grande, lo cual puede ser causado por la presencia de sustancias acidificantes y basificantes al momento de mezclarse las aguas para entrar a la planta de tratamiento; como las aguas provienen de lugares donde es común el uso de limpiadores a base de amonio, así como la presencia de fluidos como orina y saliva, el valor del pH no podía variar tanto.

El color es un parámetro fisicoquímico que está relacionado con la presencia de compuestos disueltos en el agua, como ácidos orgánicos, metales, materia microbológica o desechos industriales (Oliver & Burgess, 2017). En el análisis de color en las muestras se observó un descenso de 10 unidades en el agua recolectada el 4 de septiembre, teniendo una lectura de 960 unidades Pt-Co contra las 930 unidades Pt-Co obtenidas en la muestra tomada el 24 de septiembre. Es importante mencionar que para estas dos lecturas fue necesario primero hacer una dilución 1:10 para obtener los valores reportados ya que al intentar medir el color de la muestra sin diluir, esta era mayor al límite de detección del equipo Hach. El descenso mencionado en la gráfica puede deberse a que la última muestra estaba cerca de estar saturada de materia orgánica, lo cual no hubiera permitido el paso del haz de luz debidamente. La concentración de la muestra es un factor que puede afectar la espectrofotometría y la base de esta prueba opera bajo este principio (Skoog. *et al.* 2015). En todos los casos los valores fueron mayores al parámetro de 500 unidades Pt-Co establecidas por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Se observó un aumento en la demanda química del oxígeno, indicando una mayor demanda de oxígeno para oxidar la materia orgánica presente en la muestra (Sawyer. *et al.* 2003). En la muestra recolectada el 10 de julio se obtuvo una lectura de 316 mg/L; posteriormente, el 24 de septiembre, esta aumentó a 319 mg/L. Por otro lado, en la última muestra –tomada el 4 de septiembre- hubo un aumento a 336 mg/L; este aumento puede relacionarse también con el aumento observado en el nitrógeno y fósforo total ya que se necesita más oxígeno para oxidarlos (Kumar & Doble, 2005). Los resultados en la determinación de color apoyan este argumento ya que se observó también un aumento pronunciado en las lecturas de las últimas dos muestras, indicando una mayor presencia de compuestos disueltos en el agua.

Los resultados de la demanda biológica de oxígeno muestran un aumento en la necesidad de oxígeno disuelto por parte de los microorganismos aerobios para poder metabolizar la materia orgánica (Jouanneau. *et al.* 2014). En la muestra tomada el 10 de julio se obtuvo una lectura de 136.22 mg/L, pero en la siguiente muestra esta incrementó a 292.01 mg/L para la segunda muestra. Posteriormente esta aumentó a 293 mg/L para la tercera muestra, lo que representa un cambio leve que concuerda con las mediciones de los parámetros anteriores, los cuales se hicieron a la misma hora, entre 9 y 9:30 de la mañana por lo que el volumen de entrada a la planta probablemente era similar para los 3 días.

Para la relación DBO/DQO los resultados obtenidos fueron 0.43 para la primera muestra, 0.92 para la siguiente y 0.87 para la última. Puede notarse que los tres valores son mayores a 0.4, lo cual indica que las muestras pueden considerarse como biodegradables, y así será el caso una vez la DQO sea igual o mayor a la DBO (Domènech & Peral, 2006). El problema radica en que si la DQO es considerablemente mayor a la DBO, el valor de esta relación disminuye, como es el caso en la primera muestra cuya diferencia es de 0.4, lo que la ubica cercana al límite para considerarla biodegradable (0.2). De acuerdo a los datos, puede observarse que el aumento en la DQO ha sido más pronunciado que el aumento en DBO lo que podría llevar a que las aguas pierdan su biodegradabilidad (Nollet, 2014).

Los resultados de las pruebas microbiológicas son alarmantes y evidencias que los niveles de microorganismos de coliformes fecales y *E. coli* sobrepasan los límites establecidos para aguas tratadas, lo que representa un alto riesgo para las comunidades que utilizarán estos afluentes. La importancia de este análisis para el contexto de la planta analizada es que las aguas luego se liberan al cuerpo receptor, no hay un tratamiento posterior saliendo del tanque clorinador.

En el análisis de la primera muestra con el método de los tubos múltiples se obtuvieron resultados positivos en los tubos con caldo lauril triptosa para las 3 diluciones, indicando la presencia de coliformes totales en la muestra. Posteriormente se inocularon 15 tubos con caldo verde brillante y 15 tubos con caldo EC, esto se hizo para evaluar la presencia de coliformes fecales y *E. coli* respectivamente, en los tubos de la prueba anterior. De los 30 tubos inoculados, 30 dieron resultado positivo indicando la presencia de los organismos mencionados anteriormente. Los resultados de esta prueba se basan en la capacidad de los coliformes de degradar la lactosa donde uno de los productos es dióxido de carbono, el cual queda atrapado en el tubo invertido (Palahniuk, 2010).

De acuerdo a las tablas de interpretación de Número Más Probable la combinación respectiva al número de tubos positivos corresponde a $>1.6 \cdot 10^5$ NMP/100 mL, que sobrepasa el valor permisible de $1 \cdot 10^4$ NMP/100 mL; este mismo resultado fue obtenido para las otras dos muestras. Los tres medios utilizados para esta prueba sirven para evaluar la presencia de distintos microorganismos contaminantes en el agua, el medio lactosado, evalúa la presencia de coliformes totales que son bacterias Gram-negativo que pueden encontrarse tanto en heces como en el ambiente (Abera. *et al.* 2011). El medio verde brillante evalúa la presencia de coliformes fecales indicando la contaminación del agua con materia fecal que potencialmente podría ser un vehículo de microorganismos patógenos (APHA, AWWA, WEF, 2012). El medio EC es específico para *Escherichia coli* que es una bacteria que se usa como indicador de calidad microbiológica ya que se asocia directamente con material fecal (WHO, 2004). Los resultados obtenidos para las muestras tomadas indican que el agua tiene un alto grado de contaminación fecal, más de lo que establece el acuerdo.

Se quería evaluar la posibilidad de aislar bacteriófagos de las aguas a manera que estos pudieran ser utilizados como indicadores en lugar de las bacterias para evaluar la calidad microbiológica del agua. El principio en el que se basó esta prueba era que los bacteriófagos infectan bacterias, entonces en todo ambiente donde hayan bacterias, deben de haber bacteriófagos también (Withey & Avery, 2005); siguiendo este idea, si se lograra aislar bacteriófagos que infecten coliformes fecales en la muestra de agua de tratamiento, indicaría indirectamente la presencia de coliformes fecales (Sundar. *et al.* 2009). Para aislar los bacteriófagos fue necesario filtrar el agua por una membrana de 0.22 μm debido a que la mayoría de fagos tiene un tamaño entre 25 y 200 nm (Abedon, 2005), lo que significa que pueden atravesar los poros del filtro y así puede asegurarse que la muestra sólo tiene fagos presentes. Este paso fue crítico por 2 razones: en primer lugar si no se lograban aislar los bacteriófagos, la prueba no podría llevarse a cabo, y la segunda –y tal vez más importante- era para evitar que estos infectaran cualquier bacteria presente y se replicaran porque esto hubiera afectado los resultados de la prueba, comprometiendo la confiabilidad de los resultados.

Para el ensayo de conteo de placas en agar doble se utilizó una *E. coli* proveniente del cepario de la Universidad del Valle de Guatemala y se usó agar Müeller-Hinton como medio de cultivo. La razón por la que se utilizó *E. coli* fue explicada anteriormente, porque esta se usa como organismo indicador de calidad microbiológica. Adicionalmente, como se quería evaluar la presencia de bacteriófagos que infectaran bacterias coliformes, era importante usar una enterobacteria para que los resultados tuvieran sentido. Podrían haberse usado otras enterobacterias como *Salmonella*, *Klebsiella* o *Shigella* (Ochei & Kolhatkar, 2000). El agar Müeller-

Hinton se utilizó por su claridad una vez polimerizado, permitiendo ver mejor las placas y facilitando el conteo, pero podría haberse utilizado cualquier otro medio (Clokier & Kropinski, 2009)

Fue necesario hacer una dilución 1:10 para tener un número de colonias contable, de lo contrario se forman muchas placas haciendo el conteo imposible. Esto también se controló de otras formas: se hicieron diluciones 1:10 del cultivo inicial de *E. coli* y se incubaron por 2 horas para que esta se encontrara en la fase temprana de crecimiento y a la hora de mezclar las diluciones de bacteriófagos con la bacteria se agregó 10 veces menos bacteria que bacteriófago, para limitar la cantidad de *E. coli* que el virus pudiera infectar (Abedon, 2008). Hay dos aspectos que son importantes para este ensayo, que si no se controlan pueden afectar la formación de las placas: el tiempo de incubación y la temperatura del agar suave. El primero es importante porque se tiene que dar tiempo suficiente al bacteriófago para infectar a la bacteria; en las primeras pruebas esto no se hizo y el resultado final fueron cajas de agar con crecimiento bacteriano pero no se formaron placas. Por otro lado, una vez se dejó incubar la mezcla por un tiempo antes de agregarle el agar suave, sí se observó la formación de placas; el tiempo de incubación puede variar, para este caso fue de 30 minutos a 37 °C, pero no es un parámetro que esté definido en concreto (Clokier & Kropinski, 2009). En cuanto a la temperatura del agar suave, es necesario asegurarse que este se encuentre a 30 °C antes de agregarlo a la mezcla de fago⁶ y bacteria; esto se debe a que a temperaturas más altas se corre el riesgo de matar a la bacteria, evitando que el fago pueda infectarla (Garg & Mukerji, 2010).

Se contó el número de placas y se hizo el cálculo para determinar el número de unidades formadoras de placa presentes en el mililitro que se inoculó con la bacteria. Se obtuvieron medias de 1000, 316 y 2512 UFP/mL para las muestras de agua recolectada, indicando que en todos los casos se logró aislar bacteriófagos que infectan *E. coli*. Se utilizó una placa control que constaba sólo del agar y 100 µL de cultivo de bacteria para asegurarse que la lisis bacteriana fuera causada por el fago en el agua filtrada y no por un factor externo; en este caso lo que se visualizó fue la placa cubierta de bacteria en su totalidad, haciéndola opaca al verla contraluz (Clokier & Kropinski, 2009). Al momento de agregar el agar suave es necesario homogenizarlo, esto se logró con movimientos circulares a manera de cubrir toda la superficie del agar fuerte; posteriormente hay que dejarlo secar por un tiempo para permitir que este se solidifique ya que se corre el riesgo que el agar se rompa. El tiempo de incubación necesario para esta prueba una vez solidificado el agar suave fue de 24 horas a 37 °C,

⁶ El término fago se refiere a un bacteriófago, un tipo de virus que infecta bacterias.

Los dos métodos que se usaron para determinar el grado de contaminación microbiológica están basados en tipos de conteo diferente: el método de los tubos múltiples está basado en la determinación del número más probable, el cual se basa en hacer una estimación probabilística del número más probable de microorganismos presentes en una muestra (Nollet & De Gelder, 2014). Por otro lado, el método del agar doble se basa en el conteo directo de las placas formadas por la lisis bacteriana, donde cada placa equivale a una bacteria infectada por el fago (Burlage. *et al.* 1998). Debido a las diferencias que existen en las bases de cada método –medición cuantitativa versus estimación probabilística – no es posible comparar los resultados que se obtuvieron entre sí; NMP es una aproximación de la cantidad de bacterias que podrían estar en el volumen de 100 mL de muestra y este valor se obtiene a partir de tablas con combinaciones de tubos con resultados positivos (Palahniuk & Lutsenko, 2010). El conteo de placas en cambio no es una aproximación sino que indica directamente la cantidad de microorganismos presentes en un volumen de muestra donde cada placa equivale a una *E. coli* infectada (Harisha, 2005). Una forma en que sería posible relacionar ambos tipos de conteos sería generar un modelo de regresión, pero para ello sería necesario primero hacer una curva de calibración donde se inoculen concentraciones conocidas de una misma muestra y calcular el crecimiento con ambos métodos, pero la dificultad con este procedimiento sigue siendo que en un se hace una estimación mientras que el otro es un conteo directo, y por lo tanto más exacto (Cho. *et al.* 2010).

Aunque los resultados en sí no pueden compararse debido a lo explicado anteriormente, es posible hacer una comparación de la información que puede obtenerse a partir de estos. En primer lugar, el método de tubos múltiples tiene ciertas desventajas; al ser una estimación probabilística, se llega a un punto donde simplemente ya no es posible determinar con exactitud la carga microbiana. Un claro ejemplo fue con las aguas recolectadas de la planta de tratamiento ya que al tener una cantidad de cloro muy baja, el grado de contaminación microbiológica era muy alta por lo que todos los tubos para todos los medios dieron positivo, incluso en los que se hizo una dilución. El problema con esto es que el NMP/100 mL para esta combinación de tubos está indicada como mayor a $1.6 * 10^5$, un resultado que es una cantidad exacta. Al ser una aproximación, dificulta saber el número de microorganismos en la muestra y esto dificulta saber qué tratamiento darle y esto puede conllevar a gastos innecesarios cuando la solución podría ser simple. Adicionalmente, este método tiene factores que lo convierten en un método laborioso y poco ventajoso para analizar aguas residuales (o de otro tipo): a pesar que es aplicable para todo tipo de aguas, es crítico que se mantenga la cadena de frío para su traslado al laboratorio ya que las bacterias pueden seguirse reproduciendo dentro del recipiente de muestreo, y por lo tanto afectar los resultados (Palmateer. *et al.* 1991). El siguiente factor que presenta una desventaja con este método es el tiempo de análisis, necesitándose 5 días para obtener la combinación de tubos para determinar el NMP/100 mL (WHO, 2004); este factor limita la aplicabilidad de este método

para la planta de tratamiento de este complejo (y para las plantas de tratamiento en general) porque si quisieran evaluarse los cambios en alguna de las fases, tardaría mucho obtener los resultados.

El método con bacteriófagos es más versátil con manejo y traslado de la muestra, toma menos tiempo y son menos los puntos que deben controlarse para obtener resultados. En lo referente al manejo de la muestra, sólo sería necesario filtrar la muestra en el sitio de muestreo para evitar la replicación de los bacteriófagos pero una vez hecho esto, la muestra puede trasladarse sin necesidad de mantener una cadena de frío ya que este virus sólo pueden replicarse infectando una bacteria para secuestrar su maquinaria celular (Cabral, 2010). Así mismo, para el almacenamiento a largo plazo, basta con mantener la muestra en un refrigerador mientras que en el caso de tubos múltiples el máximo de tiempo que puede estar almacenada la muestra es de 24 horas (Bartram & Ballace, 1996). En lo referente a tiempo de análisis, este método tiene la ventaja de requerir de 24 horas para obtener resultados; los únicos pasos críticos que deben controlarse es dar tiempo suficiente para que el fago infecte a la bacteria (incubación) y que el agar suave esté a una temperatura menor o igual a 30 °C al momento de agregarle la mezcla incubada (Clokier & Kropinski, 2009). Comparando con el tiempo que toma la prueba de método de tubos múltiples, que toma una semana para obtener los resultados de una muestra, con este método podría analizarse 5 muestras tomadas a lo largo de una semana lo cual para una planta de tratamiento como la de este complejo es mucho más eficiente.

Viendo las ventajas que tienen los métodos de conteo directo (como el de bacteriófagos o conteo de colonias) sobre el de número más probable, es importante cuestionar por qué el método de tubos múltiples sigue siendo el método oficial para el análisis de la calidad microbiológica del agua; es un método muy burdo cuyos resultados son ambiguos ya que, como se mencionó anteriormente, hay a un punto máximo donde ya no puede determinarse con exactitud el grado de contaminación bacteriana (como fue el caso con las muestras analizadas). En cambio, los métodos de conteo, como el de bacteriófagos, son más exactos, toman menos tiempo y también se pueden aplicar más de un tipo de agua –como las aguas de tratamiento. Una planta de tratamiento de aguas residuales en el país debe cumplir con los parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006, el cual también establece los métodos para el análisis (Gobierno de Guatemala, 2006). Este acuerdo está basado en la norma NGO 29001:99 de la COGUANOR la cual establece los parámetros para agua potable; el problema es que no todas las plantas de tratamiento –por ejemplo la de este estudio– utilizarán las aguas tratadas para consumo sino para liberar a un cuerpo receptor (Gobierno de Guatemala, 2006). Como el agua para ser potable no debe tener presencia de coliformes, el método de los tubos múltiples puede aplicarse porque ya se sabría qué resultado esperar (un NMP/100 mL de 0); en cambio para plantas de tratamiento,

este no siempre sería el caso porque el agua no se va a utilizar para consumo. En el caso de las aguas analizadas en este estudio, las cuales son liberadas a un río, es peligroso no saber el grado de contaminación bacteriana debido a que esta agua pueden ser una fuente de agua de consumo para aldeas y caceríos. Es importante eliminar este tipo ambigüedad para que se le hagan tratamientos funcionales a las aguas residuales para mejorar la calidad y reducir el impacto ambiental.

Tomando como referencia los resultados obtenidos en ambas pruebas, es posible inferir que el tratamiento que se le está dando al agua no es lo suficientemente eficiente para reducir el grado de contaminación microbiológica. Es posible que la concentración de cloro esté por debajo de la cantidad necesaria para eliminar las bacterias presentes; esto explicaría los resultados obtenidos en la prueba de tubos múltiples, donde el NMP fue mayor que el parámetro establecido y también la razón por la cual se tubo que hacer diluciones de los filtrados al momento de aislar los bacteriófagos. El cloro se aplica en el tratamiento terciario y es gracias a este que se reduce la carga bacteriana del agua ya que oxida las moléculas orgánicas; su hidrólisis da como resultado una molécula de carga neutra que puede atravesar fácilmente la membrana de las bacterias, puede disolver los lípidos que la componen con facilidad e inactiva proteínas y enzimas al interactuar con ellas. Es debido a este mecanismo de acción que el cloro es un desinfectante (Calderon, 2000). El cloro es altamente tóxico por lo que tampoco es recomendable que esté presente en cantidad muy grandes en el agua, pero los resultados de las pruebas indican que la concentración de cloro que se le está agregando al agua no es la suficiente como para reducir efectivamente la carga microbiana (Edzwald, 2011); lo más seguro es que se ha estado agregando la misma cantidad que se usaba cuando el complejo estaba en sus etapas iniciales y que esta era la suficiente para lograr que las aguas cumplieran con el parámetro del Acuerdo Gubernativo 236-2006. Con el crecimiento que este proyecto ha tenido en los últimos meses, la presencia de contaminantes fecales es mucho mayor por lo que sería recomendable aumentar la cantidad de cloro para que el tratamiento sea funcional. Fue este factor el que afectó directamente los análisis de las muestras de agua recolectadas.

B. Módulo 2: Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica de un complejo comercial y residencial

El presente módulo tiene como objetivo general el rediseño de las etapas de pre-tratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica de un complejo comercial y residencial ubicado en la zona 16 de la Ciudad de Guatemala. Esto con el fin de mejorar la calidad del agua tratada y cumplir con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006: *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas residuales y de la Disposición de Lodos*.

Según el censo realizado el presente año sobre la cantidad de usuarios del complejo y su generación de aguas residuales, se tiene un caudal de entrada a la planta de 152.31 m³/d. Esto indica que la planta está trabajando a un 42.31% de su capacidad instalada. Lo anterior podría indicar, inicialmente, que la planta está operando en condiciones adecuadas en cuanto a flujo de ingreso de aguas residuales.

A pesar de lo anterior, la administración del complejo comercial y residencial prevé un crecimiento adicional por los próximos 15 años. Inicialmente, la administración del complejo estableció una tasa de crecimiento del 15%, sin embargo, con dicho valor incrementa el tamaño del caudal de manera desproporcionada, dando resultados muy altos. Por tanto, se decidió aproximar la tasa de crecimiento del complejo con la tasa de crecimiento poblacional de Guatemala⁷, estableciéndose así una tasa de crecimiento del 5% anual. Con dicho crecimiento, la planta actual estaría llegando a su capacidad instalada en 8 años, aproximadamente. Después de ese tiempo, la planta superará su capacidad de diseño, por tanto, fue necesario realizar una proyección del caudal de entrada para cuando el complejo esté completamente desarrollado. Los resultados indican que, para el año 2032, la planta tendrá un caudal promedio diario de 452.64 m³/d, lo que sobrepasa la capacidad de diseño de la planta actual. Esto justifica el rediseño de los equipos para el caudal estimado. Para fines prácticos, se aproximó el resultado a 460 m³/d, definiéndose así el caudal de rediseño. Dicho valor representa un 25.73% de crecimiento respecto a la capacidad de la planta actual.

Actualmente, la planta opera bajo un sistema de aireación extendida y cuenta con los siguientes equipos para las etapas consideradas en este módulo: 1) un canal de doble rejilla, 2) una trampa de grasas, 3) un contactor anóxico, 4) y un tanque de aireación con aireadores

⁷ Guatemala tiene un crecimiento demográfico de 2.4%, según el Instituto Nacional de Estadística de Guatemala.

mecánicos.⁸ Después del tratamiento de las aguas residuales en estos primeros equipos, se deberían reducir tanto como lo requiere el Reglamento los siguientes parámetros: sólidos flotantes grandes, grasas y aceites, parte de los sólidos suspendidos totales, la concentración de nitrógeno, de materia orgánica y de fósforo. Sin embargo, según análisis físicos, químicos y biológicos del efluente de aguas residuales⁹, se observa que no se llega a cumplir con los parámetros de DBO, DQO, fósforo y nitrógeno total.

Al evaluar la efectividad del proceso de aireación extendida, por medio de un análisis de DBO₅, se tiene un porcentaje de reducción de la carga orgánica contaminante del 47%. Este valor demuestra que el proceso no lleva a cabo un tratamiento adecuado, ya que en esta etapa se debería reducir entre un 75 y 90% (López, s.a.) la concentración de DBO, logrando llegar a los parámetros aceptados por el Reglamento. Es importante recalcar que el análisis se realizó con muestras recolectadas en un mismo día y con tiempos de espera entre las muestras de 30 min. Por tanto, no se consideró el tiempo total de retención hidráulica que debe pasar el agua dentro del tanque, introduciendo un error que pudo haber afectado los resultados, ya que en cada momento puede ingresar agua con diferentes concentraciones y lo ideal es que se comparen muestras de la misma agua residual.

En el mismo análisis de DBO y DQO, es de especial interés la relación entre ambos parámetros (DBO₅/DQO), ya que esta indica la biodegradabilidad de las aguas residuales. Tanto en la entrada como en la salida del tanque se tienen relaciones de DBO₅/DQO mayores a 0.4, lo que indica que las aguas residuales son biodegradables. Esto radica en que, en su mayoría, las aguas son de tipo domésticas o provenientes de la industria de alimentos, por lo que contienen altas concentraciones de materia orgánica y carecen de tanta materia inorgánica. Al tener las aguas alto grado de biodegradabilidad, se debería tener un proceso efectivo para la eliminación de materia orgánica y, como se demostró anteriormente, no se llega al porcentaje requerido por el sistema.

Además, de la reducción escasa de DBO en el tanque de aireación, también se demuestra la poca efectividad del proceso biológico por las concentraciones altas de salida de nitrógeno y fósforo¹⁰. Debido a lo anterior, se propone sustituir la aireación extendida por un proceso de

⁸ Las especificaciones de los equipos mencionados se encuentran en la sección de Antecedentes.

⁹ Dichos resultados se presentan en el módulo "Análisis de la Calidad del Agua Comparando el Método de Tubos Múltiples y un Método con Bacteriófagos".

¹⁰ Dichos resultados se presentan en el módulo "Análisis de la Calidad del Agua Comparando el Método de Tubos Múltiples y un Método con Bacteriófagos".

crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno de tipo Ludzack-Ettinger Modificado (MLE). Este proceso asegura una remoción adecuada de los parámetros antes mencionados.

Previo al rediseño de los equipos existentes, se plantea la instalación de un medidor Parshall para el control continuo del caudal de entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica, y así poder realizar el balance de masa del proceso. Este se acopla al canal de entrada, por lo que no necesita mayor disponibilidad de espacio. El dispositivo también funciona como caja de toma de muestras, lo que no existe actualmente en las instalaciones. Se escogió este tipo de medidor, principalmente porque el agua del afluente se caracteriza por poseer una cantidad considerable de sólidos flotantes y sólidos suspendidos y, gracias al diseño del canal Parshall, estos materiales no se quedan retenidos, por lo que no ocurre ninguna obstrucción del paso del agua.

Para la etapa de pre-tratamiento se propone la siguiente secuencia de equipos: un canal con doble rejilla para la remoción de sólidos flotantes grandes, una trampa de grasas y aceites, y un tanque de homogenización de caudal. En cuanto al canal de rejillas, este es únicamente una sección de paso de las aguas residuales, por lo que su volumen no depende del caudal de ingreso. Se decidió mantener las dimensiones del canal actual, con lo que se procedió a calcular las rejillas. Se colocaron dos cribas con el objetivo de retener la mayor cantidad de sólidos flotantes, impidiendo el paso de partículas con un tamaño superior a 6 mm que puedan dañar equipos de las siguientes etapas del proceso. En este equipo es importante determinar las pérdidas de carga, ya que estas no pueden superar los 150 mm para rejillas de limpieza manual. Como se muestra en los resultados, para las cribas diseñadas se tiene una pérdida de 41 mm, lo que es adecuado para su correcto funcionamiento. El rediseño no difiere de forma significativa con el equipo instalado actualmente, por lo que este se puede conservar en el rediseño.

Seguidamente, se diseñó la trampa de grasas y aceites. Este es un equipo que depende directamente del caudal de entrada y del tiempo de retención hidráulica establecido. Conociendo ambos valores, se procedió a determinar el volumen y las dimensiones de la trampa. Se puede observar que la trampa instalada actualmente está sobre dimensionada para el flujo que recibe la planta, ya que tiene un volumen total de 3.93 m³. El volumen total del rediseño es de 1.22 m³, siendo 3.2 veces más pequeño, aproximadamente. Este error de diseño, además de haber generado mayores gastos de instalación, produce un tiempo de retención hidráulica alto, que aumenta las pérdidas de carga del fluido y el tiempo total del tratamiento de aguas residuales. La trampa de grasas se limpia de forma manual, utilizando mallas para retirar los sólidos sedimentados y las grasas flotantes. También se recomienda el uso de enzimas para su limpieza. Estas digieren los desechos orgánicos y eliminan malos olores, facilitando el mantenimiento del

equipo. Además, poseen las ventajas de no contener ácidos cáusticos, bencenos, ni compuestos clorados; aumentan la productividad, reduciendo el trabajo y los gastos de limpieza; y mejoran la fluidez en sistemas lodosos, disminuyendo las obstrucciones.

Como último proceso de la etapa de pre-tratamiento, se tiene el diseño de un tanque homogeneizador, denominado contactor anóxico en la memoria técnica de la planta actual. Este tiene la función de amortiguar las variaciones de caudal y de composición de las aguas para generar un flujo constante y homogéneo. El diseño de dicho tanque contempla el análisis de una serie de mediciones continuas de caudal durante un periodo de tiempo de un día. Utilizando los datos proporcionados por una empresa certificada para la medición de caudal, se determinaron las dimensiones. Como se observa, el tanque debe tener un volumen total de 20.25 m³, incrementando su volumen actual casi 2.5 veces.

La etapa de tratamiento primario consiste básicamente en la sedimentación de sólidos suspendidos por medio de gravedad en el fondo de tanques de sedimentación. Debido a las características del afluente que llega a la planta de tratamiento aeróbica, se consideró que esta etapa no es esencial para llegar a los resultados deseados. Las aguas residuales contienen pocos sólidos suspendidos que pueden ser removidos durante las etapas de pre-tratamiento, aireación y clarificación. De esta manera, se reducen los costos de instalación y el tiempo de operación de la planta.

En el tratamiento secundario se llevan a cabo procesos químicos y biológicos para remover la mayor parte de materia orgánica biodegradable y el resto de sólidos suspendidos. Como se mencionó anteriormente, se decidió sustituir el proceso de aireación extendida por un proceso de crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno de tipo Ludzack-Ettinger Modificado (MLE). Se decidió utilizar este sistema, ya que las concentraciones de nitrógeno presentes en el afluente son considerablemente altas, por tanto, es preferible llevar a cabo su remoción en una etapa separada. La recirculación interna del tanque de aireación al tanque anóxico permite una mayor remoción del nitrógeno total, a la vez que aumenta la eficiencia general del proceso. Además, el sistema puede adaptarse fácilmente a instalaciones ya existentes de lodos activados. En el presente módulo se consideró únicamente el diseño del tanque de aireación.

En el diseño del tanque se debió considerar como principal parámetro la cinética de crecimiento de los microorganismos que llevan a cabo la degradación de materia orgánica. Para la reducción de la DBO, bacterias heterótrofas llevan a cabo un ciclo aerobio para su crecimiento, el cual involucra la conversión de dióxido de carbono en compuestos orgánicos que forman parte de los tejidos de plantas y microorganismos vivos, y su posterior transformación de nuevo en dióxido

de carbono. Durante este proceso se genera gran cantidad de lodos. Simultáneamente, en el tanque se da el proceso de nitrificación, en donde el amonio entrante es oxidado en dos pasos hasta obtener nitrito por la acción de bacterias nitrificadoras. Comparando la cinética de crecimiento de las bacterias heterótrofas con las bacterias nitrificadoras, se observa que estas últimas tienen una velocidad de crecimiento más lenta, por tanto, gobiernan el tiempo de retención hidráulica del proceso de tratamiento biológico. Se utilizaron, entonces, los parámetros de la nitrificación para el diseño del tanque de aireación.

Con un tiempo de retención hidráulica de 8 horas, un tiempo de retención de sólidos de 7 días y una concentración de sólidos suspendidos del licor de mezcla (SSLM) de 4,000 mg/L, se obtuvo un volumen útil de 552 m³ para el tanque de aireación, capaz de tratar 11.71 kg/h de DBO y 1.38 kg/h de nitrógeno total.

Después del debido proceso, el efluente de aguas residuales debiera salir con las concentraciones adecuadas. Como se puede observar, todos los parámetros están por debajo de los requerimientos del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, lo que confirma la validez del tratamiento biológico elegido.

Un factor importante para el buen funcionamiento del proceso es el diseño e instalación de un sistema de aireación que cumpla con los requerimientos de oxígeno que necesita el tratamiento biológico. El tanque de aireación instalado actualmente, cuenta con cuatro aireadores sumergibles de tipo jet, los cuales funcionan en pares alternados durante ciertos periodos de tiempo. Dicho sistema no genera resultados satisfactorios, ya que la aireación se inyecta en ciertos puntos del tanque donde están colocados los aireadores, mientras que el resto de las aguas permanecen estancadas. Esto provoca que no se reduzcan los parámetros de DBO, DQO y compuestos como el nitrógeno y el fósforo. Para solucionar este problema, se propone la instalación de 234 difusores de membrana de burbuja fina colocados en una serie de tuberías arregladas en el fondo del tanque para proveer una distribución equitativa de oxígeno en todo el volumen de las aguas residuales a tratar. Las características técnicas de estos dispositivos, así como las tuberías necesarias, se muestran en la sección de Resultados. Es importante destacar que para el diseño de este sistema se debieron considerar las pérdidas por fricción del fluido dentro de las tuberías. Estas no deberían exceder más de un 10% las pérdidas producidas por los mismos difusores (Metcalf & Eddy, 2003).

Para alimentar el sistema de aireación, fue necesario el cálculo de uno o varios sopladores que suplieran la demanda requerida de oxígeno. Se determinó que se diseñarían sopladores de lóbulos de desplazamiento positivo, ya que estos son óptimos para manejar flujos de aire menores

a $425 \text{ m}^3/\text{min}$ de aire libre, y trabajan a presiones mayores a los 55 kN/m^2 , lo que se requiere para vencer toda la presión ejercida por el agua en el fondo del tanque (Metcalf & Eddy, 2003). A diferencia de estos, los sopladores centrífugos son ideales para caudales mayores y trabajan a menores rangos de presión. Es importante notar que los sopladores descritos son los que se requerirán cuando el flujo esté totalmente desarrollado en el año 2032, considerando el aumento del caudal para la proyección de 15 años.

Diversos factores pudieron haber afectado los resultados obtenidos durante el diseño elaborado. La principal fuente de error fue la caracterización del afluente de aguas residuales de la planta de tratamiento aeróbica, ya que se realizó una única medición por el método de muestreo simple. Esto le resta confiabilidad al proceso, ya que no se tiene suficiente información estadística para la determinación de los parámetros de entrada de las aguas residuales. Así como se pudo haber hecho la caracterización en un día de afluencia normal, también cabe la posibilidad de que fuera hecha bajo condiciones anormales del comportamiento del caudal. Esto hace que los valores no sean representativos. Para reducir este error, se deberían hacer varias mediciones de caudal y varias caracterizaciones de las aguas residuales por el método de muestreo compuesto durante varias épocas del año. De esta manera, se tendría un estudio más representativo del comportamiento de las aguas residuales entrantes a la planta aeróbica.

Otro error que pudo haber resultado en un sobredimensionamiento de los equipos es la estimación de crecimiento del complejo comercial y residencial. Los parámetros utilizados fueron datos proporcionados por la administración del complejo, sin embargo, se debería realizar un estudio profundo del crecimiento que ha tenido la zona y cómo se comporta para los años futuros.

C. Módulo 3: Rediseño de tratamientos terciario y cuaternario de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial

El objetivo principal de este módulo era rediseñar y proponer mejoras para los tratamientos terciario y cuaternario de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales de un complejo comercial y residencial, y de esta forma mejorar la calidad del agua en el efluente. Se identificó que la planta opera bajo un sistema biológico aeróbico de lodos activados con aireación extendida. Las unidades que se encuentran instaladas en la planta y corresponden a las etapas estudiadas en este módulo son: un contactor anóxico, un clarificador secundario y un tanque de cloración. Es importante aclarar que el contactor anóxico, tal y como se muestra en la sección de Antecedentes, solamente se utiliza como homogeneizador y no como un tanque con condiciones anóxicas para realizar la desnitrificación.

El primer paso, y uno de los más importantes al momento de diseñar cualquier tipo de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), es realizar la caracterización del afluente. A partir de este análisis se determina qué tipo de tratamiento, ya sea biológico o químico, es el adecuado para remover los contaminantes dentro del agua. Además, de acuerdo con las propiedades fisicoquímicas de las aguas residuales se establecen las unidades de tratamiento que permitan alcanzar los parámetros requeridos o deseados en el efluente de una manera más eficiente.

El tratamiento requerido se estableció al calcular la relación DQO/DBO₅ del afluente, siendo esta de 1.48., lo que significa que se pueden utilizar sistemas biológicos para el tratamiento pues dicha relación es mayor a 0.4. Es importante mencionar que no se pudo calcular este dato conforme a la caracterización de las aguas residuales de la planta existente ya que no se da un valor exacto de la DQO en la memoria de cálculo brindada. Sin embargo, a partir de la obtenida se puede decir que el tipo de tratamiento que se usa es el adecuado.

El caudal de diseño (Q_A) con el que se trabajó fue de 460 m³/d, este dato es teórico y fue calculado en el módulo: "Rediseño de las etapas primaria y secundaria de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aeróbica de un complejo comercial y residencial". No se usaron caudales máximos y mínimos para dimensionar las unidades de tratamiento debido a que se colocó un tanque homogeneizador, en donde uno de sus objetivos es regular el flujo de agua que ingresa a los sistemas posteriores. Un aspecto a resaltar es que el caudal total de entrada con el que se calcularon los sistemas no es igual a Q_A , esto debido a que se tienen recirculaciones. Sin embargo, este último es quien gobierna el balance de masa.

El sistema biológico con cultivo en suspensión que se escogió fue el proceso modificado de Ludzak-Ettinger (MLE). La razón principal de esta decisión fue que se encontraron deficiencias en la remoción de nutrientes¹¹, específicamente de nitrógeno. Por lo tanto, no se están alcanzando los parámetros permisibles por la norma del país. Además, este proceso es el más utilizado para la remoción de N y se pueden alcanzar concentraciones de 5 a 8 mg/L en el efluente (Metcalf & Eddy, 2003). Una de las mayores ventajas que presenta es que se puede adaptar fácilmente a instalaciones existentes de tratamientos a partir de lodos activados.

El arreglo para la desnitrificación, es decir la posición del tanque anóxico, es del tipo pre-anóxico debido a que es mucho más eficiente en comparación a colocar el tratamiento aeróbico previo a este. Esto se debe a que se utiliza como agente reductor a la materia orgánica presente ya en las aguas residuales por lo que se logra que la reacción sea más rápida y que no se requiera adicionar una fuente de carbono como en el tratamiento post-anóxico. Esto se traduce a su vez, en un ahorro económico debido a la eliminación del gasto en químicos como metanol y la simplificación en la operación. Otra de las ventajas es que ayuda a neutralizar el licor de mezcla ya que en la reacción de desnitrificación se produce OH^- y en la reacción de nitrificación H^+ .

La tasa de recirculación interna (IR) se obtuvo del 200% con respecto al caudal de diseño, este valor se encuentra en el rango aceptado para el tratamiento MLE que es de 100-200%. Las variables que afectan dicha tasa son: la tasa de recirculación de lodos activados, en donde se escogió un valor teórico del 60%, y los nitratos provenientes del tanque de aireación y del efluente. Para los nitratos provenientes del tanque en condiciones aerobias se asumió que todo el amonio del afluente es convertido a nitratos y que este no reacciona en el tanque anóxico. Para asegurar esto último en la operación se debe tener control del oxígeno disuelto (OD) previo a realizar la recirculación en el tratamiento aeróbico; es de suma importancia que la concentración de OD en la recirculación sea mínimo para que el oxígeno no consuma el rbCOD y provocar que la tasa de reducción de nitratos disminuya. Por último, los nitratos del efluente se determinaron a partir del límite permisible dado por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 que es de 20 mg/L N.

En el Cuadro 23. se muestra el volumen y dimensiones del tanque anóxico con un tiempo de retención hidráulico de 2.10 h ¹². Con este diseño, se logra remover en su totalidad y con una capacidad en exceso del 3%, la concentración de nitratos en el afluente, teniendo como referencia la concentración máxima permisible de nitrógeno total en el efluente. Se consideró que el 3% de

¹¹ Ver Anexos inciso D: "Copia de los análisis fisicoquímicos realizados a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial estudiado".

¹² El rango teórico es de 1 a 3 h. (Metcalf & Eddy, 2003)

volumen en exceso es adecuado ya que es un factor de seguridad para remover siempre el nitrógeno deseado a pesar de que haya un aumento de este en las aguas residuales. Un aspecto importante por mencionar es que el volumen del tanque se calculó a partir del caudal de diseño y no del caudal total de entrada ya que la remoción de nitrógeno no depende del volumen sino de la concentración final que se quiere alcanzar.

Los tratamientos biológicos para la remoción de fosforo requieren de condiciones anaerobias. Sin embargo, se consideró que es innecesario agregar un tanque anaerobio a la planta ya que la concentración de fosforo en el afluente es de 8.40 mg/L P y esta se encuentra por debajo del límite permitido por la normativa del país ¹³. Esto permite un gran ahorro en costos de una unidad nueva de tratamiento. A pesar de no contar con condiciones anaerobias los microorganismos heterótrofos asimilan el fosforo para la síntesis de nuevas células por lo que el efluente alcanzaría una concentración de 7.25 mg/L P, con una remoción de fósforo de 1.15 mg/L P.

Se decidió que para la remoción de sólidos suspendidos se seguiría trabajando con el mismo tipo de clarificador secundario (alta tasa con placas inclinadas). La razón de esta elección es que uno de los objetivos de este trabajo es considerar el área disponible de la PTAR, y este sedimentador requiere de una menor área para sedimentar la misma cantidad de solidos suspendidos en comparación a los sedimentadores convencionales, por lo que se logra disminuir los costos de instalación y mantenimiento. Igualmente, la inclinación de las placas permite que los lodos se deslicen y caigan por su propio peso a la zona de recolección de lodos haciendo innecesario la instalación de sistemas mecánicos de limpieza, logrando también reducir costos de energía.

Los datos del rediseño del clarificador secundario se muestran en el Cuadro 25. Partiendo de la carga superficial de sedimentación (CS) se logró determinar el área superficial de sedimentación requerida es de 12.27 m², esta es una característica principal de la unidad de tratamiento. La CS se fijó en base a los rangos propuestos para el tratamiento que se tiene previo a ingresar al sedimentador ¹⁴ y a los rangos específicos para el equipo ¹⁵. Además de elegir un valor dentro de dichos rangos, se tenía que controlar la tasa de carga de sólidos en el clarificador ya que, si esta supera el valor máximo recomendado (referirse a la sección de Marco Teórico) la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos disminuye y no se lograría cumplir con este parámetro normado en el efluente.

¹³ El límite máximo permisible para el fosforo es de 10 mg/L P en la etapa cuatro.

¹⁴ Los rangos de acuerdo con el tratamiento son de 40-64 m³/m²d (Metcalf & Eddy, 2003)

¹⁵ Los rangos según el clarificador de alta tasa con placas inclinadas son de 60-180 m³/m²-d (Rincón et al, 2014)

Las variables como el Número de Reynolds, la velocidad crítica de sedimentación (v_{sc}) y el tiempo de retención en las placas (t_c) se calcularon para comprobar que las medidas del equipo seleccionado, a partir del área superficial de sedimentación, son las correctas para remover los sólidos suspendidos en las aguas residuales del complejo. Mediante N_{Re} se probó que se tienen flujos laminares en las placas, lo cual es un requerimiento para que la sedimentación suceda correctamente. Por otro lado, el t_c se encuentra dentro de los rangos teóricos (15 a 25 min). Sin embargo, es importante mencionar que, si este no hubiera quedado dentro del rango, se prefiere no reducir la carga superficial de sedimentación para ajustarlo. Esto debido a que la teoría dice que los sedimentadores de alta tasa son más afectados por el área de sedimentación que por dicha variable. Es decir que, al reducir la CS, el área superficial disminuye y la carga de sólidos aumenta. Por último, se obtuvo un valor de 0.046 mm/s para la v_{sc} y de 0.24 mm/s para la velocidad de sedimentación de la partícula (v_p) por lo que, teóricamente, si se tiene $v_p > v_{sc}$ se puede afirmar que los sólidos suspendidos serán removidos efectivamente. El cálculo de v_p se realizó utilizando el diámetro de partícula más pequeña del rango teórico¹⁶ para asegurar que se sedimentaran todos los sólidos.

Actualmente, la planta no cuenta con una cámara de contacto para realizar el tratamiento de desinfección completo, por lo que es de esperar que no se esté cumpliendo con los parámetros de coliformes fecales. Esto se debe a que no transcurre el tiempo necesario para que el desinfectante inhiba dichos microorganismos presentes en las aguas residuales. La configuración del compartimiento propuesto es de tipo serpentín, con cinco canales, permitiendo de esta forma reducir el largo y logrando una mejor distribución del área total. Las dimensiones de cada canal se pueden observar en el Cuadro 28. El rendimiento hidráulico se mejoró, teóricamente, al diseñar con una relación de t_{10}/t_0 de 0.7 ya que la instalación de baffles perforados al inicio de cada canal y las venas orientadoras del flujo, eliminan las zonas muertas. También, dicha relación disminuye el tiempo hidráulico requerido y por lo tanto el volumen total. El t_{10} que se usó fue de 30 min ya que es el que generalmente se utiliza y recomienda en el diseño.

Otro aspecto importante en el tratamiento cuaternario es el mezclado. Para esta operación se diseñó una cámara para lograr una agitación rápida y así conseguir que las aguas residuales y el desinfectante se mezclen. Esta unidad cuenta con una pantalla divisora entre el ingreso del agua y la turbina debido a que de esta forma se incrementa la turbulencia. Se ha visto que entre mayor sea el N_{Re} , el orden de inhibición de microorganismos se duplica. Además, permite que la entrada del agua sea radial a la turbina. Este aspecto es indispensable ya que la turbina de discos requiere que el flujo ingrese por la parte de abajo de la misma.

¹⁶El rango teórico del diámetro de partícula para lodos activados es de 0.04 – 0.1 mm según Kukla et al.

La desinfección se hará a través de un tratamiento químico por cloro en solución, específicamente utilizando hipoclorito de sodio. Se decidió realizarlo de esta forma ya que este reactivo es económico, de fácil acceso, tiene alta capacidad oxidante y la preparación de la solución es más sencilla y menos peligrosa para el operario en comparación con la del hipoclorito de calcio. Además, el sistema de dosificación es sencillo y el complejo cuenta ya con una bomba dosificadora, sin embargo, se tiene que asegurar que esta tenga la capacidad de dosificar 1.81 L/h. Se debe de diluir el hipoclorito de sodio a una concentración de 5% m/v para contar con la dosis requerida, ya que esta se calculó en base a la cantidad de cloro activo que se requiere para alcanzar una concentración de coliformes fecales de $< 1 \times 10^4$ NMP/100mL en el efluente.

Como equipos auxiliares se tiene una turbina para el tanque anóxico y el mezclado del desinfectante con las aguas residuales. Para el primero, se eligió una turbina de cuchillas inclinadas pues su fuerza cortante es moderada, lo que es indispensable para no romper los flóculos ya formados, pero de igual forma mantener homogéneo el sistema. Para el segundo, se diseñó una turbina de discos ya que su fuerza cortante es alta lo que permite un mezclado rápido. También, se calculó una bomba centrífuga de tipo vórtice para el transporte de los lodos activados desde el clarificador secundario hacia la unidad con condiciones anóxicas y al digestor de lodos anaerobio. Se realizó un lazo de control para que esta distribuya el caudal requerido a ambos tratamientos a partir de la medición de este último y la configuración abierto/cerrado de válvulas de compuerta. La bomba seleccionada, a pesar de ser centrífuga, se utiliza para manejar sólidos sin problemas de taponamiento. Sin embargo, para evitar cualquier problema en el proceso se puede colocar una configuración en paralelo, de este modo, si alguna tuviera un atasco se puede utilizar la otra. Además, cuentan con un revestimiento comúnmente de cromo o níquel para evitar la abrasión.

En la sección de resultados se muestran los materiales de construcción del clarificador secundario y turbinas, respectivamente. Estos se evaluaron según el costo que puedan presentar y su funcionalidad. Por lo que se eligió acero al carbono ya que este es un material barato y con gran resistencia. Por otro lado, las placas del clarificador secundario son de polipropileno ya que es un material ligero, resistente y con menor caída de presión.

D. Módulo 4: Rediseño de tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial

El objetivo principal del trabajo consistía en efectuar el rediseño de las unidades de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario de una planta de depuradora de aguas residuales anaeróbica ubicada en un complejo comercial y residencial; esto con el fin de poner en marcha las instalaciones que actualmente se encuentran fuera de operación. Para cumplir con el objetivo, se inició por la determinación del caudal de diseño con el que se iba a trabajar. Como se puede observar, existe un porcentaje de crecimiento del 209% con respecto al caudal de diseño de la planta actual. La PTAR se encuentra fuera de operación con el caudal de hoy en día, lo que permite inferir que sería imposible que trabajara a plena operación con el caudal proyectado a 15 años.

La planta anaerobia de tratamiento, consta actualmente con un sistema de rejillas que se encuentra ubicado al principio del canal de entrada. El problema reside en que, aguas abajo del canal, existen conexiones adicionales de agua residual de una edificación que funciona como planta de manejo de desechos sólidos (PMDS). En esta construcción hay dos sanitarios que atribuyen aguas negras y algunos desechos sólidos a la planta de tratamiento, los cuales ya no son retenidos por algún tipo de tamiz. Se efectuó el rediseño de las rejillas vigentes para asegurar que estas sean capaces de remover los sólidos de gran tamaño y además se propuso la instalación de otro sistema de rejillas posterior a los enlaces de los desagües sanitarios de la PMDS. En el cuadro 8 de la sección de resultados se presentan las especificaciones de cada uno de los sistemas de rejillas propuesto.

El sistema global planteado está compuesto por dos cajas de rejillas gruesas, una para la primera sección del canal de entrada y otra para el tramo final, con el fin de impedir completamente el paso de sólidos de gran tamaño. Las rejillas son de limpieza manual por lo que todos los sólidos congregados deben ser removidos cada 15 días para evitar atascos. Como se puede observar en el cuadro referido, se obtuvo un sistema de rejillas con 19 barrotes para la primera caja y 39 para la segunda.

Según información obtenida por las autoridades del complejo, cada uno de los establecimientos conectados a la red de aguas negras del desarrollo, tiene dentro de sus instalaciones una trampa de grasas para mantener los sistemas de tuberías libre de obstrucciones. El fin primordial de estos dispositivos de limpieza es evitar que las grasas y aceites de las cocinas

lleguen a los desagües. Gran parte del personal de los comercios desconocen si se cuenta con dicho sistema, y en los que aseguran tenerlo, no realizan la limpieza adecuada de las mismas.

Actualmente en el complejo, las grasas no están siendo removidas de manera correcta, por lo que se pueden encontrar grandes aglomeraciones de estos lípidos en el canal de entrada de la planta de tratamiento. Esto conlleva a dos problemas principales: primero, estas grandes masas de grasa ya están formando una oclusión que dificulta el paso del agua por los conductos que conectan directamente al proceso de limpieza primario; segundo, las grasas y aceites pueden afectar el funcionamiento de los equipos de la planta y reducir su eficiencia de limpieza.

Otro factor importante es que, como se aludió al principio, la planta de manejo de desechos sólidos del complejo conecta directamente al canal de entrada de la planta de tratamiento. La PMDS genera lixiviados que contienen grasas y, además, cuenta con sanitarios y lavaderos en los que no existe un control de los desechos que se vierten. Por las razones ya mencionadas se sugiere la instalación de una trampa de grasas en el canal de entrada de la PTAR, equipo posicionado en el intersticio de los sistemas de rejillas.

En la sección de resultados se detalla las especificaciones de diseño de la trampa de grasas propuesta. Las dimensiones finales de este sistema se implantaron para acomodarse a las necesidades y presupuestos de las autoridades del complejo comercial. Algunos de los criterios tomados en cuenta para el diseño de la trampa fueron: diseño convencional de bajo costo y fácil operación y mantenimiento del sistema. El modelo de la trampa es de limpieza manual que consiste en una cámara en donde se almacena el agua, la cual contendrá un bafle que actúa como una desviación que fuerza el agua a viajar en una dirección vertical favoreciendo la separación de las grasas y aceites. Las dimensiones (largo, ancho, profundidad) fueron establecidas con el fin de encajar en el área actual del canal de entrada.

También detalla el tiempo de residencia hidráulico y volumen determinados para la trampa de grasas propuesta, obteniendo valores de 3.13 minutos y 0.5 m³ respectivamente. El tiempo de retención obtenido se consideró adecuado debido a que los tiempos de residencia deben oscilar alrededor de los cinco minutos para caudales de agua de 3 L/min. Además, la trampa cumple con el hecho de tener como mínimo 0.25 m² de área por cada litro por minuto de agua residual, que brinda una mejor remoción de grasas.

El último paso dentro de los procesos de pretratamiento es el medidor de caudal. Esta operación no constituye un pretratamiento como tal, pero se incluye en esta sección por no formar parte directa de los procesos de depuración del agua residual, entendiéndose tratamientos primarios,

secundarios y terciarios. El medidor de caudal será plena importancia ya que regulará el flujo del afluente, y, para este caso, funcionará como una caja de toma de muestras para poder efectuar caracterizaciones del agua de entrada, que en la actualidad no es posible hacer por deficiencias de las instalaciones.

En la sección de resultados se exponen las dimensiones obtenidas para la canaleta Parshall. La selección de las dimensiones de la canaleta se hace con base en el flujo volumétrico del afluente de aguas negras debido a que ya existen tamaños estandarizados dependiendo de este valor.

Posteriormente se efectuó el dimensionamiento de las etapas de tratamiento primario y secundario. Para el tratamiento primario se diseñó un único tanque sedimentador que remplace los cuatro tanques actuales que posee la planta del este sitio. Se efectuó el diseño de dos tipos de tanques, rectangular y circular, para poder ejecutar una comparación y determinar cuál configuración brinda los mejores resultados para la planta. Como se puede observar, se obtuvo un sedimentador rectangular con un largo de aproximadamente 3.00 metros y un ancho de 1.00 metro. Paralelamente, se determinó un tanque de sedimentación circular de 2.70 metros de diámetro y 4.00 metros de profundidad que cumpliera con las mismas especificaciones. El parámetro decisivo para concluir que tipo de sedimentador se escogería fue el porcentaje de remoción de demanda biológica de oxígeno y remoción de sólidos suspendidos totales. La DBO es uno de los principales parámetros a cumplir en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, razón por la cual se determinó que el sedimentador circular es el adecuado para la planta del complejo. Se obtuvo un porcentaje de remoción de DBO de 36.36%, la cual es alrededor de 7% mayor de la que se consigue con un sedimentador rectangular. Con respecto a la remoción de sólidos suspendidos totales, se alcanzó una eficiencia de 58% que, al igual que la reducción de DBO, se encontraba por arriba del conseguido con el sedimentador rectangular.

En cuanto a los tiempos de retención de cada tipo de equipo, se encontró que no existe una gran diferencia entre cada uno de ellos. El primer tanque indica un tiempo de retención de 2.40 horas y una residencia de 1.25 horas para el segundo tipo dimensionado. Según Metcalf & Eddy, los valores típicos para el tiempo de retención en estos equipos son de 2 horas. Por esta razón, se consideró que la diferencia entre estos tiempos de retención no era lo suficientemente representativo como para persuadir en la decisión del tipo de tanque a escoger. Además, las características ya mencionadas, el sedimentador circular se adecua de mejor manera al espacio actual en el que está construida la planta. El espacio en la planta es limitado y el objetivo de la propuesta del nuevo diseño es reutilizar de la mejor forma posible el espacio con el que se dispone para reducir los costos de construcción.

Fue necesario el cálculo de la velocidad de arrastre para conocer el valor máximo que podía tener el agua residual al ingreso del tanque sedimentador, para asegurar que no existiera un arrastre de las partículas ya asentadas. Se obtuvo un valor de 4.63×10^{-4} m/s como velocidad lineal del agua, la cual es mucho menor que la velocidad de arrastre, 0.06 m/s. Estos datos permiten inferir que las partículas sedimentadas no se verán influenciadas por el agua que entra al sedimentador. En general, el sedimentador circular permite tratar un mayor volumen, reducir el espacio necesario para su instalación y maneja mayores concentraciones de carga orgánica en comparación al tanque rectangular, sin embargo, un tanque rectangular ofrece menores tiempos de retención.

Como desenlace, se planteó un sistema de tratamiento de tipo biológico, específicamente un filtro anaerobio de flujo ascendente, con el fin de brindar un tratamiento secundario al afluente de agua que ya ha pasado por el sedimentador primario. Para este sistema, se rediseñó completamente la disposición actual, de modo de reducir la cantidad de tanques existentes, contar con un proceso más ergonómico y a su vez incrementar la eficiencia de trabajo. El proceso se distribuyó en dos equipos similares que operan en serie, a diferencia del método actual que funciona en paralelo. Se obtuvieron tanques de 2.85 y 3.00 metros de diámetro y profundidad respectivamente. La profundidad del tanque está dividida en tres secciones: altura del medio filtrante, altura arriba del medio y altura debajo del medio.

El tiempo de retención hidráulica del agua residual dentro de cada uno de los filtros resultó ser de 4 horas, valor para el que se obtuvo una eficiencia de 56.50%. Es de plena importancia resaltar que la colocación de un solo filtro anaeróbico que operara con 8 horas de tiempo de residencia proporcionaría una eficiencia de 69.24%, dando como consecuencia una mejor reducción de la DBO en el agua. No obstante, las dimensiones de los filtros propuestos aún generan datos de DBO y SST permisibles por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, por lo que se consideró prudente colocar los equipos de esta manera.

La entrada del afluente al tanque estará ubicada en la parte inferior del mismo para conseguir el efecto del flujo ascendente que se requiere. Esta sección, también conocida como falso fondo, es el área donde se depositan los lodos producidos por el tratamiento del afluente, por lo que está equipada con una válvula para la evacuación de dichos lodos. Por encima del dren, radican los filtros plásticos donde se lleva el proceso de depuración del agua. Luego, arriba de este empaque, existe una altura libre de agua por motivos de seguridad porque es donde se almacenan los gases generados por la depuración del agua, entiéndase: metano, gas carbónico, sulfuro de hidrógeno, entre otros.

Se obtuvo un valor de 4.67 kg DBO/m³d de carga orgánica en el equipo. Este resultado es otro de los parámetros que asegura el buen funcionamiento del equipo planteado debido a que, en el diseño de los filtros anaerobios, las cargas orgánicas volumétricas no deben exceder los 12 kg/m³d porque esto implicaría que existe una concentración por encima de la cual el diseño de los equipos queda limitado. El valor discutido hace referencia a la carga orgánica del agua que evacua el sistema, sin embargo, el medio de soporte debe tratar con mayores cargas orgánicas por el hecho de ser el lugar donde actúan las bacterias y se deposita la biomasa. Según los datos encontrados, la carga orgánica en el medio filtrante es de 14.00 kg DBO/m³d. Como era de esperarse, esta cifra se encuentra ligeramente por encima del valor límite recomendado, sin embargo, esto no influye de manera significativa por el hecho de que el valor de carga orgánica del efluente si se encuentra adecuado. Resulta conveniente seguir empleando un soporte plástico, como el que se tiene actualmente, ya que las piezas sintéticas (plásticas) han demostrado ser capaces de tratar aguas residuales con una mayor carga orgánica.

En la sección de resultados se muestra la demanda biológica de oxígeno y los sólidos suspendidos totales del afluente. Se efectuó una comparación entre dichos valores y los valores máximos permisibles por el Acuerdo Gubernativo 236-206 y se determinó que estos cumplen con la norma para la etapa 4, cuya fecha máxima de cumplimiento se establece para el 2 de mayo del año 2024. Esto permite inferir que los equipos planteados para llevar a cabo la limpieza y depuración del agua son capaces de operar la planta sin ningún inconveniente de incumplimiento de la norma de disposición de aguas.

A medida que va ocurriendo el proceso de depuración del agua residual en el filtro biológico, se van generando lodos. Además de esto, también existe la producción de gas, compuesto esencialmente por dióxido carbónico y metano. En la sección de resultados se detalla la cantidad de productos obtenidos y algunas especificaciones de cada uno de ellos. Como se puede apreciar, el proceso genera 53.13 m³ de gas al día, de los cuales el 34.54 m³/d son de metano (65%). Es oportuno mencionar que el equivalente en energía del metano producido es de 314 kWh. Si se observa en la sección de anexos, se pueden ver los consumos promedio por diferentes tipos de usuarios en Guatemala. Al efectuar la relación, se puede ver que la cantidad de energía contenida en el metano sería capaz de abastecer el consumo energético promedio de un comercial por un mes, así como también el consumo de varios usuarios residenciales. A pesar de ello, la inversión de una planta cogeneradora de energía es bastante alta, pero también presenta rápidos retornos de inversión del capital.

La decisión de la inversión en una planta de esta índole queda completamente a disposición del personal administrativo del complejo, sin embargo, se sugiere otra opción para la

disposición del gas. La segunda opción que se propone es un sistema de antorcha con un quemador que se encarga de la combustión del metano, ya que de esta manera se estarían generando gases de CO_2 al ambiente que a pesar de que también es un gas de efecto invernadero, presenta menos problemas ambientales que el CH_4 . Es de suma importancia recalcar que la tubería que conduce el metano a la chimenea no es de policloruro de vinilo, PVC, como lo son el resto de tuberías de la planta. Esta tubería debe ser de un material que resista los efectos de corrosión del sulfuro de hidrógeno, H_2S , y del metano. La tubería recomendada es una tubería de acero al carbón de un diámetro nominal de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Esta tubería no es excelente ante la corrosión, pero se puede catalogar de buena resistencia y de bajo precio.

Por otra parte, se obtuvo una generación de lodos de $3.84 \text{ m}^3/\text{d}$ acoplados a un tiempo de residencia de 21 días que permitirá que los lodos se estabilicen. En términos generales, los sistemas de tratamiento anaerobios generan menor cantidad de lodos que un sistema aerobio, debido a que en este método no existen agentes oxidantes. Esto se puede reafirmar luego de observar que, en comparación del volumen de metano producido al día, la cantidad de lodos es mínima.

Para el sistema global propuesto, fue necesario el cálculo de diámetros de tuberías y la potencia de una bomba. Los valores obtenidos se detallan en la sección de anexos. Como se observa, se decidió la colocación de una bomba centrífuga debido a que la densidad del agua residual es prácticamente igual a la del agua a 25 centígrados Celsius y la viscosidad puede ser despreciable.

Finalmente, se concluye que, bajo los regímenes de estos equipos, el agua residual del complejo comercial y residencial debería cumplir con los parámetros máximos permisibles para la demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Es recomendable conocer todos los puntos de ingreso de agua a las instalaciones para asegurar que toda el agua está siendo tratada. De igual forma, se aconseja dirigir el efluente de agua directamente al cuerpo receptor de agua y no mezclarlo nuevamente con agua residual que ingresará a otra planta de tratamiento, ya que el agua ya se encontrará limpia y lista para su disposición final.

E. Módulo 5: Rediseño del tratamiento terciario y desinfección de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial

Se cumplió el objetivo general del módulo ya que se rediseñó la etapa terciaria y la etapa de desinfección de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial, ubicado en zona 16 de la ciudad de Guatemala.

Al obtener los datos de la caracterización del afluente y del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales se determinó que la planta anaeróbica no cumple con los límites máximos permisibles del DBO, coliformes fecales y nitrógeno total, según el Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”. Al no cumplir con estos tres límites máximos permisibles según dicho acuerdo, se decidió que la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica debía ser rediseñada para que sí cumpliera con los límites máximos permisibles de dichos parámetros.

En la actualidad, la biotecnología cada vez se utiliza con más frecuencia como solución a diversas problemáticas. Las aguas residuales siempre han sido una problemática tanto en la industria como en la urbanización de las ciudades. La urbanización en la ciudad de Guatemala ha ido en crecimiento en los últimos años por lo que la demanda de diseño y construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales económicas y de pequeño tamaño ha aumentado. Es por esta razón que se propuso, para la etapa terciaria, la utilización de bacterias BioRemove 5100 marca Novozymes® como una alternativa novedosa y biotecnológica para remover los nutrientes contenidos en el agua residual. Para comprobar su correcto funcionamiento, se evaluó el porcentaje de remoción del nutriente nitrógeno porque este parámetro no cumplía con el límite máximo permisible establecido para el año 2015 según el artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”. En la caracterización del afluente se determinó que la concentración de fósforo presente en el agua residual está por debajo del límite máximo permisible para dicho parámetro según el artículo 20 por lo que no se estudió el porcentaje de remoción del fósforo generado por las bacterias BioRemove 5100.

En la sección de resultados se puede observar la primera expresión de la cinética de la remoción de nitrógeno total. Se puede observar que la concentración del sustrato (nitrógeno total), a las 14,400 s (4 horas) de su digestión, es de $78.5714 \pm 0.1153\%$ por lo que en 4 horas ya se ha removido la suficiente cantidad de nitrógeno total presente en la muestra de agua residual como para cumplir con el límite máximo permisible de nitrógeno total establecido en el Artículo 20. Se

comprueba que las bacterias BioRemove 5100 pueden ser empleadas, bajo la agitación y dosificación necesaria, para remover el parámetro de nitrógeno total. Se midió el nitrógeno total porque este parámetro abarca el amoníaco presente en el agua residual, el ion nitrito y el ion nitrato. Como se muestra en la sección de marco teórico, las bacterias BioRemove 5100 descomponen el amoníaco en ion nitrito y luego en ion nitrato a lo que se le llama nitrificación y luego convierten el ion nitrato a nitrógeno atmosférico, como desnitrificación, el cual es un gas liberado a la atmósfera como gas inerte, estas reacciones se presentan en las ecuaciones 1 y 2 de la sección del marco teórico. La nitrificación y desnitrificación simultánea se da por medio de un proceso biológico ya que las bacterias necesitan estar en medio aerobio para transformar el amoníaco a ion nitrito y luego de ion nitrito a ion nitrato en un medio anóxico.

Se midió el nitrógeno total como concentración del sustrato utilizando el equipo de colorimetría HACH por medio del procedimiento "Test 'N Tube" Nitrógeno Total, método de digestión de TNT persulfato (método 10071/10072) para agua y agua residual. Para llevar a cabo este método se debía de disponer de un digestor para tubos de ensayo y del colorímetro de marca HACH. Se realizó esta experimentación durante 6 horas (21,600 s) simulando un reactor de tanque agitado (Biorreactor) con un Beaker de 2000 ± 50 mL en donde se agregaron $0.06074 \pm 5 \times 10^{-5}$ kg de bacterias BioRemove 5100 y $6 \times 10^{-4} \pm 5 \times 10^{-5}$ m³ de muestra de agua residual. Se agitó a 30 rpm porque los microorganismos no pueden ser agitados a velocidades muy altas porque no serían capaces de realizar la digestión de nutrientes adecuadamente e incluso podrían morir. Con esto se comprobó que la agitación debe de ser entre un rango de 30-40 revoluciones por minuto.

Gracias a que estas bacterias necesitan ambos medios, aerobio y anóxico para realizar el proceso de nitrificación – desnitrificación simultánea se propuso el diseño de tanques agitados como biorreactores. Con el caudal proyectado al año 2032 y el tiempo de retención encontrado experimentalmente de 4 horas se calculó un volumen necesario de 40 m³ para la etapa terciaria. Para el cumplimiento de este volumen se propuso utilizar dos biorreactores de 22 m³ prefabricados de polietileno por su largo tiempo de vida, bajo mantenimiento, por su facilidad de compra en el mercado y porque cada biorreactor entrega 10% de altura libre de líquido para un mejor funcionamiento del agitador. Debido a que los biorreactores son prefabricados se propuso que estos se modifiquen para que los agitadores sean instalados y removidos para el mantenimiento y limpieza tanto de los motores como de las aspas de la turbina.

Debido a las medidas del biorreactor, es necesario colocar equipos auxiliares para completar la etapa. Es necesario colocar una estructura para sostener el agitador con su motor en la parte superior del tanque, también son necesarias dos bombas, una bomba de dosificación de

dilución de bacterias $1.05 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ de capacidad y una bomba centrífuga de 559.27 W ($\frac{3}{4}$ hp) de potencia con eficiencia del 65%.

Se seleccionó la bomba dosificadora de la capacidad descrita porque en el mercado guatemalteco no existen bombas dosificadoras de menor capacidad, pero, de igual manera, se cumple con la dosificación necesaria de $5.775 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$. La bomba centrífuga se colocó entre el primer biorreactor y el segundo biorreactor, para que se cumpla el tiempo de retención de 4 horas y así que el $78.5714 \pm 0.1153\%$ del nitrógeno total sea digerido, el caudal de agua residual debe de atravesar el tanque desde la parte superior hasta la parte inferior y así propiciar el contacto aerobio en la parte superior y el contacto anóxico en la parte inferior de los biorreactores. Para cumplir con esto, se propuso la utilización de dos válvulas de compuerta de material PVC y diámetro de 1016 m (4 in), una colocada antes de la bomba y otra después de esta, ya que su función solamente es abrir el paso del fluido además de ser necesarias para el mantenimiento de la bomba. Es necesario colocar un flotador el cual le indique a la bomba dejar pasar el fluido de un biorreactor al otro hasta que el primero esté lleno, se hace esto con el fin de asegurarse que se dé el tiempo de retención necesario y que la bomba no cavite al momento de tener un caudal menor en el afluente.

La bomba centrífuga necesaria para movilizar un caudal de $0.002662 \text{ m}^3/\text{s}$ fue de 559.275 W ($\frac{3}{4}$ hp) con un 65% de eficiencia porque las bombas centrífugas son utilizadas para mover caudales grandes a bajas presiones. Las características técnicas descritas son características dadas por el proveedor de este equipo. Se calculó la potencia en base a la presión de succión y presión de descarga generada, por ende, en base a la cabeza necesaria. Estos datos calculados se muestran en la sección de metodología y en cálculos de muestra en la sección de anexos.

Se eligió un agitador vertical de turbina de 6 palas porque este es adecuado para fluidos poco viscosos. El agitador vertical de turbina de 6 palas debe de tener un motor de 745.7 W (1 hp) con 70% de eficiencia dada por el proveedor, para generar la agitación a una velocidad de 36 rpm. Esta velocidad es baja debido a que los microorganismos deben de estar en contacto con el agua residual y no deben de ser agitados a velocidades muy altas porque entonces no serían capaces de realizar la digestión de los nutrientes. Esta velocidad de agitación teórica se replicó por medio de experimentación a escala laboratorio y se comprobó su efectividad. Las medidas del agitador se obtuvieron mediante reglas gruesas utilizadas comúnmente para el diseño de tanques agitados. El biorreactor no lleva baffles o deflectores porque los microorganismos podrían quedar atrapados en estos y no cumplir su función, además de generar obstrucciones, no son necesarios porque la agitación no se propuso a velocidades altas como para generar vórtice.

La cloración es el método de desinfección comúnmente utilizado a nivel mundial por su alto porcentaje de remoción de patógenos ya que elimina hasta un 99% de los mismos. Es por esto que se propuso un sistema de un tanque de cloración agitado cilíndrico vertical, en el cuadro 18 se muestra un listado de los equipos y accesorios propuestos para la etapa de desinfección. El volumen del tanque necesario para el caudal y un tiempo de retención de 15 minutos es de 3 m³ como dato calculado, pero en el mercado no existe un tanque de polietileno prefabricado que cumpla con ese volumen exacto por lo que se propuso uno de 5 m³ para que se reutilicen dos de los tanques de esta capacidad instalados actualmente en la planta de tratamiento anaeróbica del complejo comercial y residencial ubicado en la zona 16 de la ciudad de Guatemala. También se propuso emplear un tanque de 5 m³ para que el complejo se ahorre este costo al momento de comprar los equipos para el nuevo diseño.

El flujo saliente del segundo tanque de la etapa terciaria se direcciona hacia el siguiente tanque de desinfección por una tubería de PVC por gravedad. Se diseñó así, porque el tanque de desinfección es de menor altura que el segundo biorreactor de la etapa terciaria por lo que no es necesario emplear una bomba para el transporte de un tanque al otro. Se deben de emplear una bomba dosificadora para el cloro ya que, como se muestra en el cuadro 18 de la sección de resultados, la dosis necesaria de solución debe ser de 1.386×10^{-7} m³/s por lo que, nuevamente, la bomba dosificadora de 1.05×10^{-6} m³/s encontrada en el mercado sí cumple con el requisito de dosificación. Se propuso la solución de hipoclorito de calcio porque este se vende en el mercado guatemalteco en presentaciones fáciles de manejar ya que lo venden granulado y concentrado al 65% o incluso mayores, por lo que se utiliza una menor cantidad de hipoclorito de calcio para realizar la dilución necesaria a dosificar produciendo ahorro en la compra de este.

El agitador vertical de turbina de seis palas debe de utilizar un motor de 1,118.55 W (1.5 hp) porque la velocidad de agitación en este tanque sí debe de ser alta para facilitar el contacto de los patógenos con el cloro y acelerar la reacción de eliminación de los mismos. Las medidas del agitador se obtuvieron por medio de reglas gruesas para agitar una altura de fluido de 0.80 m lo que equivale al 60% del volumen total del tanque. El motor propuesto tiene una eficiencia de 70% dada por el proveedor y las características técnicas mostradas en la sección de resultados fueron dadas por el proveedor.

Con base en este diseño y en el porcentaje de remoción teórico de 99% de la cloración, se determinó que sí se cumple la eliminación de coliformes fecales.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Unesco, realizó una publicación en 2017 del Informe Mundial de la Naciones Unidas sobre el

Desarrollo de los Recursos Hídricos titulado Aguas Residuales, el Recurso desaprovechado en el cual se propone la reutilización del agua residual como fuente de ahorro para cualquier empresa y país. Con el afán de seguir dicho informe se evaluó la posibilidad de reúso del efluente total o parcial de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica del complejo comercial y residencial. Para esto, se siguió el Artículo 35 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” en donde se establece qué tipo de reúso se le puede dar al agua residual y en este caso es tipo V: reuso recreacional para el riego de áreas verdes. Para cumplir con dicho artículo, el agua residual debe de cumplir con dos parámetros únicamente, el límite máximo permisible de DBO de 0.200 kg/m^3 y el límite máximo permisible de coliformes fecales $< 1 \times 10^6 \text{ NMP/m}^3$.

El parámetro teórico de eliminación de coliformes fecales no cumple con un porcentaje de remoción de coliformes fecales de 99% según el diseño propuesto, mientras que el parámetro de DBO sí cumple con el límite máximo permisible de DBO, por lo que sí se cumple únicamente con uno de los dos límites máximos permisibles de ambos parámetros descritos en el Artículo 35 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” se puede concluir que el diseño propuesto no es útil para reutilizar el efluente. Para esto, se recomienda que se agregue un último tanque cilíndrico vertical adicional, junto con el agitador, su motor y demás componentes.

Se concluye que la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica instalada actualmente en el complejo comercial y residencial no cumple con el Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” por no cumplir con los límites máximos permisibles de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno Total y Coliformes Fecales, es por esto que se propuso un rediseño de la etapa terciaria y de la etapa de desinfección que sí cumpla con los requerimientos de remoción de dichos parámetros para lo que se propuso un sistema de dos biorreactores de 22 m^3 en los cuales se dosifiquen microorganismos digestores de nutrientes y un tanque agitado para la cloración de 5 m^3 , los tres tanques con su respectivo agitador y motor de agitación y las válvulas y bombas necesarias para el correcto transporte del agua residual de un tanque a otro.

F. Módulo 6: Rediseño del tratamiento de lodos y patio de secado de las plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica de un complejo comercial y residencial

El objetivo principal de este trabajo consistió en mejorar y rediseñar el tratamiento y patio de secado de lodos de las plantas de depuración de tipo aeróbico y anaeróbico de aguas residuales de un complejo comercial y residencial realizando un análisis del diseño actual y su mantenimiento para lograr obtener propuestas técnicas de mejora. Para esto, fue necesario realizar visitas para conocer el diseño, operación y mantenimiento actual de ambas plantas, al igual que un análisis de aguas para conocer parámetros necesarios en el rediseño. Las dos plantas son consideradas plantas de tratamiento residuales de capacidad pequeña¹⁷.

Para dimensionar los equipos fue necesario definir el balance de masa de ambas plantas de tratamiento de aguas residuales para poder dimensionar los equipos, y se definió los componentes que conforman el tratamiento de lodos. Es importante mencionar que se omitieron etapas como las operaciones de pretratamiento, en donde ocurre el desarenado, debido a que estas solamente son necesarias si las etapas de tratamiento primario, secundario o terciario están incompletas, lo cual no es el caso del presente trabajo. El acondicionamiento de lodos tampoco es necesario debido a que solamente es un proceso utilizado para mejorar características de deshidratación, pero no es indispensable y se ahorran costos de instalación y mantenimiento.

Para el rediseño de la planta aeróbica se consideraron los procesos de estabilización y deshidratación de lodos. Se propuso que la estabilización fuese por medio de una digestión anaeróbica. Se utilizaron datos obtenidos del análisis de aguas de Soluciones Analíticas, información brindada por el complejo y otros datos teóricos de la literatura debido a que no fue posible obtener muestras de aguas y lodos de todas las partes del proceso. Inicialmente, se consideró el diseño de un digestor de una fase y alta carga. El digestor de una sola fase y de alta carga no cumple con el alto según el rango establecido (Metcalf & Eddy, 2003), pues el alto de los digestores raramente es menor a 7.5 m. Esto se debe a que el tiempo de retención de sólidos es menor en este tipo de digestores, por lo que el volumen disminuye y depende principalmente de la cantidad de sólidos generados en la planta. Para este digestor se requiere un sistema de mezclado y calentamiento, por lo que las dimensiones pequeñas no resultan convenientes porque se producen problemas durante el mezclado y también problemas de acumulación de arena o espumas. Esto indica que para el caudal de lodos que se estaría produciendo en la planta de

¹⁷Son consideradas plantas pequeñas aquellas que tienen una capacidad menor a 4,000 m³/día (Metcalf & Eddy, 2003).

tratamiento no es conveniente este tipo de digestor, pues estos se utilizan comúnmente en plantas con una mayor capacidad, en donde se generan mayor cantidad de lodos. Además, este equipo requiere una gran cantidad de energía para el mezclado y calentamiento.

Por esta razón, se decidió también proponer el diseño de un digestor convencional. Con este diseño se obtuvo un mayor volumen debido a que el tiempo de retención de sólidos necesario es mayor¹⁸. En este caso, el diámetro y alto se encuentran dentro del rango establecido. Las ventajas de un digestor convencional son que no necesita mezclado ni calentamiento, por lo que los costos de operación son menores. El principal problema de este tipo de digestores es que no se logra una estabilización eficiente por el poco control de temperatura que se tiene. La temperatura ideal ¹⁹ se logra debido a que la reacción es exotérmica. Sin embargo, se debe tener un control de temperatura por medio de una termocupla instalada en la cubierta del digestor, para monitorearla periódicamente y asegurar que la estabilización sea más eficiente. Otro factor importante a controlar es el pH, pues las bacterias productoras de metano son muy sensibles al pH²⁰. Ya que durante la reacción ocurre formación de ácidos, el pH comúnmente tiende a disminuir, por lo que se debe incluir una provisión en la cubierta del tanque para la adición de algún químico, como cal, en caso de que esto suceda. El pH se puede monitorear con un potenciómetro instalado en la cubierta del digestor. No obstante, por el alto tiempo de retención se calculó un porcentaje de estabilización de 88.64%, lo cual se considera como aceptable, pues según Metcalf & Eddy, un porcentaje de estabilización mayor a 56% puede considerarse como aceptable. La diferencia entre el porcentaje de estabilización entre el digestor convencional y el de una fase y alta carga se debe al tiempo de retención de sólidos. Sin embargo, esta diferencia es menor al 2% por lo que ambos diseños presentan excelente estabilización. El mayor problema de este digestor es el espacio necesario, pues la ubicación actual limita el espacio requerido. Además, por el gran tamaño de la construcción, se esperaría un elevado costo de construcción. El gran tamaño se debe por la gran producción de lodos, principalmente en el aireador, y por el elevado tiempo de retención que se necesita para obtener un proceso eficiente de estabilización. A continuación, se discuten algunos factores a tomar en cuenta si se desea ampliar o trasladar la planta en un futuro.

Los digestores comúnmente son construidos de concreto por cuestión económica y por la resistencia de este. La principal ventaja de una digestión anaeróbica es que los lodos estabilizados poseen características adecuadas para aplicar en la tierra como mejorador de suelos. También es un método que requiere menor energía, pues una digestión aeróbica necesita mayor energía para

¹⁸Para los digestores convencionales se recomienda un tiempo de retención de sólidos entre 30 y 60 días (Metcalf & Eddy, 2003).

¹⁹La temperatura ideal es de 35°C (WEF & ASCE, 1991).

²⁰La producción óptima de metano ocurre en un pH entre 6.8 y 7.2 (WEF & ASCE, 1991).

proveer un buen mezclado y la transferencia de oxígeno. Una de las principales desventajas de la digestión anaeróbica es que se necesita tomar en cuenta factores de seguridad, ya que la producción de gases puede resultar peligrosa. La cubierta es fija por cuestiones económicas, ya que estas tienen un menor costo inicial. Como parte de seguridad industrial, es importante indicar que está prohibido encender fuego o fumar cerca del digestor y la cubierta debe tener acceso para mantenimiento y limpieza, por lo que deben proveerse escaleras para el acceso a la misma. Se deben considerar la instalación de válvulas de alivio de presión/vacío, para evitar el exceso de presión; y trampas de llamas, para apagar cualquier llama que pueda producirse y evitar incendios. La presión dentro de la cubierta debe ser levemente positiva para evitar entrada del aire²¹. Este digestor debe operar a una presión por debajo de 3.5 kPa (0.5 psi) y se debe tener un control de esta presión por lo que se debe instalar un manómetro para mantener un buen control. Debe considerarse la instalación de un lazo de control y automatización para encender una alarma en caso la presión llegue a 3.5 kPa.

El gas producido durante la reacción debe ser quemado por una antorcha antes de liberarlo a la atmósfera, ya que el metano es un gas más contaminante que el dióxido de carbono²². Se obtuvo un diámetro de 3 pulgadas para la línea de recolección, según el flujo de gas producido y el material es acero carbón, el cual tiene una resistencia aceptable contra la corrosión. Además, se determinó la energía producida del gas a partir del poder calórico del gas, para determinar si la cantidad de energía proporcionada era suficiente para su aprovechamiento como fuente de energía. La energía producida por el metano puede suplir el consumo de energía promedio de un comercial, siendo esta de 205 kWh, según un informe estadístico realizado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2017). Sin embargo, un sistema para producción de electricidad a partir del gas generado durante la digestión puede tener un costo elevado²³, por lo que se deben evaluar costos de instalación, operación y mantenimiento al igual que el periodo de recuperación de la inversión para decidir la conveniencia de su instalación, por lo que se deja a discreción de la administración del complejo.

Finalmente, se propone otra opción para la estabilización en la planta aeróbica para mejorar el proceso lo más pronto posible, siendo esta una estabilización alcalina controlada. La cantidad de cal necesaria para los lodos generados se determinó a partir de la cantidad de sólido seco en el lodo. Como se observa, la cantidad de sólido seco en el lodo es grande y por ende, según relaciones establecidas, la cantidad de cal a agregar diariamente es elevada. Esto puede

²¹La mezcla de aire con metano de concentraciones de 5 a 20% puede resultar explosiva (WEF & ASCE, 1991).

²²El metano es 21 veces más contaminante que el dióxido de carbono (FAO, 2011).

²³Solamente costos de inversión pueden ser de 8,500 a 14,000 \$/kW (CFE, 2012).

ser un inconveniente dado que la cantidad diaria de cal necesaria es de aproximadamente ocho bolsas de 25 kg de cal. Para este proceso el pH debe controlarse durante dos horas, y no debe disminuir de 12, por lo que se deben tomar muestras cada 30 minutos para asegurarse que esto no suceda²⁴. Para el control de pH se debe realizar una suspensión del lodo y con el uso de papel pH, determinar el mismo. El inconveniente de este proceso de estabilización es que la cantidad de sólidos finales aumentan y se requiere mucha mano de obra para mezclar continuamente al agregar la cal y evitar que esta quede únicamente en la parte superficial del lodo. Se propone que esto se realice en el patio de secado por cuestiones económicas y debido a que es como comúnmente se realiza el proceso en otras plantas de tratamiento del país. Por la gran cantidad de cal necesaria para la estabilización, se decidió analizar los costos de ambas opciones propuestas, según lo establecido en el módulo “Presupuesto del rediseño y elaboración de manuales de operaciones y mantenimiento de la planta aeróbica”. Se determinó que el gasto en cal supera la inversión del digester convencional en menos de cinco años, por lo que para el rediseño proyectado a 15 años, resulta más conveniente la instalación del digester convencional.

En cuanto a la planta anaeróbica no se propuso un tratamiento de estabilización separado debido a que la estabilización de lodos se logra en el biodigester, el cual es un filtro anaerobio de flujo ascendente, el cual es parte del tratamiento secundario.

Para ambas plantas se propuso el mismo diseño para el proceso de deshidratación de lodos, un patio de secado de lodos. Una de las mayores ventajas de este método son las condiciones climáticas en Guatemala que favorecen el proceso de deshidratación además es común en plantas de tratamiento con población pequeña, siendo esto ideal para el complejo comercial y residencial en estudio. Actualmente, en el patio de secado de la planta aeróbica no se cuenta con ningún sistema de filtración de lixiviados, el cual es importante debido a que la mayor parte de agua se extrae por drenaje y solo una pequeña parte se evapora desde la superficie expuesta al aire. Esto se puede comprobar en la sección de anexos, en donde el mayor volumen de agua retirado es mediante la filtración y solo una pequeña parte se evapora. Por esto, el diseño que se propuso fue un patio de secado convencional de arena. Este tipo de patio consiste en la construcción de un patio de concreto y al fondo una capa de grava y un lecho de arena con un espesor de 200 mm en ambos casos. Se eligió el espesor mínimo que sugiere la teoría debido a que la planta es de capacidad pequeña. Además, las capas de grava y arena no deben ser muy gruesas para evitar que el filtrado sea lento.

²⁴Se garantiza la estabilización alcalina si se mantiene un pH arriba de 12 por lo menos durante dos horas, según estándares de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

Para este rediseño, se consideró tanto el volumen de lodos que proviene de la planta aeróbica como el de la anaeróbica y se propuso solo uno para ambas. Para dimensionar el patio se predeterminó una altura de 0.9 m para ocupar la menor área superficial posible y facilitar la evaporación natural, ya que las condiciones en Guatemala son favorables la mayor parte del año. Se consideró que el área total se dividiera 10 patios individuales y así hacer un proceso continuo durante 10 días. Este tiempo se decidió considerando condiciones climáticas ideales²⁵. Además, con esto se logra tener una bomba de menor capacidad al trasladar los lodos, ya que el caudal es menor. Al remover los lodos, es probable que se remueva un poco de arena, para evitar esto se debe colocar una electromalla en la superficie del lecho de arena, la cual puede ser removible, para cambiar el piedrín y arena solamente cuando sea necesario y evitar rellenar con arena cada vez que se remueven los lodos. Es esencial el sistema de tuberías de drenaje para hacer posible que el lixiviado regrese al tratamiento de aguas, por lo que el sistema de drenaje en el patio debe estar inclinado con pendiente mínima de 1% hacia una tubería de recolección principal. Además, el sistema de drenaje debe conectarse a los lixiviados de la bodega de desechos sólidos para enviar esta agua nuevamente al proceso de tratamiento de aguas de la planta anaeróbica, debido a que su ubicación es más cercana a la ubicación propuesta del patio. Es importante mencionar que se debe colocar un techo para proteger los lodos en la época lluviosa.

Para la planta aeróbica, se propone el traslado del patio de secado de lodos actual hacia un área más accesible, la cual puede ser detrás de la bodega de sólidos, en donde se facilita acceso al transporte o cerca del área donde se desea instalar una compostera en el complejo, sin embargo, se deben evaluar las condiciones del suelo y área. Así, puede utilizarse el mismo patio para los lodos de ambas plantas. El método de extracción propuesto para ambas plantas fue por medio de un transporte mecánico. Se calculó la potencia de una bomba centrífuga de diseño inatascable del tipo vórtice, ya que esta es comúnmente utilizada para transporte de lodos. Para la planta aeróbica se necesita una bomba de mayor potencia debido a que el patio se encontrará a una mayor altura por encima de la salida del digestor y la capacidad de dicha planta es el doble que la anaeróbica, por lo que el caudal de lodos es mayor. Dada la cantidad de lodos, se estableció que la bomba funcionara durante dos horas en el día. La bomba para la planta anaeróbica tiene una menor potencia porque aunque se encuentra subterránea, es una profundidad mucho menor y además, la capacidad de la planta es menor, lo que produce menor cantidad de lodos para transportar. Para esta bomba se estableció una hora de funcionamiento de la bomba. En ambos casos, se debe colocar un lazo de control automatizado que permita tener un control del flujo y tiempo para abrir la válvula y encender la bomba el tiempo correspondiente.

²⁵ Según Metcalf & Eddy (2003) la deshidratación se logra en un rango de 10 a 15 días.

En cuanto a la remoción final de lodos del patio de secado, esta debe realizarse cuando ya se ha alcanzado el contenido de humedad deseado, en este caso, los lodos pueden alcanzar hasta un 60% de humedad, y con este contenido de agua el lodo es fácilmente manipulable (Metcalf & Eddy, 2003). El tiempo de secado de los lodos se determina experimentalmente dadas las condiciones climáticas y ubicación de la planta. Para esto, se realizaron pruebas experimentales, a nivel laboratorio, de la humedad del lodo generado actualmente y se simuló un patio de secado durante 5 días para conocer la humedad perdida durante ese tiempo. En este caso, solamente se tomó en cuenta la humedad evaporada, la cual es la menor cantidad de agua perdida, pues la mayor cantidad de agua es filtrada por medio de la arena y grava, como se mencionó anteriormente. Además, las muestras de humedad no se tomaron para las mejores condiciones climáticas, por lo que deberían realizarse pruebas en distintas épocas del año y distintas condiciones climáticas. Con los resultados obtenidos, se estimó que el porcentaje de humedad máximo en el patio debe ser de 70%, sin embargo en las mejores condiciones se espera que sea posible llegar hasta un 60%. También se consideró adecuado el tiempo de retención de 10 días. Una vez deshidratados los lodos, ya es posible evacuarlos de manera manual o mediante una bomba desde el patio de secado y acomodarlos según el uso que se decida darles, ya sea aplicación a los suelos del complejo, comercialización o disposición en un relleno sanitario. Con la ubicación del patio más accesible, es más fácil trasladarlos de un lado a otro.

Para verificar que se cumplen los requerimientos del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, se realizó un análisis de metales pesados en un laboratorio externo (Soluciones Analíticas) y se comparó con lo que establece el acuerdo. Las concentraciones de metales pesados resultaron bastante bajas debido a que las aguas residuales provienen principalmente de domicilios o comercios de alimentos, por lo que no se esperaba un alto contenido de metales pesados en los lodos. Fue el único análisis que se realizó para verificar que se cumpla con el acuerdo, ya que es el único que exige en cuanto a generación de lodos. Según estos resultados, los lodos generados en el proceso pueden utilizarse para aplicación a los suelos.

Para evaluar la posibilidad de darle un uso a los lodos, como abono orgánico, una vez completado el tratamiento se realizó una comparación con el contenido ideal de nutrientes en varios tipos de plantas y se observó que los lodos provenientes de la planta del complejo comercial y residencial, en su mayoría se encuentran dentro del rango ideal de nutrientes. El análisis de nutrientes se realizó en un laboratorio externo (Analab), ya que no se contaba con el equipo y el objetivo solamente era evaluar la posibilidad del uso de lodos. Se observó que únicamente el nitrógeno tenía mayor porcentaje al esperado, lo cual puede resultar peligroso o tóxico para varias plantas. Esto se debe principalmente a los problemas actuales que está teniendo la planta con el

proceso de remoción de nitrógeno, por lo que se debería esperar un menor porcentaje de este nutriente al mejorar el proceso general. También se observó que el potasio no fue detectado en el análisis, lo cual también puede ser un problema pues causaría una deficiencia de este nutriente en las plantas. En cuanto al resto de macronutrientes, estos sí se encuentran en el rango ideal, al igual que la mayoría de micronutrientes, exceptuando el manganeso y zinc. Con el contenido de nutrientes se estableció que al reducir el nitrógeno en procesos previos del tratamiento, los lodos podrán utilizarse como abono orgánico en áreas verdes del complejo y también es posible su comercialización. Uno de los problemas actuales es que los lodos tienen malos olores, por lo que se debe realizar el tratamiento de estabilización descrito anteriormente para reducir dichos olores y utilizar los lodos sin ningún problema, obteniendo un beneficio económico de los mismos. También se puede proponer un uso de estos lodos en una compostera orgánica.

Los resultados obtenidos pueden acarrear fuentes de error debido a que los datos originales que se utilizaron fueron obtenidos de una sola muestra del informe de análisis realizado por un laboratorio externo o se utilizaron valores teóricos de tablas, los cuales son valores aproximados que se adecuan según algunas características, como el tamaño de la planta y tipo de lodo. En cuanto a los valores del análisis de caudal del laboratorio de Soluciones Analíticas, no pueden considerarse estadísticamente representativos, ya que solamente se tomó una muestra de 24 horas en un día aleatorio de la semana.

G. Módulo 7: Análisis de costos, operativo y de mantenimiento de un rediseño de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales de un complejo comercial y residencial

El manual de operación y mantenimiento se diseñó en base a la propuesta del rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales aerobia de un complejo comercial y residencial; con una capacidad de 460 m³ diarios, contemplando un crecimiento poblacional del 5% durante los próximos 15 años. Este manual debe tomarse como una guía general, se basó en el equipo contemplado y cotizado; cualquier alteración o cambio en el rediseño alterará tanto la operación como el mantenimiento.

Las construcciones de obra gris tienen una vida útil prolongada y una de las sugerencias para poder garantizarlo es utilizar resinas epóxicas para su impermeabilización. El bajo costo del mantenimiento dependerá del uso y limpieza que se les dé a los equipos.

El diagrama de operaciones de proceso de la PTAR aerobia contempla únicamente los principales procesos, el transporte del agua entre cada operación unitaria está incluida en las mismas, el tiempo se basó en estimaciones del rediseño y puede estar alterado por cambios de presión, problemas en la tubería o daños en las operaciones unitarias.

El perfil de puesto del operario es una guía que puede tomarse y adaptarse según las necesidades que se tengan en la PTAR. Se supuso que este no requiere conocimiento previo en cuanto a operación y mantenimiento de una PTAR para su contratación, puesto que esto la podría complicar. Sin embargo, el operario sí requiere de conocimientos y herramientas básicas por lo que se sugiere que el complejo comercial lo capacite en temas y funciones generales.

Como se menciona en el marco teórico, el análisis de costos incluye además del costo de inversión por el rediseño, los costos de operación y mantenimiento. El rediseño de la planta de tratamiento, determinado como se menciona anteriormente por el caudal de diseño de 460m³ diarios, está delimitado por varios factores que se mencionarán a continuación.

Para acceder a la planta de tratamiento se debe descender 25 m; esta tiene capacidad de crecimiento únicamente de uno de sus lados, puesto que tiene limitantes en dos lados por estar a 1 m del muro y al otro lado por estar al vacío. Se debe hacer un estudio de suelos e hidrogeológico antes de comenzar la construcción; si mediante este se determina que el área no es factible, debe evaluarse el costo del terreno a donde se trasladaría la planta.

El área ocupada por la PTAR es de aproximadamente 15.5 m x 20.5m, según el plano proporcionado por el complejo comercial a escala 1:50, el plano no se puede tomar como certero puesto que hay equipos que poseen líneas dobles y además, se presentan algunos equipos asimétricos cuando el equipo no lo es. El área que se propuso es de 29.0 m x 20.5 m, sin tomar en cuenta el patio de lodos puesto que este se trasladaría al área superior. Se consideró esta opción por dos razones principales: primero porque el costo de la extracción de lodos deshidratado es mayor que el de trasladar los lodos húmedos del digester al patio ubicado en la parte alta mediante una bomba, y segundo porque se compartirá el patio de lodos con la planta de tratamiento aerobia que posee el complejo.

Por lo tanto, la planta requeriría una ampliación de $276.75m^2$ y un cambio en la distribución del equipo. El tanque de aireación representó el costo más alto en cuanto a la construcción de la obra gris, sin embargo, la planta de tratamiento posee un tanque de aireación de $300m^3$, por lo que se decidió diseñar la planta alrededor de una expansión de este tanque. Ya que el propuesto es de $605m^3$, la expansión requerida por lo tanto es de $295m^3$, que es casi el 50% de la construcción necesaria. Los costos de la obra gris disminuyen 17%. Considerando que el patio de lodos se trasladará a la superficie como se mencionó antes y que la ampliación del tanque de aireación se da en sentido de “y” y “x” negativo.

Conociendo la ampliación de área necesaria para el rediseño, se debe realizar el estudio de suelos, puesto que no se posee información acerca del estudio inicial cuando se construyó la primera planta; para luego proceder a obtener una licencia de construcción en dado caso el suelo lo permita, de lo contrario se tendría que reubicar la PTAR aerobia e incluir dentro del presupuesto el costo del área a adquirir. El costo total de los estudios que deben realizarse, la obtención de la licencia y la construcción del muro de contención es de Q 546,467.97. El costo de obtención de la licencia es el 4.5% del costo total de construcción, como se indica en el acuerdo municipal 015-2004: Fijación de costos por metro cuadrado de construcción y tasas para licencias.

Se determinó el costo de construcción de las operaciones unitarias en obra gris (canaleta parshall, canal de cribado, trampa de grasa, homogenizador, contactor anóxico, aireador, digester, clorinador y patio de lodos) en base a proporciones de los materiales que se utilizan en la construcción, luego se realizó un análisis de costos unitarios para obtener el costo total de cada operación, con la ayuda del ingeniero civil Alfredo Jiménez; que además, por su experiencia, determinó que el costo de la mano de obra se puede aproximar al 50% del costo total de la obra a construir y el costo de fabricación indirecto es el 35% del costo total (costo de materia prima más el costo de mano de obra); es así como en la Cuadro 10 se calculó el costo total de la construcción de las operaciones unitarias en obra gris, dando un total de Q821,922.39.

Para elegir el proveedor de cada equipo, se realizaron cotizaciones y se eligió al proveedor que ofreciera el equipo que cumpliera con los requisitos mínimos y además fuera el más económico puesto se diseñó sobre costo y funcionalidad. Cabe recalcar que, en Guatemala, aunque ya hay varios proveedores que ofrecen equipo para PTAR, la competencia no es alta y la mayoría únicamente los importa. El equipo especializado es necesario importarlo, como es el caso del clarificador de paletas inclinadas, por lo que debe incluirse el costo de envío, importación e impuestos. Los costos de instalación del equipo que debe importarse, no se tomó en consideración. Se puede consultar las cotizaciones en los anexos.

Dentro del equipo cotizado, el 80% de los costos se debe a los difusores, el soplador, el clarificador, la pérgola y la antorcha; siendo estos elementos el área de mayor oportunidad. El clarificador, que representa el 17% del costo del equipo, es un equipo especializado y el diseño está definido sobre el modelo que se eligió por lo que es el único rubro que no puede cambiarse; para el resto, se puede llegar a negociar con el proveedor o buscar otra opción con el objetivo de reducir el costo de inversión total.

Dentro del rediseño se incluyó el costo de escaleras con peldaños planos, los cuales se recomiendan para garantizar la seguridad del operario. No se incluyó, y debe tomarse en cuenta, los costos del equipo de seguridad industrial que requiere el operario, además de las herramientas e instrumentos que este requiere y se mencionarán en el análisis de seguridad ocupacional.

En cuanto a los costos de operación y mantenimiento, el costo de operación contempla la mano de obra, que en este caso es el operario y se tomó en cuenta el salario mínimo actual en Guatemala, el costo de electricidad, la cal y el ácido sódico, que se consumen mes a mes. El costo proporcionado por lo tanto es el costo operacional mínimo que se tendrá mes a mes. Por otro lado, la PTAR está diseñada de tal forma que el mantenimiento sea mínimo, la obra gris tiene una resistencia alta y vida útil prolongada, por lo que lo único que debe tomarse en cuenta es la impermeabilización anual de los equipos, tomando en cuenta la superficie de cada equipo, y el costo de los análisis de laboratorio para determinar el correcto funcionamiento de la planta; dando como resultado un costo total de Q9545.00.

La planta de tratamiento aerobia se encuentra a aproximadamente 25 m hacia abajo de la superficie, al lado del complejo comercial; para acceder a ella es necesario descender utilizando dos escaleras; la primera de 14 metros de longitud y la segunda escalera de 11.2 metros, ambas con un ancho de 0.60 m, lo cual cumple con la norma de Seguridad Industrial y Ocupacional (OSHA) que dicta como mínimo 0.56m de ancho. Estas, están cubiertas de un techo, o simulación

de jaula, en forma de semicírculo; una jaula tiene como funcionalidad principal reducir el riesgo latente de caída presente y el daño en caso de caídas puesto que evita que el usuario caiga sobre su espalda y cabeza, el techo no tiene la forma de jaula convencional, sin embargo, cumple con su función principal. Las escaleras cuentan con barandillas a los lados expuestos para evitar las caídas en esta parte, cumpliendo con las normas de la OSHA.

Aunque el diámetro de los peldaños, si cumplen con la norma de la OSHA (mínimo de 1.8 cm), debe tomarse en cuenta que la implementación de peldaños planos reduce el riesgo de caída. El usuario no cuenta con ningún equipo de protección para subir y bajar las escaleras, no utiliza casco ni evita el uso de zapatos planos, a pesar de que la planta posee un rotulo indicando el equipo mínimo con el que se debe contar para bajar. El operario de la planta debe bajar diariamente agua potable y su almuerzo puesto que la planta no cuenta con agua y no puede abandonar la planta en horas laborales; esto lo transporta en una mochila, aumentando el peso en su espalda y el riesgo de caída. Además del cambio de peldaños, podría colocarse un casillero en la entrada de la planta el cual contara con el equipo del operario para este poder bajar y subir diariamente con él.

Otra consideración importante es la de iluminación, el operario tiene un horario de 8 a 17 horas; a esta hora dependiendo de la estación, ya comienza a ponerse el sol, lo cual aumenta el riesgo de caída. Para contrarrestar se podría utilizar un casco con linterna o colocar iluminación a lo largo de las escaleras.

La planta está construida, al lado del río receptor. En invierno, este crece formando un riesgo para el operario. En este caso, se debe contar con un plan de emergencias para que el operario pueda subir. Este plan debería, además, contemplar cualquier tipo de acontecimiento como temblor que podría provocar la caída de la escalera o de una lluvia torrencial que exponga al operario. También hay peligro de deslave puesto que no se cuenta con un muro de contención.

La planta está perimetrada y cuenta con malla y alambre de púas, este último se encuentra en la parte inferior de la malla, incluyendo la puerta de acceso. El operario al cerrar y abrir la puerta, tiene riesgo de un corte o incluso de tropezar sobre este alambre, además reduce más de 0.3 m el ancho de la entrada.

Ciertas operaciones unitarias están expuestas, como es el caso del aireador, clarificadores y el patio de lodos. Estas operaciones presentan un riesgo de caída para el operario, el cual circula la mayoría de veces, sobre estas operaciones para reducir el trayecto a caminar. Si el operario cayera, no habría nadie que pudiera socorrerlo rápidamente. Debe implementarse, por lo tanto,

barandas en las operaciones unitarias que no requieren de la intervención del operario. Para las operaciones que requieren limpieza por parte del operario, se podría utilizar un arnés sujeto a la malla externa de la planta y de esta forma asegurar al operario, puesto que las barandas en estas únicamente dificultarían su trabajo.

La planta posee equipo descompuestos, por falta de mantenimiento, los cuales no se desechan y solo quedan ocupando espacio en cualquier lugar de la planta, provocando riesgo de caída. Debe retirarse todo este equipo, de ya no tener reparación debe tirarse o reciclarse y de poderse, debe repararse.

Las condiciones laborales del operario de la planta no son las más adecuadas, dejando por un lado los riesgos del lugar en el que se encuentra, cuenta con una oficina pequeña que tiene equipo descompuesto dentro y posee conexiones eléctricas expuestas, pudiendo provocar algún accidente. El operario además no cuenta con una silla por lo que utiliza una cubeta y un block para poder sentarse, no cuenta con escritorio ni con material de trabajo. Como ya se mencionó con anterioridad, no cuenta con agua potable y consume sus alimentos dentro de la planta. La OSHA dicta que los trabajadores deben poder consumir sus alimentos en lugares lejos de posibles fuentes de contaminación, sin embargo, en este caso no se cumple.

H. Módulo 8: Presupuesto de rediseño y elaboración de manuales de operaciones y mantenimiento

Para el manual de operaciones, se tomó en cuenta las etapas del procedimiento y las fases que conforma cada una. Se realizó con el fin de dar las especificaciones más importantes del equipo de la planta, así como los parámetros de funcionamiento que debe cumplir. Ya que todos los equipos fueron diseñados para cumplir los requerimientos del Acuerdo Gubernativo 236-2006, sí se cumple el procedimiento operacional de la planta, se puede llegar a los resultados deseados e incluso llegar a reutilizar las aguas tratadas.

Para el manual de mantenimiento, se tomó en cuenta las consideraciones del rediseño, y se consultó el mantenimiento general que debe tener cada uno de los equipos. Este manual está enfocado para que quien lo lea, pueda tener claro cómo se debe dar mantenimiento a los equipos, cómo evitar riesgos, así como el reglamento de seguridad que se debe manejar dentro de la planta.

A pesar de ser manuales técnicos, se utilizó un lenguaje explicativo para lograr transmitir la información. Si se cumplen las reglas e instrucciones de operación y funcionamiento de los manuales se puede mantener el cumplimiento de los parámetros legales de descarga a cuerpos de agua. Además, promueven el bienestar del personal interno de la planta y el buen funcionamiento y vida útil de los materiales y equipos de la planta.

El presupuesto estimado de rediseño fue de Q 562,431.70. Este es un costo aproximado del rediseño, pues no incluye acabados. Además, debe agregarse el costo de la licencia de construcción; no se tomó en cuenta, pues este se calcula en base a los metros cúbicos de excavación, dato que se desconoce. Además, se hizo un aproximado de la tubería y de los accesorios en base a las distancias del rediseño que pueden llegarse a necesitar para las instalaciones, sin embargo, este dato puede aumentar.

Para el cálculo de los costos de los materiales y equipo de rediseño, se tomó en cuenta datos de cotizaciones realizadas, precios promedio del mercado, así como datos proporcionados por especialistas y expertos entre los que destacan ingenieros civiles, ingenieros químicos, ingenieros sanitarios, así como personal de empresas dedicadas a la construcción de plantas de tratamiento. Entre los costos cotizados por medio de entrevista se encuentran los costos de los trámites legales. (Ver Anexos).

Además, se cotizó equipo como los agitadores en otros países, pues en Guatemala no hay distribuidores de estos equipos. Para tomar en consideración los costos de transporte, además del precio de la página del distribuidor, se calculó en una empresa dedicada a importar materiales y equipo, los costos de traer el equipo. Se utilizó el tipo de cambio del día, 7.50.

Se dividieron los costos en costos directos, costos indirectos y trámites legales. Del total, los costos directos representan un 75%, los costos indirectos 17% y los trámites legales 8%. Es por eso que debe darse un buen análisis respecto a la inversión que se hace en relación a los materiales y equipo que se pondrán en la planta. Los costos directos se calcularon en base a los materiales y mano de obra de la obra gris y de los costos del equipo; se asumió que en los precios de los equipos ya está incluida la mano de obra directa de instalación, ya que la mayoría de los proveedores cotizados instalan los equipos. Los costos indirectos tomaron en cuenta: contrato, impuestos, imprevistos, utilidad y transportes.

Dentro del rediseño se tomó en cuenta los equipos y accesorios con los que actualmente cuenta la planta y que se podrían reutilizar. Entre el equipo que se adecua al rediseño, hay un tanque de 5000 L, que se reutilizará como tanque de desinfección. Además, el tanque de filtro anaeróbico podrá reutilizar los filtros de colmena que actualmente se encuentran en los tanques sedimentadores de la planta. Motivo por el que no se incluyó dentro del presupuesto. El costo de un tanque de esa capacidad es de aproximadamente Q7,000 y el de la cantidad requerida de filtros de colmena de Q2,500 (Durman, 2017). Además, se reutilizará el espacio disponible donde se encuentra la planta anaeróbica actual.

A largo plazo, se deben tomar en cuenta los costos relacionados a la operación y mantenimiento de la planta, como los estudios de análisis (Q4,135), la extracción de lodos (Q3,000), el personal, reparaciones, insumos de dosificadores, rotulación de los equipos, material y equipo de mantenimiento, equipo de seguridad, entre otros. Sin embargo, no se tomaron en cuenta estos costos en el presupuesto ya que superan el alcance del rediseño.

I. Módulo 9: Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido al personal administrativo del complejo comercial y residencial

En la investigación realizada se evidencian hallazgos importantes que enlazan la teoría con la práctica, esto queda reflejado en las gráficas e interpretación de resultados. Ésta información fue proporcionada por el personal administrativo, con el objetivo de establecer las necesidades de capacitación como parte de la propuesta de programa de educación ambiental.

El 100% de los colaboradores del departamento de recursos hídricos conocen la ubicación y cómo opera la planta de tratamiento de aguas residuales. El 80% de los colaboradores de los diferentes departamentos del área administrativa no conoce la ubicación de la planta, el 50% la ha visitado y el 56% conoce cómo opera.

Los resultados obtenidos evidencian que solamente el 21% del 100% de encuestados conoce la legislación nacional respecto al agua potable, lo cual suma temas de aprendizaje y capacitación para el desarrollo e implementación de la propuesta.

Según los resultados reflejados, el 70% de los colaboradores desconoce la situación actual respecto al recurso hídrico en Guatemala, lo cual es indispensable tomar en cuenta para el diseño de la propuesta y como tema de aprendizaje en el ciclo de capacitación.

El 65% de los colaboradores considera que la aplicación de políticas de reducción del consumo del agua, políticas de gestión del agua residual y capacitaciones al personal, son alternativas para implementar de manera inmediata y requieren de una inversión menor. Por lo cual se considera el proceso de capacitación como parte de estas alternativas para el manejo adecuado del recurso hídrico.

Del total de los participantes que respondieron la encuesta el 58% coincide en que sembrar árboles podría ser una opción para mejorar las precipitaciones o efectos de la lluvia en Guatemala, mientras que el 22% considera útil reducir el consumo del agua de manera consciente y finalmente el 19% sugiere reducir la impermeabilización del suelo como medida de mitigación.

J. Módulo 10: Propuesta de programa de educación ambiental para la efectiva gestión del recurso hídrico dirigido a los trabajadores de restaurantes y quioscos de un complejo comercial y residencial.

Al realizar la entrevista con el jefe de operaciones se puede determinar falta de conocimiento sobre los temas de educación y cultura ambiental por parte de los colaboradores, además se hace énfasis en la necesidad de medios para informar y enseñanza a la población sobre cómo utilizar las trampas de grasa. Por lo cual se podría Considerar proponer estrategias visuales como, una revista, un bifold, manual, entre otros recurso que contribuyan a un proceso de enseñanza- aprendizaje.

El objetivo del instrumento tres, es determinar el aprendizaje que poseen los colaboradores sobre educación ambiental. El 67% de la población desconoce el término de educación ambiental. El 85% de los restaurantes y quioscos de alimentos no identifican el término de cultura ambiental y por ende no conoce sus beneficios. Considerando que la mayoría de la población desconoce el tema y sus implicaciones, se podría tomar esto como un punto de enseñanza.

Los resultados obtenidos por medio de las encuestas, el 62% de los restaurantes y quioscos de alimentos no poseen una trampa de grasa.

De acuerdo a los resultados obtenidos por los restaurantes y quioscos de alimentos, podemos ver que, de los que poseen trampa de grasa un 62% no realiza el mantenimiento adecuado.

El 86% considera que sería útil un proceso de capacitación sobre el cuidado del medio ambiente.

IX. CONCLUSIONES

- Se debe de cambiar la localización actual de las plantas de tratamiento aeróbica y anaeróbica de aguas residuales del complejo comercial y residencial porque ambas están ubicadas en áreas no aptas para el correcto mantenimiento y operación de las mismas.
- Se observó la presencia de materia flotante en las muestras recolectadas mientras que el parámetro de la etapa 4 del Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 establece que debe estar ausente.
- Se obtuvo un contenido de nitrógeno total de 40, 46 y 49 mg/L para las tres muestras las cuales fueron mayores a los 20 mg/L establecidos en la etapa 4 del Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo.
- Se obtuvo un contenido de fósforo total de 12.1, 16.8 y 21.9 mg/L para las tres muestras las cuales fueron mayores a los 10 mg/L establecidos en la etapa 4 del Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo.
- El pH de las muestras fue 7, 8 y 7 los cuales se encuentran dentro del parámetro establecido por el Acuerdo Gubernativo que es de 6 a 9.
- Se determinó que las muestras tuvieron un color de 531, 930 y 960 unidades Pt-Co las cuales fueron mayores al parámetro de 500 unidades Pt-Co.
- Se obtuvieron valores de 136.22, 292.01 y 293 mg/L para la DBO mientras que para la DQO estos fueron de 316, 319 y 336 mg/L.
- La relación DBO/DQO para las muestras fue de 0.93, 0.42 y 0.87 lo cuales son valores mayores a 0.4 indicando que las aguas son biodegradables pero si el tratamiento sigue en su estado actual, eventualmente esta relación puede disminuir haciendo que las aguas pierdan su biodegradabilidad.
- Se obtuvo un contenido de coliformes fecales mayor a $1.6 * 10^5$ NMP/ 100 mL en las muestras con el método de los tubos múltiples, el cual es mayor al parámetro del Acuerdo Gubernativo 236-2006 que establece un contenido menor a $1 * 10^4$ NMP/100 mL.

- Se logró aislar bacteriófagos que infectan *E. coli* de las muestras y se logró implementar un método de análisis basado en el conteo de bacterias infectadas y lisadas por ellos. Se obtuvieron valores medios de 1000, 316 y 2512 UFP/mL.
- No fue posible comparar los resultados obtenidos con las dos pruebas de análisis microbiológico debido a que el método con bacteriófagos es un método cuantitativo mientras que el de tubos múltiples se basa en una aproximación estadística por lo que las magnitudes no pueden compararse.
- El método de los tubos múltiples toma mucho tiempo, depende del mantenimiento de la cadena de frío de la muestra para dar resultados confiables y los datos obtenidos pueden resultar ambiguos mientras que el método con bacteriófagos es más exacto, toma menos tiempo y es más versátil en el manejo de la muestra. En la planta de tratamiento del complejo, donde el monitoreo constante de la calidad del agua es crítica, utilizar el método de tubos múltiples es riesgoso porque para el momento en que se obtengan los resultados, la planta lleva ya una semana de estar desechando aguas de mala calidad al cuerpo receptor.
- La planta de tratamiento no está agregando cloro a las aguas resultantes del tratamiento por lo que no está dando un tratamiento adecuado para reducir la carga microbiana a las aguas que libera al cuerpo receptor.
- Se producirán, en promedio, 452.64 m³/d de aguas residuales para el año 2032 (considerando un crecimiento anual del 5%), aumentando así la generación en un 197% respecto al valor actual de 152.31 m³/d.
- Se definió un caudal de diseño de 460 m³/d, lo que supera en un 27.78% su capacidad máxima de tratamiento actual, por lo que fue necesario el rediseño de los equipos de las etapas de pre-tratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.
- De acuerdo a la prueba de DBO₅ realizada en las aguas residuales de ingreso y egreso del tanque aireador, se comprobó que el proceso de aireación extendida que se lleva a cabo actualmente no es adecuado para el tratamiento biológico, ya que disminuye la concentración de DBO un 47%, no logrando el porcentaje de reducción requerido de 75-90%.
- Se propone sustituir la aireación extendida por un proceso de crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno de tipo Ludzack-Ettinger Modificado (MLE), el cual asegura una remoción adecuada de los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006:

Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas residuales y de la Disposición de Lodos. Reduce la concentración de la DBO y DQO un 89%, mientras que la concentración de nitrógeno total se reduce un 99%.

- Se debe instalar un medidor de flujo en el canal de entrada de aguas residuales a la planta aeróbica para poder tener mediciones continuas del caudal y que sirva como caja de muestras para la caracterización del efluente. Para ello, se propone un Canal Parshall con un ancho de garganta de 7.6 cm.
- Se rediseñó la etapa de pre-tratamiento, que consiste en un canal de doble rejilla, del que se puede conservar el equipo actual (0.38x2.50x1.10 m); una trampa de grasas de 1.22 m³ (0.60x1.20x1.70 m); y un tanque de homogeneización de caudal de 20.25 m³ (3.00x4.50x1.50 m).
- No es necesario un tratamiento primario para lograr los resultados deseados, ya que la cantidad de sólidos suspendidos totales (200 mg/L) puede reducirse en las etapas de pre-tratamiento, tratamiento biológico y posterior clarificación.
- Para el tratamiento biológico (tratamiento secundario) se diseñó un tanque de aireación de 552 m³ de volumen útil (10x11x5.5 m) con 8 horas de retención hidráulica y 7 días de retención de sólidos que es capaz de tratar 11.71 kg/h de DBO y 1.38 kg/h de N_T.
- Se requieren dos sopladores de lóbulos de desplazamiento positivo, cada uno con una potencia de 14.91 kW (20 hp); y un sistema de 234 difusores de membrana de burbuja fina, que proveen un caudal de aire de 8 m³/h cada uno, para suplir el requerimiento total de oxígeno que necesita el tratamiento biológico, de acuerdo a la cantidad de materia orgánica presente en el afluente.
- Se propuso la instalación del sistema modificado de Ludzak-Ettinger con el arreglo pre-anóxico para cumplir con el límite máximo permisible de nitrógeno en el efluente, 20 mg/L N, de acuerdo con la normativa del país. El volumen requerido del tanque anóxico, en donde se da la desnitrificación, es de 40.25 m³ con un tiempo de retención de 2.10 h. Se escogió el arreglo antes mencionado ya que es más eficiente que el post-anóxico en términos de la reacción y gastos por el requerimiento de sustrato.
- Se determinó que no es necesaria la instalación de un sistema con condiciones anaerobias para la reducción de fósforo ya que la concentración en el afluente, 8.4 mg/L P, se encuentra por debajo de lo establecido en el reglamento. Sin embargo, por la síntesis de nuevas células

por parte de los microorganismos heterótrofos existe una remoción de fósforo de 1.15 mg/L P, alcanzando una concentración en el efluente de 7.25 mg/L P.

- Se eligió el clarificador de alta tasa con placas inclinadas para la remoción de sólidos suspendidos debido a que se requiere menos terreno de instalación con la misma capacidad que los sedimentadores convencionales. Se determinó que se requiere un área superficial de sedimentación de 12.27 m² utilizando un caudal de entrada de 736 m³/d, obtenido a partir de un balance de masa, y una carga superficial de 60 m³/m²d. Además, se obtuvo que la $v_p > v_{sc}$ (velocidad de la partícula y velocidad crítica de sedimentación, respectivamente) por lo que se puede asegurar que se removerán las partículas deseadas.
- Para alcanzar una concentración $< 1 \times 10^4$ NMP/100 mL de coliformes fecales en el efluente se requiere de una dosificación de hipoclorito de sodio de 1.81 L/h con una concentración de 5% m/v. También, se requiere de una cámara de mezclado de 0.32 m³ con un tiempo de mezclado de 15 s y una cámara de contacto de 12.95 m³ con un tiempo de retención hidráulico de 43 min.
- Se determinó que los equipos auxiliares que se requieren son: una turbina de cuchillas para homogenizar las corrientes de entrada al tanque anóxico con seis palas inclinadas a 45° de 0.29 m de largo, 0.23 m de ancho y una potencia de motor de 0.56 kW (0.75 hp); una turbina de discos para un mezclado rápido entre el desinfectante y las aguas residuales en la cámara de mezclado con seis palas de 0.07 m de largo, 0.05 m de ancho y una potencia de motor de 0.38 kW (0.5 hp), y por último, una bomba centrífuga tipo vórtice para el desplazamiento de los lodos de recirculación y purga con una potencia de 0.38 kW (0.5 hp) y carga total de 5.62 m.
- Se determinó un caudal de diseño de 230 m³ al día, proyectado para el año 2032 con una tasa de crecimiento anual del 5%, con un porcentaje de crecimiento de 209.10% en relación al caudal de diseño de la planta actual de tratamiento de aguas residuales de tipo anaerobia.
- Es necesaria la instalación de dos sistemas de rejillas gruesas de limpieza manual, el primero constituido por 19 barrotes con un área de 0.85 m² y el segundo compuesto por 37 barrotes con un área de 2.40 m², ambos con una separación de 2.5 centímetros entre barrotes.
- Se propuso la instalación de una trampa de grasas de 0.50 m de profundidad y 1.00 m de largo y ancho, con la capacidad de almacenar un volumen acumulado de 0.50 m³ de agua, trabajando con un tiempo de retención de 3.13 minutos.

- Se diseñó un sedimentador primario circular con un diámetro de 2.70 m, 23.00 m³ de volumen y 2.40 h tiempo de residencia respectivamente con eficiencias de 36.36% y 58.39% para remover DQO y SST respectivamente.
- Se escogió el filtro anaerobio como sistema de tratamiento biológico, obteniendo dos tanques con diámetros de 2.85 m², 3.00 m de profundidad y volúmenes de 19.17 m³ que trabajan en serie para ofrecer tiempos de residencia de 4 horas y una eficiencia global de 56.50%.
- Se rediseñó una planta anaerobia de tratamiento de aguas residuales que ofrece la reducción de la concentración de contaminantes hasta valores de 169.14 mg/L para la demanda química de oxígeno y 36.20 para los sólidos suspendidos totales.
- Se concluyó que el metano producido durante el proceso biológico no es suficiente para la instalación de un sistema de aprovechamiento energético, luego de obtener una generación de 34.54 m³/ día, que es equivalente a 13.10 kW diarios.
- Se determinó que las bacterias BioRemove 5100 marca Novozymes® sí reducen el Nitrógeno Total para el cumplimiento del límite máximo permisible, de dicho parámetro, establecido en el Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”, por lo que se propone su uso como tratamiento biológico de nitrificación y desnitrificación simultáneo.
- Como tratamiento terciario, se proponen dos biorreactores de tanques agitados de polipropileno de 22 m³ cada uno, en los cuales se emplean las bacterias BioRemove 5100 marca Novozymes® como tratamiento digestor de nutrientes.
- El parámetro del diseño propuesto de la etapa terciaria, nitrificación y desnitrificación, fue de 0.0154286 ± 0.8314 kg/m³ (15.42 mg/L), por lo que sí cumple con el límite máximo permisible de Nitrógeno Total de 0.020 kg/m³ (20 mg/L) establecido en el Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”.
- Como tratamiento de desinfección, se propone un tanque agitado cilíndrico vertical de polipropileno de 5 m³ en el cual se agrega hipoclorito de calcio al 65%.
- El parámetro del diseño propuesto de la etapa de desinfección por cloración fue de 92×10^5 NMP/m³ (9,200 NMP/100 mL), por lo que sí cumple con el límite máximo permisible

de Coliformes fecales de $< 1 \times 10^7$ NMP/m³ ($< 1 \times 10^4$ NPM/100 mL) establecido en el Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”.

- El diseño propuesto de todas las etapas de la planta de tratamiento de aguas residuales no cumple con los límites máximos permisibles del Artículo 35 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” como aguas para reuso de Tipo V: Reuso Recreativo porque no se cumple con el límite máximo permisible de coliformes fecales.
- Se determinó que para la estabilización de la planta aeróbica un digestor de una fase y alta carga, pues las dimensiones de este son muy pequeñas según las recomendadas teóricamente. Por esto, se diseñó un digestor convencional con un volumen útil de 741.00 m³ y 30 días de retención, pero siendo el volumen del digestor convencional muy grande para la ubicación actual, se propuso la opción de estabilización alcalina en el patio de secado de lodos, con una dosis de 186 kg de cal diaria con un mezclado continuo y un control de pH durante dos horas.
- Para el proceso de deshidratación de ambas plantas, se propuso un solo patio de secado convencional de arena y para que el proceso sea continuo, se propuso dividir el patio en 10 patios individuales, cada uno con un área de 33 m² para descargar el caudal de lodos diario, proveniente de ambas plantas, en cada uno.
- Se propuso evacuar los lodos estabilizados por medio de una bomba de centrífuga de tipo vórtice, con una potencia necesaria de 2.34 kW (3 hp) y una tubería de conducción de 0.07 m (3 in) para la planta aeróbica y una potencia de bomba de 0.62 kW (1 hp), con una tubería de conducción de 0.04 m (1.5 in) para la planta anaeróbica.
- Se verificó el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, ya que las concentraciones se encuentran dentro de los límites permisibles.
- Los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales actuales tienen un alto contenido de nitrógeno, el cual puede ser tóxico para varias plantas, por lo que con la mejora del proceso completo este porcentaje reducirá para poder utilizarlos como abono orgánico, ya que el resto de nutrientes se encuentra dentro del rango ideal para varias especies vegetales.

- Los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales actuales tienen un alto contenido de nitrógeno, el cual puede ser tóxico para varias plantas, por lo que con la mejora del proceso completo este porcentaje reducirá para poder utilizarlos como abono orgánico, ya que el resto de nutrientes se encuentra dentro del rango óptimo para varias especies vegetales.
- La principal fuente de error fue la elección de algunos parámetros teóricos necesarios para el dimensionamiento de los equipos, debido a que no se cuenta con experiencia suficiente en el tema para saber cuáles son los valores óptimos de trabajo o bien los más comunes.
- El presupuesto estimado del rediseño de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales del complejo comercial y residencial es de Q 562,431.70, para una capacidad de 230 m³/día proyectada al año 2032.
- El manual de operaciones se desarrolló incluyendo la descripción de la planta, la legislación que la rige así como la descripción de las operaciones de la planta y cada una de sus fases.
- El manual de mantenimiento se redactó incluyendo el personal requerido, capacitación, arranque del sistema, seguridad e higiene en la planta, muestreos en la planta, mantenimiento del equipo, evaluación operacional y la bitácora de la planta
- El costo de inversión del rediseño, propuesto para asegurar un funcionamiento adecuado en función al acuerdo gubernativo 236-2006, de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales es de Q2,132,322.91;
- Se propone la utilización de un manual de operaciones y mantenimiento que le permitirá al operario tener un mayor control en los procesos que se llevan a cabo.
- Se propone la utilización de equipo de seguridad para el operario encargado., para la minimización de riesgos dentro de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales.
- El 75% del presupuesto es de costos directos que incluyen materiales, equipo y mano de obra.
- Los manuales de operación y mantenimiento son la guía para mantener la eficiencia del proceso de tratamiento y cumplir con los parámetros requeridos para la descarga de aguas en cuerpos de agua.

- Los manuales promueven el bienestar del personal, así como la vida útil y buen funcionamiento de los equipos de la planta.
- El 100% de los colaboradores del departamento de recursos hídricos identifican la planta de tratamiento de aguas residuales, su ubicación y sistema de operación, sin embargo desconocen el marco legal que respalda la gestión del recurso hídrico y las políticas que la empresa maneja respecto al tema, dentro de las cuales se contempla el servicio de alcantarillado.
- Del total de los los colaboradores, aproximadamente de 100 personas, solamente el 30% respondió encuestas en línea, lo cual evidencia un bajo nivel de compromiso y participación respecto a la tema abordado.
- Los colaboradores de recursos hídricos respondieron las encuestas, evidenciando un total de participación del 100% de la población, identifican y proponen políticas de implementación sencillas, que requieren de baja inversión de recursos para contribuir al cuidado del medio ambiente.
- El 56% de los colaboradores conoce cómo opera actualmente la planta, mientras que el 44% desconoce dicho proceso, tomando en cuenta los resultados obtenidos en general, es curioso observar la diferencia existente entre los porcentajes de los colaboradores que no conocen la planta y sus instalaciones, y sin embargo sí saben cómo opera, por lo cual es importante tomar éste aspecto en cuenta al momento de relizar la propuesta educativa y de capacitación.
- Fue curioso observar que los encuestados no conocen la situación actual de recurso hídrico en Guatemala, según lo reflejó una de las preguntas realizadas, no obstante el 87% seleccionó eficazmente la definición correspondiente a la pregunta, por ello es importante confirmar que se posee éste conocimiento a través de la propuesta educativa.
- El 100% de los colaboradores deben conocer no solamente las instalaciones y ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales, sino también el sistema de operación de las mismas, sobre todo el departamento de recursos hídricos.
- Los miembros de los diferentes departamentos del área administrativa desconocen la situación actual del recurso hídrico en Guatemala, el marco legal que respalda la gestión del recurso hídrico y las políticas que la empresa maneja respecto al tema, por lo cual se considera importante trabajar en el sustento sobre el campo de la depuración de aguas residuales citadoe en los acuerdos del Consejo Municipal, Municipalidad de la Ciudad de Guatemala Artículo. 6, Acuerdo Gubernativo 236-2006. Ministerio de Ambiente Y Recursos Naturales y lo

refrente al cobro por el servicio público de agua potable y alcantarillado contemplado en el Acuerdo No. COM-036-03 Consejo Municipal, Municipalidad de Guatemala.

- Los colaboradores de cada departamento desconocen el tema respecto al manejo adecuado el recurso hídrico y cultura ambiental, esto servirá para planificar acciones preventivas sobre el buen uso del recurso hídrico, a través del aprendizaje para la formación y desarrollo de educación ambiental.
- El 67% del personal encargado de los restaurantes y quioscos de alimentos no identifica los términos de educación ambiental. El 85% desconoce los beneficios de crear una cultura ambiental, considerando que para lograr actitudes y prácticas que mejoren la calidad de vida es necesaria una población ambientalmente informada y consiente.
- De acuerdo al análisis de la entrevista al jefe de operaciones (Cuadro 1) se puede determinar que existe la necesidad de generar cultura sobre el buen uso del agua, además se necesitan medios para informar y enseñanza a la población sobre cómo utilizar las trampas de grasa.
- Según el análisis correspondiente del instrumento 3, el 62% de los quioscos y restaurantes de alimentos no poseen un sistema de trampa de grasa. Sin embargo podemos inferir que este resultado se puede deber al desconocimiento de los encuestados sobre la existencia de la trampa de grasa, debido a que este sistema es requisito de ley para todo comercio o industria alimentaria que utilizan aceite o centros de servicios. Si no cuenta con este sistema para retener grasas, las tuberías de desagüe se obstruyen o tapan con la misma grasa codificada, ocasionando problemas de sanitarios y riesgos de contaminación y malos olores en la preparación de alimentos y en su entorno ambiental.
- El 62% de la población encuestada carecen del conocimiento necesario sobre el mantenimiento y limpieza de las trampas de grasa, perjudicando el entorno ambiental.
- El 86% de la población encuestada considera pertinente realizar un proceso de capacitación sobre el cuidado del medio ambiente.

X. RECOMENDACIONES

- Tomando en cuenta las deficiencias de la planta en la reducción de contaminantes en el efluente, las limitaciones de espacio actuales y considerando las dimensiones de rediseño de las unidades de tratamiento, se recomienda trasladar la planta a un lugar con mayor área disponible o ampliar el espacio actual hacia el terreno aledaño para así descargar al Río Contreras agua de mejor calidad que la actual.
- Agregar cloro a las aguas en la fase terciaria siempre que la planta se encuentre en operación para reducir la carga microbiana en las aguas que se liberan al cuerpo receptor.
- Emplear un método de conteo directo (como el que se hizo en este estudio) en lugar de un método de estimación –como el de los tubos múltiples– para los análisis de calidad microbiológica del agua ya que los resultados son más exactos y menos ambiguos que los obtenidos con aproximaciones. En todo caso, el método de tubos múltiples podría implementarse como una prueba inicial de la evaluación del estado de contaminación del agua (una “pre”-prueba) y luego utilizar un método de conteo directo para determinar cuantitativamente la cantidad de coliformes fecales presentes.
- Es necesario reducir la ambigüedad del parámetro microbiológico establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Para ello lo mejor sería dejar de expresar este parámetro en términos de número más probable y en su lugar utilizar un parámetro más cuantitativo como el de conteo.
- Si en caso quisiera buscarse la relación entre el número más probable y el conteo de placas (o colonias), se recomienda contruir una curva de calibración donde se inoculen cantidades conocidas de la misma muestra utilizando ambos métodos y determinar la cantidad de microorganismos. A partir de esta curva sería posible generar un modelo de regresión que permita relacionar ambas variables.
- Realizar mediciones del caudal de entrada y salida de la planta de tratamiento aeróbica, así como caracterizaciones fisicoquímicas de las aguas residuales, durante las diversas épocas del año para tener un estudio más representativo del comportamiento del caudal.
- Realizar un estudio demográfico y considerar los planes de expansión del complejo comercial y residencial, desde su inauguración hasta el día de hoy, para determinar con mayor certeza

cómo ha sido su crecimiento y poder establecer una tasa de crecimiento más exacta para los próximos 15 años.

- Utilizar enzimas para la limpieza de la trampa de grasas y aceites, ya que facilitan el mantenimiento del equipo, digiriendo los desechos orgánicos y eliminando malos olores; se reduce así el trabajo manual, lo que aumenta la productividad y los gastos de limpieza.
- Respetar las medidas de las unidades de tratamiento indicadas para que la remoción del contaminante se complete.
- Determinar experimentalmente el diámetro de partícula de los lodos activados para tener un dato más exacto de la velocidad de sedimentación de partícula.
- Tener buen control del inventario, concretamente, del hipoclorito de sodio para (1) no dejar de desinfectar las aguas residuales y (2) para que el producto no se desestabilice y pierda su poder oxidante.
- Se propone trabajar en un rastreo de tuberías para enumerar todas las conexiones de agua residual que ingresan a la planta, para asegurar el buen funcionamiento de la misma.
- Se recomienda expulsar el efluente de agua directamente al cuerpo de agua receptor y no direccionar este a otra planta de tratamiento, como se tiene contemplado, debido a que el agua tratada ya cumpliría con los parámetros establecidos por la norma nacional.
- Realizar un análisis económico para determinar los beneficios de la instalación de una planta de cogeneración de energía para aprovechar el contenido energético contenido en el metano producido en el tratamiento biológico.
- Monitorear el porcentaje de remoción de Nitrógeno Total durante 12 horas midiendo la concentración de Nitrógeno Total cada dos horas en una muestra de agua residual con la dilución adecuada de bacterias BioRemove 5100 marca Novozymes® de 600 mL utilizando un colorímetro marca HACH y simulando un reactor con agitación para determinar el tiempo de retención de eliminación al 100% del Nitrógeno Total.
- Instalar un tanque agitado cilíndrico vertical de cloración adicional junto con un agitador de turbina de 6 palas y su motor, una bomba de dosificación y las válvulas y tubería necesaria

para llevar a cabo la desinfección durante 15 minutos y así cumplir con el límite máximo permisible de coliformes fecales establecido en el Artículo 35 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”.

- Evaluar la viabilidad técnica y económica de la instalación y operación de otros métodos de desinfección para la planta de tratamiento anaeróbica del complejo comercial y residencial como por ejemplo desinfección por bromación, por ozonización y por luz ultravioleta para determinar si alguno de estos métodos es más eficiente que colocar dos tanques de cloración agitados cilíndricos verticales para cumplir con los parámetros del Artículo 35 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos”.
- Diseñar un sistema de reutilización del agua del efluente de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales para riego de áreas verdes del complejo comercial y residencial.
- Con la finalidad de cumplir con parámetros establecidos mundialmente, proponer un diseño que cumpla con esos parámetros para la etapa terciaria y de desinfección de la planta de tratamiento anaeróbica de aguas residuales del complejo comercial y residencial.
- En cuanto al control de la deshidratación de lodos, se sugiere tomar muestra periódicas para verificar que la humedad se encuentra dentro de un rango adecuado, entre 60% y 70%, para retirarlos del patio.
- Realizar pruebas de humedad en distintas condiciones climáticas y en diferentes épocas del año para establecer el tiempo de retención de los lodos en el patio de secado de acuerdo a las condiciones.
- Realizar un análisis decoliformes totales aunque el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” no lo establezca para garantizar lodos estabilizados libres de cualquier organismo patógeno.
- Realizar un monitoreo constante del agua descargada, para determinar su cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos”.

- Implementar un protocolo de seguridad para cualquier emergencia puntual o desastre natural.
- Proveer equipo de seguridad para el operario encargado de la PTAR y capacitarlo constantemente.
- Vender el lodo activado como mejorador de suelos.
- Analizar costos de instalación de un sistema de generación de energía eléctrica, ya que se producen 600 kWh/día con la cantidad de metano producida, lo cual podría cubrir el consumo promedio de un comercial, siendo este 205 kWh/día según un informe estadístico realizado por la CNEE.
- Verificar la información proporcionada ya que el rediseño se elaboró en base a la información proporcionada por el complejo comercial y residencial.
- Actualizar los manuales con base en los requerimientos de seguridad del personal, así como de los parámetros de los equipos instalados y las especificaciones del proveedor.
- Capacitar constantemente al personal en relación a los parámetros de operación y mantenimiento de la planta para promover el conocimiento de los parámetros de operación y mantenimiento de la planta.
- Se sugiere programar visitas guiadas a la planta de tratamiento de aguas residuales, por departamento, con el propósito de conocer su ubicación, instalaciones, operación y beneficios para el complejo y el medio ambiente. Es indispensable que todos los departamentos administrativos se involucren en el proceso para desarrollar una cultura de compromiso con el cuidado del ambiente, sobre todo aquellos colaboradores que poseen facultad en toma de decisiones que puedan influir en el proceso mencionado.
- Para justificar la creación y distribución de recursos es necesario capacitar al personal administrativo sobre los temas expuestos en el anexo, evaluando cada tres meses los resultados obtenidos del proceso de capacitación y así verificar el cumplimiento de los diferentes procesos administrativos que permitan aplicar estrategias de auto sostenibilidad para el manejo adecuado del recurso hídrico en los distintos lugares y ambientes del complejo.
- Proporcionar herramientas de comunicación amigables, que favorezcan la formación de una cultura ambiental para el uso adecuado del recurso hídrico, como el bifoliar diseñado para éste proceso (ver anexo) adicional a ello, se recomienda la creación de videos de concientización

ambiental, manuales y actividades para integrar a la educación ambiental.

- El personal administrativo en general considera que sembrar árboles, reducir el consumo del agua de manera consciente y reducir la impermeabilización del suelo como medida de mitigación son alternativas posibles de implementación para el cuidado del medio ambiente, lo cual aporta posibles temas para abordar como parte del proceso de capacitación en futuras oportunidades.
- En forma general los colaboradores consideran que la aplicación de políticas de reducción del consumo del agua, políticas de gestión del agua residual y capacitaciones al personal, son alternativas para implementar de manera inmediata y requieren de una inversión menor. Por lo cual se considera necesario implementar el proceso de capacitación como parte de estas alternativas para el manejo adecuado del recurso hídrico.
- Como parte de la propuesta de un programa de desarrollo de cultura ambiental se recomienda realizar ciclos de capacitación en la modalidad de taller para profundizar en el aprendizaje de los temas que cada departamento desconoce y así mejorar el nivel de cultura ambiental de los colaboradores del complejo a través de la educación.
- Se sugiere que cada miembro que conforma los distintos departamentos administrativos participe en el proceso de capacitación que complementa la información transmitida previamente a través del bifoliar diseñado para este fin, con el propósito de integrar conocimientos aplicando un método deductivo-inductivo para fortalecer el desarrollo y formación de cultura ambiental respecto al manejo adecuado del recurso hídrico.
- Se exhorta, que al concluir el rediseño de las plantas de tratamiento, considerando diseño estético y seguridad industrial, ambas podrían utilizarse como recurso didáctico, realizando visitas guiadas para estudiantes u otras instituciones relacionadas con la temática para poder realizar un proceso de observación de cada uno de los procesos ejecutados en las plantas de tratamiento y el beneficio que estas aportan al cuidado del medio ambiente; lo cual a futuro puede contemplar una cuota simbólica de ingreso y recorrido e incluso considerarse como un modelo de réplica aplicable en otras instituciones o ambientes.
- Con el propósito de lograr cambios progresivos en el comportamiento de los miembros de los diferentes departamentos del área administrativa del complejo, se propone abrir el espacio para la implementación de un programa de educación ambiental que desarrolle una nueva cultura sobre el manejo y gestión adecuada del recurso hídrico, para el cual se sugiere implementar el plan de capacitación adjunto.

- Realizar un plan de capacitación con el fin de desarrollar procesos de enseñanza aprendizaje en los colaboradores de restaurantes y quioscos, sobre educación ambiental, sistemas de trampas de grasa y el manejo hídrico sustentable. (Anexo 4) El proceso de capacitación significa brindarles a las personas información básica para que cuestione sus actitudes y acciones y genere nuevas formas de actuar, soluciones, ideas fundamentadas que modifiquen sus hábitos y desempeños para lograr efectividad en sus funciones y en el quehacer de la empresa.
- Para los colaboradores de restaurantes y quioscos, se necesita un proceso de capacitación que profundice en equilibrar sustento teórico, aplicación y reflexión con talleres que se diseñen con estrategias dinámicas y vivenciales. Esto ayudará al proceso de formación y a potenciar las capacidades del recurso humano que puede aportar al desarrollo sostenible.
- Utilizar recursos materiales y herramientas en el proceso de capacitación, para presentar información objetiva, clara y accesible, fortaleciendo el desarrollo y formación de una cultura ambiental respecto al manejo adecuado del recurso hídrico.
- Dar continuidad a este tipo de programa educativo, realizando evaluaciones constantes de la situación actual contra la ideal. Con el fin de que el complejo comercial y residencial mantenga un nivel de competitividad y productividad.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Abedon, S. 2005. *The Bacteriophages*. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- Abedon, S. 2008. *Bacteriophage Ecology: Population Growth, Evolution, and Impact of Bacterial Viruses*. Cambridge. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Abera, S., Z., A., Kebede, B., D., A., & Ali, S., Z., E. 2011. *Bacteriological analysis of drinking water sources*. 5(18). 2638–2641.
- Acuerdo Gubernativo 236-2006. “*Reglamento De Las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*”. Diario de Centroamérica. Fecha de publicación: 5 de mayo 2006.
- Agenda Estratégica Nacional de Ambiente y Recursos Naturales 2000 - 2004, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, República de Guatemala, C.A.
- AGUASISTEC. *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR*. <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales.php> [12 de mayo de 2017]
- Aguilar, M., Sáez, J. & Lloréns, M. 2002. *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación-floculación*. Primera Edición. Universidad de Murcia. España. 137pp.
- Alasino Noelia. 2009. *Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Tesis doctoral pública. Universidad Tecnológica Nacional. Santa Fe, Argentina.
- Albertsson, Anne-Christine, et al. *Chromatography for sustainable polymeric materials: renewable, degradable and recyclable*. Berlin: Springer Verlag, 2008. (LIBRUNAM: QD139.P6 C465)
- Alianza por el Agua. 2008. *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. Editorial ARPIrelieve. 264 págs.
- Alvarado Guillermo, Solano Ponciano. 2003. *Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Guatemala*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente. Lima.

- Alvarado, A. 2011. *Evaluación de materiales de desecho como medio filtrante en filtros anaerobios de flujo ascendente*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 60pp.
- APHA, AWWA, WEF. 2012. *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater*. Washington, EUA: American Public Health Organization.
- Applebaum, M. W. 2010. *Sensación, significado y aplicación del color*. Publicado en Chile por LFNT.: La Opera 472, Maipú.
- Aprender para el siglo XXI: educación ambiental. VII Semana Monográfica. VVAA. 1992. Madrid: Fundación Santillana.
- AQUASTAT. 2016. *Desecho de agua por sector*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldDataWithdrawal_eng.pdf.
- Arends, Richard. 2007. *Aprender a enseñar*. Séptima Edición. México, Mc Graw Hill. 517 Págs.
- Arias, F. 2006. *Proyecto de investigación: introducción a la metodología científica*. 5ª Edición. Caracas: Espíteme.
- Aris Industrial. 2016. *Hoja Técnica: Hipoclorito de Calcio 65%*. En: <http://www.aris.com.pe/quimicos/wp-content/uploads/2016/07/HT-HIPOCLORITO-DE-Ca-65.pdf>. Fecha de consulta: 11 de octubre, 2017
- Arriaza, Manuel. 2009. *Diseño, presupuesto y manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para el casco urbano del municipio de Villa Nueva*. Tesis Universidad San Carlos de Guatemala. 106 págs.
- Arvizu, José. 1996. *Tratamiento anaeróbico-aeróbico de las aguas residuales de las instalaciones del IIE*. En <https://www.ineel.mx/publica/bolso96/aplica.htm>. Fecha de consulta: 26 de mayo de 2017.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). *Efectividad para mejorar Vidas*. <http://www.iadb.org/es/temas/efectividad-en-el-desarrollo/evaluation-hub/analisis-costo-beneficio,17891.html>

- Bará, Marc. *Tendencias e innovación*. OBS Business School. <http://www.obs-edu.com/int/blog-investigacion/project-management/que-es-la-calidad-en-un-proyecto> 20/05/2017].
- Barillon, B., T., G. 2014. *Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review*. 49, 62–82.
- Barrenechea, A. y L. Vargas. *Capítulo 10: Desinfección*. 155-214 págs.
- Bartram, J., B., R. 1996. Microbiological Analyses. En *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. Geneva, Suiza: UNEP/WHO.
- Baruth, E. 2005. *Water Treatment Plant Design*. Nueva York, EUA: McGraw Hill.
- Bhandari, V., R., V. 2014. *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. Oxford, Reino Unido: Elsevier.
- Bourg, Dominique. 2005. *¿Cuál es el futuro del desarrollo sostenible?* Madrid: Akal. (LIBRUNAM: HD75.6 B6818)
- Branan, C. 2005. *Rules of Thumb for chemical engineers*. Cuarta Edición. Ámsterdam: ELSEVIER. 469 págs.
- Brendan, E. 2008. *Dimensional Equation for Sludge Drying Bed*. University of Nigeria. <http://www.unn.edu.ng/publications/files/images/Eze%20Brendan.pdf> [4 de octubre, 2017].
- Burlage, R., A., R., Stahl, D., G., G., & Saylor, G. (1998). *Techniques in Microbial Ecology*. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- Cabral, J. 2010. *Water Microbiology. Bacterial Pathogens and Water*. 7, 3657–3703.
- Calderon, R. 2000. *The Epidemiology of Chemical Contaminants of Drinking Water*. 38(1). 13–20.

- Carrillo, Belén. 2014. *Diseño y construcción de un prototipo a escala de laboratorio que simule los procesos de digestión aeróbica y anaeróbica*. Tesis Universidad Nacional de Chimborazo. 122 págs.
- Cheremisinnoff, N. 2002. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. USA: Butterworth-Heinemann. 631 págs.
- Chiavenato, Idalberto. 2002. *Gestión del capital humano*. p. 305.
- Chin, D. (2013). *Water-Quality Engineering in Natural Systems*. Nueva Jersey, EUA: Wiley.
- Cho, K., H., D., Park, Y., L., S., Cha, S., K., J., & Kim, J. 2010. *Evaluation of the relationship between two different methods for enumeration fecal indicator bacteria: Colony-forming unit and most probable number*, 22(6), 846–850.
- Clarck, R., Hakim, S., & Ostfeld, A. 2011. *Handbook of Water and Wastewater Systems Protection*. Nueva York, EUA: Springer.
- Clokie, M., K., A. (2009). *Bacteriophages: Methods and Protocols*. Nueva York, EUA: Humana Press.
- CNEE. 2017. *Informe Estadístico 2016*. Guatemala. 79 págs.
- Collazos, Carlos Julio. 2008. *Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales*. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Cátedra Internacional.
- Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT). 2007. *¿Qué es una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales?* <http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/plantatratamiento.html> [12 de mayo de 2017]
- Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA Jalisco). 2013. *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados*. Gobierno de Jalisco. 465 págs.

- Comisión Federal de Electricidad. 2012. *Generación de electricidad mediante residuos urbanos*. http://www.olade.org/realc/docs/doc_106229_20170612115908.pdf [14 de octubre, 2017].
- Conagua. 2009. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. SEMARNAT. México, D. F. 70pp.
- Conesa, J. 2014. *Lodos de Depuración*. España: Universidad de Alicante.
- Coulson, J. et al. (2004) *Ingeniería Química: flujo de fluidos, transferencia de calor y transferencia de masas, volumen 1*. Editorial Elsevier, Inglaterra. Pp. 869.
- Coulson, J. M and J. F. Richardson. (1999). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering*. Volume 1: Fluid Flow, Heat Transfer & Mass Transfer. 6a Edición. Butterworth Heinemann.
- Crites, R., & Tchobanoglous. (1998). *Small and Decentralized Water Management Systems*. McGraw-Hill. New York. 775pp.
- Dar, S. 2007. *Water and Wastewater Calculations Handbook*. 2ª edición. USA: McGraw-Hill. 961 págs.
- Davis, M. 2010. *Water and Wastewater Engineering: Design principles and practices*. Nueva York, EUA: McGraw Hill.
- Davis, M. 2010. *Waste and Wastewater Engineering*. USA: McGraw-Hill. 1,301 págs.
- Davis, M. 2010. *Water and wastewater engineering, design principales and practice*. Nueva York: Mc-Graw-Hill.
- De Azevedo, J. M. y Guillermo Acosta A. 1976. *Manual de Hidráulica*. 6ª ed. Mexico: Harla. 578 pp.
- De Lemos, C. 2007. *Biological Wastewater Treatment Series: Anaerobic Reactors*. Volume 4. Department of Sanitary and Environmental Engineering. Brazil. 175pp.

De Molina, Alonso. *Costos de inversión y operación en la formulación de un proyecto*. ESAN. <http://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/06/costos-de-inversion-y-de-operacion-en-la-formulacion-de-un-proyecto/>

Díaz Coutiño, Reynol. 2011. *Desarrollo sustentable*. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana. (LIBRUNAM: HC79.E5 D539 2011)

Domènech, X. y J. Peral. 2006. *Química ambiental de sistemas terrestres*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A. 229 págs.

Dunner Ignacio. 2004. *Evaluación integral de plantas de tratamiento de aguas servidas y alternativas de tratamiento en localidades rurales concentradas*. Aplicaciones en la Regiones R.M. y VII. Tesis magistral pública. Universidad de Chile. Chile.

Durman. 2017. *Durman: Listado de Precios*. En <http://www.durmanonline.com/>. Fecha de consulta: 14 de octubre, 2017.

Educación ambiental en comunidades cubanas. Revista electrónica del medio ambiente UCM, 0, 12

Edzwald, J. 2011. *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water*. Nueva York, EUA: McGraw Hill.

Espinosa, A., A., C., & Sánchez-Colón, S., M.-H., M. 2009. *Comparative study of enteric viruses, coliphages and indicator bacteria for evaluating water quality in a tropical high-altitude system.*, 8(49). <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-49>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2015) *Iniciativa global para la reducción de pérdidas alimenticia*, FAO. www.fao.org/3/a-i4068e.pdf FAOSTAT.

FAO. 2011. *Manual de Biogás*. Chile. 119 págs. <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>[04 de octubre, 2017].

Feiner, R., A., T., Rabinovich, L., S., N., & Borovok, I., H., A. 2015. *A new perspective on lysogeny: prophages as active regulatory switches of bacteria*. 13, 641–650.

- G.L., José Manuel. 2011. *El proceso de capacitación, sus etapas e implementación para mejorar el desempeño del recurso humano en las organizaciones*. Recuperado de: <http://www.eumed.net/ce/2011b/jmgl.html>
- García, Mónica. 2017. Trabajo de graduación. *Rediseño del tratamiento de lodos y patio de secado de plantas de tratamiento de aguas residuales aeróbica y anaeróbica de un complejo comercial y residencial*. Universidad del Valle de Guatemala. 68 págs
- Garg, N., G., K., & Mukerji, K. 2010. *Laboratory Manual of Food Microbiology*. Nueva Delhi, India: I.K. International Publishing House Pvt. Ltd.
- Garrido, Santiago, 2012. *Ingeniería de mantenimiento, manual práctico para la gestión eficaz de mantenimiento industrial*. Renovetec.
- Geankoplis, C. 1998. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, tercera edición*. Editorial Continental, México. P. 1024.
- Giolitto, Pierre. 1984. *Pedagogía del Medio Ambiente*. Editorial Herder. Barcelona.
- Gobierno de Guatemala (s.f.) *Situación de la contaminación en Guatemala*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (URL/IARNA); Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (PNUMA/DEWA).
- González, I. 2015. *Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR*. España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Gosuma, 2015. *Servicio de mantenimiento de los agitadores de los digestores anaeróbicos*. En <http://www.gosuma.com/>. Fecha de consulta: 17 de agosto, 2017
- Greenpeace Colombia. *Agua: disponibilidad del recurso*. Colombia. Recuperado de: <http://www.greenpeace.org/colombia/es/campanas/contaminacion/agua/>
- Griful, Eulalia. *Gestión de Calidad*. Universidad Politécnica de Cataluña. España 2005.
- Harisha, S. 2005. *An Introduction to Practical Biotechnology*. Nueva Delhi, India: Laxmi Publications.

Hernández, T. 2012. *Valorización energética de los lodos de depuradoras*. AINenergía. <http://ainenergia.com/valorizacion-energetica-los-lodos-depuradoras/> [30 de junio, 2017]

Herrera, L. 2014. *Análisis, caracterización, evaluación y propuesta de tratamiento de las aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido en: <http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/introduccion-tratamiento-aguas-residuales>

Huerga Efraín. 2005. *Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnología limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes*. Tesis doctoral pública. Universidad de Valencia. España. 85

INCYT. *Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología*. 2015. *Mapas de recurso solar en Guatemala*. <http://incyt.org/web/mapas-de-recurso-solar-en-guatemala/> [23 de agosto, 2017].

INSIVUMEH. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 2006. *Datos de salida, puesta del sol y duración del día*. www.insivumeh.gob.gt/folletos/duracionsolar2006.xls [29 de agosto, 2017].

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Disponible en: http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios_de_guatemala.htm. Consultado 15 de octubre de 2017.

InterPro France. 2016. *Manual Básico de Seguridad e Higiene en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. En <http://www.h2ointerpro.com.mx/img/media/manual-seguridad.pdf>. Fecha de consulta: 11 de octubre, 2017.

J.M. Coulson. *et al.* (2005) *Ingeniería Química, cuarta edición*. Editorial Continental, México. P. 1038.

Jain, C., B., A., & Bhadra, A. (2010). *Assesment of ground water quality for drinking purpose*. District Nainital. Uttarakhand. India. 166(1). 663–676.

- Jefferson, B., P., S. (2006). *Introduction to Potable Water Treatment Process*. Oxford, Reino Unido: Blackwell Publishing.
- Jiménez, Mónica. 2017. *Trabajo de graduación. Rediseño de tratamiento terciario y desinfección de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial*. Universidad del Valle de Guatemala. 73 págs
- JONASSEN, D. 2000. *El Diseño de entornos constructivistas de aprendizaje*. En Ch Reigeluth (ed,) *Diseño de la Instrucción: teoría y modelos*, Madrid, Santillana.
- Kirkpatrick, J. 1991. *Applied math for wastewater plant operators*. Estados Unidos: Technomic Publishing Company, Inc. 502 págs.
- Knobelsdorf, M. 2005. *Eliminación biológica de nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante el Proceso VIP*. Tesis Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. 251 págs.
- Kukla, R, Junga, P. y J. Sevcíková. 2012. *Particle size distribution of dried sewage sludge*. https://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2012060050145.pdf[4 de octubre de 2017]
- Kumar, A., D., M. 2005. *Biotreatment of Industrial Effluents*. Oxford, Reino Unido: Elsevier.
- Novo, M. 1995. *La educación ambiental. Bases éticas, conceptuales y metodológicas*. Madrid: Universitas
- LACSD. 2017. *Wastewater Treatment and Water Reclamation*. Recuperado a partir de <http://www.lacsd.org/wastewater/wwfacilities/moresanj.asp>
- Ley de protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto 68-86 y sus Reformas Decretos No. 75-91, 1-93 y 90-2000 del Congreso de la República.
- Linares Juan Carlos. 2005. *Evaluación de la administración operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua residual del municipio y departamento de Retalhuleu*. Tesis magistral pública. USAC. Guatemala.

- Lizarazo, Jenny; et al. 2013. *Sistemas de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia*. Monografía Universidad Nacional de Colombia. Colombia, 82 págs.
- Llorente, E. 1998. *Medios visuales y educación visual*. Revista de Psicodidáctica.
- Lobo, Kenneth. 2015. *Evaluación de Procesos Operativos en Sistemas Anaeróbicos para el tratamiento de aguas residuales*. Tesis Universidad de Costa Rica. 226 págs.
- Lopera, Amparo. 2010. *Manual de Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas*. Coriantioquía: Gobierno de Colombia. 77 págs.
- Lozano, R. 2011. *Las 'TIC/TAC': de las tecnologías de la información y comunicación a las tecnologías del aprendizaje y del conocimiento*. Anuario ThinkEPI, v. 5, pp. 1-2.
- Lux Monroy, M. 2010. *Medidores de flujo en canales abiertos*. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería. Guatemala. 109pp.
- M. C., María José. 2016. Recuperado de: <https://nolycarrillo.jimdo.com/unidad-2/fases-del-proceso-de-diagn%C3%B3stico/>
- Mackenzie L. Davis y Susan J. Masten. 2005. *Ingeniería y Ciencias Ambientales. Guatemala*. Mc Graw Hill.
- Martín Erick. 2010. *Instalación y Control de una Planta de Tratamiento Físico-Químico de aguas residuales con base en las regulaciones ambientales de Guatemala*. Tesis pública de Licenciatura de Ingeniería Química. USAC. Guatemala.
- Martínez Freddy Aníbal, D. YSASE COVA Tibisay. 2009. *Descripción de los tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas*. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Venezuela. p 47. 14
- Mayer, B., G., D., Rittman, B., R., D., & Brandt-Williams, S. 2013. *Innovative Strategies to Achieve Low Total Phosphorus Concentrations in High Water Flows*. 43(4), 409–441.
- McCabe, W.; Smith, J. & Harriott, P. 2007. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7ª edición. México: McGraw-Hill Interamericana. 1,189 págs.

- McGrath, S., V. S., D. 2007. *Bacteriophages: Genetics and Molecular Biology*. Poole, Reino Unido: Caister Academic Press.
- Melgar, Julius. 2017. Trabajo de graduación. *Rediseño de tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial*. Universidad del Valle de Guatemala. 73 págs
- Metcalf & Eddy, Inc. 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. Fourth Edition*. New York. McGraw-Hill.
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. Cuarta Edición. McGraw-Hill Companies, Inc. Pp. 1771.
- Metcalf y Eddy. 1995. *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, tercera edición*. Editorial Mc Graw Hill, Madrid. Pp. 1485
- Millán, S. 2012. *Metrología y Ensayos*. 1ª edición. España: Ediciones Paraninfo. 209 págs.
- Ministerio de ambiente y recursos naturales, Acuerdo Gubernativo 236 – 2006 Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.
- Modelo Andragógico: Fundamentos. *Serie diálogos y perspectivas del desarrollo curricular*. Universidad Del Valle de México. 1ª edición. México
- Morán Guillermo. 2011. *Reevaluación de los niveles de plomo en tejido muscular de peces – cichlasoma managüense sp (Guapote o pez tigre) – Del Lago de Amatitlan*. Tesis de Licenciatura en Químico Farmacéutico. USAC. Guatemala.
- Morán, Diego Josué. 2014. *Tesis de grado: Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, alta Verapaz*. Universidad Rafael Landívar. Guatemala.
<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/14/Moran-Diego.pdf>
- Mosaic Company. 2016. *Plant Analysis*. <http://www.cropnutrition.com/efu-plant-analysis> [8 de octubre, 2017]

Nollet, L., D. G., L. 2014. *Handbook of Water Analysis*. Florida, EUA: CRC Press.

Ocaña, Marin; Manuel Oses. 2013. *Operación y Mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados*. Comisión estatal de agua de Jalisco. Tomo 1.

Ocaña, Marin; Manuel Oses. 2013. *Operación y Mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados*. Comisión estatal de agua de Jalisco. Tomo 2.

Ochei, J., K., J. 2000. *Medical Laboratory Science: Theory And Practice*. San Francisco, EUA: McGraw Hill.

Oliver, T., B., C. 2017. *UV-Visible Spectrophotometry of Water and Wastewater*. Oxford, Reino Unido: Elsevier.

ONU/DAES (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas). 2004. *Catalización del cambio: Manual para el desarrollo integrado del manejo de recursos hídricos y estrategias de eficiencia hídrica*. Documento Informativo No. 5. Presentado por la Comisión Técnica de la Asociación Mundial del Agua (GWP).

Ortiz, V. 2011. *Puesta a punto de una metodología para la determinación de la actividad metanogénica específica de un fango anaerobio*. Universidad Politécnica de Valencia.

Palahniuk, V., L., A. 2010. *Water Microbiology: Types, Analyses, Disease-causing Microorganisms*. Nueva York, EUA: Nova Science Publishers.

Palmateer, G., D., B., Janzen, M., M., S., & Sakellaris, M. 1991. *Coliphage and bacteriophage as indicators of recreational water quality*, 25(3), 355–357.

Parra, L. 2006. *Operación de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) hasta alcanzar el estado estable*. Universidad Nacional de Colombia. 32pp.

- Patel, H. y K. Shah. *COD fractionation in sewage treatment plant*. En: https://www.researchgate.net/profile/Drkomal_Mehta/publication/303997842_COD_fractionation_in_water_treatment_plant/links/57627bb608aecb55364913fc/COD-fractionation-in-water-treatment-plant.pdf [7 de octubre de 2017]
- Pidwirny, M. 2006. *Fundamentals of Physical Geography: The Nitrogen Cycle*. Recuperado a partir de <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9s.html>
- PNUMA (Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2006. *Economía circular: un modelo alternativo para el desarrollo económico*. Paris.
- Project Management Institute (PMI). 2013. *Fundamentos para la dirección de Proyectos*. PMI. 5 ed. 596 págs.
- Quintero, Alejandro. 2013. *Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida (Quindío)*. Tesis Universidad Nacional de Colombia. 142 págs.
- Ramalho, Rubens. 1990. *Tratamiento de Aguas Residuales*. Editorial Reverté S.A. 716 págs.
- Ramalho, R. 1996. *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté. Segunda Edición. Barcelona, España. 585pp.
- Ramalho, R. S. 2003. *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A. 697 págs.
- Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Tratamiento de aguas residuales. Ministerio de Desarrollo Económico. Colombia, Bogotá, noviembre de 2000.
- Rincón, A.; Herrera, O. y M. Ortiz. 2014. *Esquema para el dimensionamiento de unidades de sedimentación de alta tasa de flujo ascendente*. Colombia: Entre Ciencia e Ingeniería, ISSN 1909-8367. 29-40 págs.
- Rojas, J. 1999. *Potabilización del agua*. Tercera Edición. México D.F.: Alfaomega. 323 págs.

- Tamayo y Tamayo. 2003. *El Proceso de la Investigación Científica*. Limusa Noriega Editores. 4ta Edición. México.
- Salazar, José; Julio Gerrero; et al. 2009. *Clima y Cultura organizacional: dos componentes esenciales en la productividad laboral*. Scielo.
- Salinas, J.; Pérez, A. y de Bento, B. 2008. *Metodologías centradas en el alumno para el aprendizaje en red*. Síntesis, Madrid
- Sánchez Ever. 2001. *Proyecto regional sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y Potencial*. Estudio General del Caso Sololá, Guatemala. Convenio: IDRC-OPS/HEP/CEPIS (2000-2002). Guatemala.
- Sánchez, Ever. 2001. *Inventario Sobre la Situación Actual de las Aguas Residuales Domésticas en América Latina, País Guatemala, Proyecto Regional Sistemas Integrados de Tratamiento y uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad Potencial*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- Sato, T. et al. 2013. *Nivel global, regional y por país de datos de generación, tratamiento y usos de aguas residuales*. Agricultural Water Management, Vol. 130, pp. 1-13.
- Sawyer, C., M., P., & Parkin, G. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science*. San Francisco, EUA: McGraw Hill.
- Schmalenberger. s.a. *Torque flow pumps*. <http://www.schmalenberger.de/en/powerful-pump-technology/products/torque-flow-pumps/type-fb.html> [14 de octubre, 2017].
- Scott, J., S., P. 2005. *Dictionary of Water and Wastewater Management*. Oxford, Reino Unido: Elsevier.
- Seijas, Felix L. 1981. *Investigación por Muestreo, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1981*, pág. 87.
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). 2013. *Guía de referencia: Mantenimiento de bombas centrífuga*. Gobierno de Colombia. 32 págs.

Servicio público de agua potable y alcantarillado contemplado en el Acuerdo No. COM-036-03 Consejo Municipal. Municipalidad de Guatemala.

Shors, T. 2013. *Understanding Viruses*. Massachusetts, EUA: Jones & Bartlett Publishers.

Sinnott, R. 2005. *Diseño en Ingeniería Química, volumen 6*. Editorial Elsevier, Inglaterra.1017.

Skoog, D., W., D., & Holler, J., C., S. 2015. *Fundamentos de Química Analítica* (9na edición). México D.F.: Cengage Learning.

Smith, J. et al. 2007. *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química, séptima edición*. Editorial McGraw-Hill. Pp. 807.

Sobenes, A., Vásquez, E., Melini, Y., Herrera, J. Batres, J.. 1999. *Diagnóstico Rápido sobre los Decretos legislativos Nos. 64-96, 133-96 y 10-98, y Acuerdo Gubernativo No. 186- 99, que establecen las Autoridades de los Lagos de Amatitlán, Atitlán e Izabal y sus Cuencas*. Instituto de Derecho Ambiental y Desarrollo Sustentable, Guatemala.

Solsona, F. y J. Méndez. 2002. *Desinfección del agua*. Lima: OPS/CEPIS. 158 págs.

Spellman, F. 2003. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. Florida, EUA: CRC Press.

Spellman, F. 2014. *Wastewater Treatment Operations Math Concepts and Calculations*. 2ª edición. USA: CRC Press. 256 págs.

Sundar, M., N., G., Arijit, D., B., S, & Suryan, S. 2009. *Isolation of Host-Specific Bacteriophages from Sewage Against Human Pathogens*, 1(4), 163–170.

T., Andy. 2016. *Taller de Capacitación*. Recuperado de: <https://angytejeda.jimdo.com/unidad-1/1-9-etapas-de-capacitaci%C3%B3n/>

Tobasura, Acuña Isaias. *Proyectos Ambientales Escolares*. Estrategia para la Formación Ambiental. Manizales. Centro Editorial de la Universidad de Caldas. 199pp.

U. S. EPA. 1996. *Design manual, municipal wastewater disinfection, Cincinnati*. 264 págs.

UNESCO, S. d. (2012). *La educación para el desarrollo sostenible en acción - Instrumentos de Aprendizaje y Formación*. 7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia: Organización de las Naciones Unidas, para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UNICEF/OMS (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia/Organización Mundial de la Salud) (2000) *Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000*. Nueva York/ Ginebra.

Universidad Tecnológica de Pereira (UTP). 2014. *Instructivo para la operación y mantenimiento de la planta*. En: http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1686/628162D671_anexo.pdf?sequence=2. Fecha de consulta: 9 de octubre, 2017.

University of Waikato. (2013). *The phosphorus cycle*. Recuperado a partir de <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/961-the-phosphorus-cycle>

Water Environment Federation (WEF). 2005. *Clarifier Design*. Segunda Edición. Estados Unidos. McGraw-Hill.

WEF & ASCE. 1992. *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants*. Volume 1. American Society of Civil Engineers. New York, United States. 829pp.

WEF & ASCE. (1992). *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants*. Volume 2. American Society of Civil Engineers. New York, United States. 1541pp.

WEMCO. s.a. *Pumps and Systems*. <http://www.axflow.com/local/united%20kingdom/pdfs/model%20c.pdf> [14 de octubre, 2017].

WHO. 2004. *Guidelines for Drinking-water quality*. Geneva, Suiza: World Health Organization.

- Wilmoth, B., L., K. 2005. *UXL Encyclopedia of Water Science*. Michigan, EUA: Thomson Gale.
- Withey, S., C., E., & Avery, L., S., T. 2005. *Bacteriophages-potential for application in wastewater treatment processes*, 335, 1–18.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017 Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, UNESCO.
- Xi, B., H., S., Qin, Y., Y., H., & Zhang, J., Z., F. 2013. *Characteristics and transformations of dissolved organic nitrogen in municipal biological nitrogen removal wastewater treatment plants*. 8. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/044005>
- Zhu, G. *et al.* 2008. *Remoción biológica de nitrógeno en aguas residuales*. Editorial Environtec, Estados Unidos de América. Pp. 159.

XII. ANEXOS I

A. Número de tubos positivos para método de tubos múltiples y conteo de placas para método de bacteriófagos.

Cuadro 142. Número de tubos positivos para la prueba de tubos múltiples para la muestra tomada el 10 de julio.

	Medio de cultivo								
	Lauril Triptosa			Verde Brillante			EC		
	Réplica			Réplica			Réplica		
Dilución	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 mL	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0.1 mL	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0.01 mL	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Cuadro 143. Número de tubos positivos para la prueba de tubos múltiples para la muestra tomada el 4 de septiembre.

	Medio de cultivo								
	Lauril Triptosa			Verde Brillante			EC		
	Réplica			Réplica			Réplica		
Dilución	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 mL	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0.1 mL	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0.01 mL	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Cuadro 144. Número de tubos positivos para la prueba de tubos múltiples para la muestra tomada el 24 de agosto.

	Medio de cultivo								
	Lauril Triptosa			Verde Brillante			EC		
	Réplica			Réplica			Réplica		
Dilución	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 mL	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0.1 mL	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0.01 mL	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Cuadro 145. Unidades formadoras de placa por mililitro calculadas para cada caja inoculada con las muestras filtradas.

Réplica	Muestra		
	10 de julio (UFP/mL)	24 de agosto (UFP/mL)	4 de septiembre (UFP/mL)
1	550	130	2100
2	1390	930	2700
3	1080	230	2200

Cuadro 146. Normalización del número de placas contadas en cada caja inoculada con las muestras filtradas.

Réplica	Muestra		
	10 de julio log(UFP/mL)	24 de agosto log(UFP/mL)	4 de septiembre log(UFP/mL)
1	2.7	2.1	3.3
2	3.1	3.0	3.4
3	3.0	2.4	3.3
Media	3.0	2.5	3.4

XIII. ANEXOS II

A. Resultados de la medición de caudal y caracterización del afluente de aguas residuales

14 avenida 19-50 Condotio El Naranjo
 Oficinas San Sebastián, Bodega 23,
 Zona 4 de Miraflores, Guatemala.
 PBX.: 2416-2916 Fax: 2416-2912
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com



Entrada PTAR

Lotificación El Rielcuelo, Lot
 Carretera al Pacífico, Km.
 Santa Lucía Cotz, Escuintla
 PBX.: 7982-24
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

Número de orden :
 Código de muestra :
 Fecha de ingreso : 08/04/2017
 Fecha del informe : 26/04/2017
 Asesor : HUGO MATHUS

Paquete de análisis : AGUAS RESIDUALES

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	: 06 - 03/04/2017	Fecha Inicio de Análisis	: 08/04/2017
Hora de Muestreo	: 12:30 - 12:30	Hora de Ingreso	: 16:07:39
Recipiente	: PLASTICO, VIDRIO Y BOLSA ESTERIL	Temperatura de Ingreso	: 6.4
Tipo de muestra	: AGUA RESIDUAL	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
		Responsable de muestreo	: EDDY GIRON / SA

PARAMETROS		PARAMETROS IN SITU			
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	Rango	Resolución	METODOLOGIA
TEMPERATURA (in situ)	°C	21.6	0 - 100 °C	0.1 °C	Termómetro Digital
pH (in situ)	unidades de pH	7	0 - 14	1 pH	pH, tira indicadora
PARAMETROS		DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
GRASAS Y ACEITES	mg/L	34		5	EPA 1664
MATERIA FLOTANTE		Asente			
SOLIDOS EN SUSPENSION TOTALES	mg/L	200		6	
COLIFORMES FECALES	NMP/ 100 mL	52.0E+4		< 1 E	SM 2540D
COLOR	u PtCo	111		5	SM 021 E
*DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/L O2	993		1	HACH 8025
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	mg/L O2	511		0	HACH 8080
FOSFORO	mg/L P	8.4		0.18	SM S210B
NITROGENO TOTAL	mg/L N	72.0		0.5	SM 3120 B
RELACION DOB/DBO		1.48			HACH 10011/10022
RELACION DBO/DOD		0.68			

*ACREDITADO ISO 17025 según OGA-LE-011-09
 Metodología basada en:

EPA "Oil and grease" and petroleum hydrocarbons' n-hexane extractable material (HEM) and silica gel treated n-hexane extractable material (SGT-HEM) by oxidation and gravimetry. Method 1661 1194
 HACH Reactor digestion method for Chemical Oxygen Demand
 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWA, 22nd ed. 2012

Enche Elio Jaramel Jimenez
 QUÍMICA BIÓLOGA
 COLEGIADA No. 1192

Revisado: _____
 Gerente de Laboratorio

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
 Este informe es válido únicamente en su impresión original



Inicio muestreo:	07/04/17	Fecha de finalización:	08/04/17
Hora inicio:	12:30	Hora finalización:	12:30
Equipo - caudal -:	ISCO SIGNATURE 3	Estructura y Diámetro de Tubería:	Tubería Circular de 10"
Equipo - toma de muestra -:	ISCO GLS	Metodología:	Área/Velocidad

DATOS DE CAUDAL

Datos	Resultados	Hora de evento
Caudal promedio (Gal./min)	14.65	--
Caudal máximo (Gal./min)	31.94	07:45
Caudal mínimo (Gal./min)	2.21	03:45
Nivel promedio (")	1.35	--
Nivel máximo (")	1.78	07:45
Nivel mínimo (")	0.43	10:30
Velocidad promedio (m/s)	0.21	--
Velocidad máxima (m/s)	0.33	07:45
Velocidad mínima (m/s)	0.10	01:15



14 Avenida 19-50, Cuidado El Naranjo, Bodega #23
 Oficinas San Sebastián, Zona 4 de Mixco, Guatemala
 PBX: 2416-2916 Fax: 2416-2917
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

-Caudal gpm- (Galones por minuto)



-NIVEL in- (Pulgadas ``)





14 Avenida 19-50, Condamo El Naranjo, Bodega #23
 Oficinas San Sebastián, Zona 4 de Mixco, Guatemala
 PBX: 2416-2916 Fax: 2416-2917
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

-Velocidad m/s- (metros por segundo)



Soluciones Analíticas
 14 Avenida 19-50, Condamo El Naranjo, Bodega #23
 Oficinas San Sebastián, Zona 4 de Mixco, Guatemala
 PBX: 2416-2916 FAX: 2416-2917

Manuel Bejarano
 Coordinador de Muestreo

B. Datos originales

Cuadro 147. Características actuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aeróbica del complejo comercial y residencial.

Característica	Valor
Caudal de diseño	360 m ³ /d
Viviendas construidas actualmente	48
Total de viviendas a construir	160
Número de comercios según su clasificación	
Estación de servicio (ES)	2
Bar (B)	4
Grandes almacenes (GA)	1
Oficina (O)	7
Restaurante Convencional (RC)	8
Restaurante de comida rápida (RR)	8
Restaurante Bar (RB)	3
Centro Comercial (CC)	18
Hospital (H)	2
Apartamento (APTO)	3
Vivienda vieja (VV)	1

Cuadro 148. Dimensiones del canal de rejillas instalado actualmente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aeróbica.

Parámetro	Unidad	Valor	
		Rejilla gruesa	Rejilla fina
Número de barrotes	Unidades	11	24
Abertura entre barrotes	m	0.03	0.01
Tamaño de barrote			
Ancho	m	0.005	0.006
Espesor	m	0.022	0.020
Ancho del canal	m	0.38 m	
Largo del canal	m	2.50 m	
Profundidad del canal	m	1.10 m	

Cuadro 149. Dimensiones de la trampa de grasas instalada actualmente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aeróbica.

Parámetro	Valor (m)
Ancho del tanque	0.92
Largo del tanque	1.90
Profundidad	2.25

C. Cálculos de muestra

1. Estimación del caudal de diseño

a. Generación de agua residual de un restaurante convencional que forma parte del complejo comercial y residencial evaluado.²⁶

Se partió de los datos presentados en Anexos II, sección F, para el caudal habitual de aguas residuales provenientes de restaurantes convencionales. Se estimó la cantidad de clientes que frecuentan el establecimiento en cuestión y la comida que consumen.

$$\begin{aligned}
 Q, L/d &= (\text{clientes})(\text{valor habitual}, L/d) + (\text{comida})(\text{valor habitual}, L/d) \\
 Q &= (150)(34 L/d) + (150)(11 L/d) \\
 Q &= 6,750 L/d = 6.75 m^3/d
 \end{aligned}$$

b. Cantidad actual de usuarios y caudal de aguas residuales generado en el complejo comercial y residencial.

Con base en las estimaciones realizadas y los resultados obtenidos en el cálculo anterior, se hizo una sumatoria general de la cantidad de usuarios y del caudal generado por cada establecimiento, residencia o institución:

$$\begin{aligned}
 \text{Usuarios} &= \sum (\text{clientes}, \text{empleados}, \text{vehículos}, \text{baños}, \text{comida}, \text{personas}, \text{camas}) \\
 \text{Usuarios} &= 6,847 \\
 Q, m^3/d &= \sum (\text{caudal generado por: establecimientos comerciales}, \text{residencias e instituciones}) \\
 Q &= 152.31 m^3/d
 \end{aligned}$$

c. Porcentaje de uso actual de la planta de tratamiento de aguas residuales respecto a su capacidad instalada.

$$\% \text{ uso actual} = \left(\frac{\text{caudal promedio actual}, m^3/d}{\text{caudal de diseño actual}, m^3/d} \right) * 100\%$$

²⁶ El mismo cálculo se realizó para determinar el caudal de agua residual generado por cada establecimiento comercial, residencia e institución presentes en el complejo comercial y residencial, según datos presentados en el Anexo D.

Se utilizó el resultado de caudal obtenido y el dato de caudal de diseño presentado en la memoria técnica de la planta de aguas residuales:

$$\% \text{ uso actual} = \left(\frac{152.31 \text{ m}^3/\text{d}}{360 \text{ m}^3/\text{d}} \right) * 100\% = 42.31\%$$

d. Estimación del crecimiento poblacional del complejo comercial y residencial a una tasa del 5% y un plazo de 15 años.

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

$$P_f = 6847(1 + 0.05)^{2032 - 2017}$$

$$P_f = 14,234 \text{ usuarios}$$

e. Caudal de diseño proyectado a 15 años.

Se separó la población actual por tipo de usuario y se dividió por el total de usuarios para determinar el porcentaje que pertenece a cada tipo: ²⁷

$$\% \text{ usuarios tipo clientes} = \frac{\text{total usuarios clientes}}{\text{total de usuarios actual}} * 100$$

$$\% \text{ usuarios tipo clientes} = \frac{3525}{6847} * 100 = 51.48\%$$

Se multiplicó el porcentaje anterior por el total de usuarios proyectado: ²⁸

$$\text{usuarios tipo clientes proyectado a 15 años} = (\text{población proyectada})(\% \text{ usuarios tipo clientes})$$

$$\text{usuarios tipo clientes proyectado a 15 años} = (14234)(51.48\%)$$

$$\text{usuarios tipo clientes proyectado a 15 años} = 7,328$$

Se multiplicó la cantidad de usuarios determinada en el paso anterior por el dato típico de caudal de aguas residuales generado: ²⁹

$$Q, L/d = 7,328(34 L/d) = 249,152 L/d = 249.15 \text{ m}^3/d$$

²⁷El mismo procedimiento se siguió para cada tipo de usuario identificado.

²⁸El mismo procedimiento se siguió para cada tipo de usuario identificado.

²⁹El mismo procedimiento se siguió para cada tipo de usuario identificado.

Se sumaron todos los caudales generados por cada tipo de usuario, para la proyección de crecimiento a 15 años:

$$Q, m^3/d$$

$$= \sum (\text{caudal generado por usuarios cliente, empleados, vehículos, baños, comida, personas, camas})$$

$$Q = 452.64 m^3/d$$

Con base en el resultado anterior, se definió el caudal de diseño de la planta para el año 2032:

$$Q = 460 m^3/d$$

f. Porcentaje de crecimiento del caudal de diseño proyectado a 15 años, respecto al caudal de diseño actual proporcionado en el manual técnico de la planta de tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial.

$$\% \text{ crec.} = \left[\frac{(\text{caudal de diseño proyectado, } m^3/d) - (\text{caudal de diseño actual, } m^3/d)}{\text{caudal de diseño actual, } m^3/d} \right] * 100\%$$

$$\% \text{ crec.} = \left[\frac{(460 m^3/d) - (360 m^3/d)}{360 m^3/d} \right] * 100\% = 27.78\%$$

2. Dimensionamiento del canal de rejillas

a. Área útil en la zona de rejillas gruesas³⁰:

Utilizando las dimensiones del canal de rejillas actual y G=30%.

$$A_R = 0.38 m * \frac{0.03 m}{0.03 m + 0.005 m} * \left(1 - \frac{0.3}{100}\right)$$

$$A_R = 0.32 m^2$$

b. Pérdida de carga generada por la rejilla gruesa³¹, es decir, la diferencia de altura de la lámina de agua antes y después del paso por la rejilla.

Utilizando C=0.7 y velocidades aproximadas de paso.

$$h_L = \frac{1}{0.7} * \left(\frac{(0.8 m/s)^2 - (0.6 m/s)^2}{2(9.81 m/s^2)} \right)$$

³⁰ El mismo procedimiento se siguió para el cálculo de las rejillas finas

³¹ El mismo procedimiento se siguió para el cálculo de las rejillas finas

$$h_L = 0.020 \text{ m}$$

- c. Dimensionamiento de los barrotes de la rejilla gruesa³².

Se determinó el número de barrotes necesarios:

$$N = \frac{0.38 \text{ m} - 0.03 \text{ m}}{0.03 \text{ m} + 0.005 \text{ m}} = 10$$

Se calculó la longitud de cada barrote utilizando un ángulo de inclinación de 45°:

$$L_R = \frac{1.10 \text{ m}}{\sin 45^\circ} = 1.29 \text{ m}$$

3. Dimensionamiento de la trampa de grasas

- a. Volumen útil de la trampa de grasas:

Se estableció un tiempo de retención hidráulica de 3 minutos, a partir del flujo de entrada.

$$V = 460 \text{ m}^3/d \cdot 0.002d$$

$$V = 0.96 \text{ m}^3$$

- b. Dimensiones de la trampa de grasas:

Se fijó el ancho de la trampa en 0.6 m, y se mantuvo la relación ancho-largo (1:2) que posee el equipo actual instalado.

$$A = 0.6 \text{ m}$$

$$L = 2 \cdot 0.6 \text{ m} = 1.2 \text{ m}$$

Se utilizó el volumen útil para determinar la profundidad útil de la trampa:

$$V = L \cdot A \cdot P$$

$$P = \frac{V}{(L \cdot A)} = \frac{0.96 \text{ m}^3}{(0.6 \text{ m} \cdot 1.2 \text{ m})} = 1.33 \text{ m}$$

³² El mismo procedimiento se siguió para el cálculo de las rejillas finas

Entre el nivel de agua y el techo de la trampa se debe dejar una distancia mínima de seguridad de 0.30 m (ASIA, 2015), por tanto, la profundidad total del tanque será:

$$P = 1.33 \text{ m} + 0.37 \text{ m} = 1.70 \text{ m}$$

Dando como resultado, un volumen total de la trampa de grasas de:

$$V = 0.60 \text{ m} \cdot 1.20 \text{ m} \cdot 1.70 \text{ m} = 1.22 \text{ m}^3$$

4. Dimensionamiento del tanque homogeneizador

a. Volumen útil del tanque homogeneizador:

En una hoja de cálculo, se ingresaron los intervalos de tiempo y los caudales promedio horarios correspondientes a los mismos. Dichos datos fueron proporcionados por la medición de caudal realizada por una empresa certificada (ver Anexos II, sección A).

Para cada periodo de tiempo, se convirtió el caudal de agua residual en volumen horario de agua residual:

$$V = (0.0908 \text{ m}^3)(45 \text{ min}) = 4.0882 \text{ m}^{333}$$

Se calculó el volumen promedio de agua residual en el periodo de 24 horas:

$$V_{prom.} = \frac{\sum \text{volúmenes horarios}}{\text{No. intervalos}} = \frac{80.25 \text{ m}^3}{32} = 2.51 \text{ m}^3$$

Se calculó el volumen acumulado o drenado, restando el valor de volumen de cada intervalo con el promedio de las 24 horas:

$$4.09 \text{ m}^3 - 2.51 \text{ m}^3 = 1.58 \text{ m}^{334}$$

Se calculó el volumen acumulado a partir de los valores obtenidos en el paso anterior.

Se determinó el volumen necesario para almacenamiento, identificando los valores de volumen acumulado máximo y mínimo. La diferencia entre estos dos valores corresponde al volumen mínimo necesario del tanque de homogeneización.

³³ Volumen horario de agua residual para el primer intervalo. Se realizó el mismo cálculo para todos los intervalos de tiempo.

³⁴ Volumen drenado del primer intervalo de tiempo. Se realizó el mismo cálculo para todos los intervalos de tiempo.

$$\text{Valor máximo} = 15.5485 \text{ m}^3$$

$$\text{Valor mínimo} = -2.6593 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de almacenamiento necesario} = 15.5485 \text{ m}^3 - (-2.6593 \text{ m}^3) = 18.2078 \text{ m}^3$$

Se agregó un 10% de volumen de seguridad, debido a un posible crecimiento irregular del caudal de entrada.

$$V_{total} = 18.2078 \text{ m}^3 * 1.10 = 20.03 \text{ m}^3$$

b. Dimensiones del tanque de homogeneización:

Se fijó una profundidad del tanque de 1.5 m. Se estableció una relación ancho-profundidad de 2:1.

$$P = 1.5 \text{ m}$$

$$A = 1.5 \text{ m} * 2 = 3.0 \text{ m}$$

Se utilizó el volumen total para determinar el largo del tanque:

$$V = L \cdot A \cdot P$$

$$L = \frac{V}{(P \cdot A)} = \frac{20.03 \text{ m}^3}{(1.5 \text{ m} \cdot 3.0 \text{ m})} = 4.45 \text{ m} \approx 4.5 \text{ m}$$

5. Dimensionamiento del tanque de aireación

a. Velocidad de crecimiento de los organismos nitrificadores:

$$\mu_n = \left(\frac{\mu_{nm,T} N}{K_{n,T} + N} \right) \left(\frac{DO}{K_o + DO} \right) - k_{dn,T}$$

Donde:

DO =	2.00 g/m ³	Valor más utilizado	
N =	20.00 g/m ³	Concentración de nitrógeno requerida para el efluente	
μ _{nm,T} =	1.02 g/g d	Obtenido de cuadro 14	Corregidos por temperatura
K _{n,T} =	0.94 g/m ³	Obtenido de cuadro 14	
K _o =	0.50 g/m ³	Obtenido de cuadro 14	
k _{dn,T} =	0.10 g/g d	Obtenido de cuadro 14	

$$\mu_n = 0.69 \text{ d}^{-1}$$

- b. Tasa máxima de utilización del sustrato:

El valor Y_n se obtuvo del cuadro 14.

$$k = \frac{\mu_N}{Y_n} = \frac{0.69 \text{ d}^{-1}}{0.12 \text{ g VSS/g N}}$$

$$k = 5.72 \text{ d}^{-1}$$

- c. Factor de utilización U para el diseño requerido:

$$U = \left(\frac{1}{SRT} + k_d \right) \frac{1}{Y}$$

Se definió un tiempo de retención de sólidos (SRT) igual a 7 días. Los valores k_d y Y se tomaron del cuadro 14.

$$U = \left(\frac{1}{7 \text{ d}} + 0.10 \text{ g/g d} \right) \frac{1}{(0.12 \text{ g VSS/g N})} = 1.99 \text{ d}^{-1}$$

- d. Concentración de nitrógeno total en el efluente:

Se calculó la concentración de nitrógeno total en el efluente. K_N se obtuvo del cuadro 14.

$$N = \frac{K_N U}{k - U}$$

$$N = \frac{(0.94 \text{ g/m}^3) (1.99 \text{ d}^{-1})}{(5.72 \text{ d}^{-1}) - (1.99 \text{ d}^{-1})} = 0.50 \text{ g/m}^3 \text{ N}$$

- e. Tiempo de retención hidráulica requerido para la nitrificación:

$$\theta_N = \frac{N_0 - N}{UX}$$

Para esto, $N_0=72 \text{ mg/L}$, según caracterización del caudal de entrada, y $N=0.50 \text{ g/m}^3$, calculado en el paso anterior. X equivale a la concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla (SSLM), definidos en $4,000 \text{ mg/L}$. Para la etapa de nitrificación, X se corrige de la siguiente forma:

$$X = 4,000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot f_N \cdot \text{fracción volátil}$$

Donde:

$$f_N = \frac{0.16(N \text{ removida})}{0.6(\text{DBO}_5 \text{ removida}) + 0.16(N \text{ removida})}$$

Suponiendo una fracción volátil de 0.85:

$$X = 4,000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 0.0336 \cdot 0.85 = 114.29 \text{ mg/L}$$

Por consiguiente:

$$\theta_N = \frac{72 \text{ mg/L} - 0.50 \text{ mg/L}}{(1.99 \text{ d}^{-1})(114.29 \text{ mg/L})}$$

$$\theta_N = 0.32 \text{ d} = 7.55 \text{ h}$$

Se aproximó el resultado a 8 horas para el tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación.

f. Relación alimento-microrganismo (F/M):

En este caso, S_0 equivale a la concentración de DBO en el afluente, τ es el tiempo de retención hidráulica establecido en el paso e, y X equivale a 4,000 mg/L:

$$F/M = \frac{611 \text{ mg/L}}{(8 \text{ h})(4,000 \text{ mg/L})} = 0.46 \text{ d}^{-1}$$

g. Volumen del reactor:

Basadándose en la relación F/M calculada en el paso anterior:

$$V = \frac{(1656 \text{ m}^3/\text{d})(611 \text{ mg/L})}{(4,000 \text{ mg/L})(0.46 \text{ d}^{-1})}$$

$$V = 552.0 \text{ m}^3$$

h. Verificación de la tasa de carga orgánica volumétrica:

$$L_{org} = \frac{(1656 \text{ m}^3/\text{d})(611 \text{ mg/L})}{(552.0 \text{ m}^3)} = 1833 \frac{\text{mg DBO}_5}{\text{L d}}$$

i. Concentración de DBO en el efluente:

Asumiendo sBOD=3 mg/L y la fracción volátil VSS/TSS=0.85:

$$BOD_e = 3 \text{ mg/L} + \left(\frac{1 \text{ g BOD}}{1.42 \text{ g VSS}} \right) \left(\frac{0.85 \text{ g VSS}}{\text{g TSS}} \right) (100 \text{ mg/L})$$

$$BOD_e = 62.86 \text{ mg/L}$$

6. Sistema de aireación para el tanque aireador

a. Requerimientos totales de oxígeno:

$$R_o = Q(S_o - S) - 1.42 P_{X,bio} + 4.33Q(NO_x)$$

$\mu_m, T =$	8.1906	g/gd	Obtenido del cuadro 13
$k_d, T =$	0.1437	g/gd	Obtenido del cuadro 13
$K_s, T =$	20.0000	g/m ³	Obtenido del cuadro 13
$S =$	0.7252	gbCOD/m ³	
$S_o =$	977.6000	gbCOD/m ³	=1.6*DBO en el afluente
$NO_x =$	52.0000	gN/m ³	Diferencia entre la concentración de nitrógeno en el afluente y efluente
$P_x =$	377423.57	g VSS/d	

$$R_o = (1656 \text{ m}^3/\text{d})(977.6 \text{ gbCOD}/\text{m}^3 - 0.7252 \text{ gbCOD}/\text{m}^3) - 1.42(55,680.41 \text{ gVSS}/\text{d}) + 4.33(1656 \text{ m}^3/\text{d})(52 \text{ gN}/\text{m}^3)$$

$$R_o = 1,624,754.89 \text{ g}/\text{d} = 67.70 \text{ kg } O_2/\text{h}$$

b. Velocidad de transferencia estándar del oxígeno para un sistema de aireación con difusores:

Despejando para TETO:

$$TETO = TRTO \left(\frac{C_{s20}}{\beta C_{sTH} - C_L} \right) \left(\frac{1}{1.024^{T-20}} \right) \left(\frac{1}{\alpha} \right) \left(\frac{1}{F} \right)$$

$C_{s20} =$	9.08	mg/L	De tabla D-2 (Metcalf & Eddy, 2003)
$C_L =$	2	mg/L	Valor comúnmente utilizado
$\beta =$	0.95		Valor comúnmente utilizado
$\alpha =$	0.6		Valor comúnmente utilizado
$F =$	0.9		Valor comúnmente utilizado
$C_{sTH} =$	8.41	mg/L	
$TRTO =$	67.70	Kg O_2 /h	Calculado en el paso anterior

$$TETO = 170.48 \text{ kg } O_2/\text{h}$$

c. Flujo de aire:

$$Q_{aire} = \frac{TETO}{0.35(60min/h)(0.270 \text{ kg } O_2/m^3 \text{ aire})}$$

$$Q_{aire} = \frac{170.48 \text{ kg } O_2/h}{0.35(60min/h)(0.270 \text{ kg } O_2/m^3 \text{ aire})} = 30.07 \text{ m}^3/min$$

d. Soplador de aire:

Se calculó la potencia del soplador:

$$P_w = \frac{W_{aire}RT_1}{29.7ne} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

e =	0.80		Eficiencia típica de sopladores
n =	0.28	$n = (k - 1)/k$	
k =	1.40		
T1 =	293.15	K	Temperatura habitual del agua residual
R =	8.31	kJ/kmol K	
P1 =	84966.70	Pa	Presión atmosférica a la altitud de la planta
	0.84	atm	
P2 =	129111.70	Pa	Presión de salida del aire en los difusores
	1.27	atm	

$$P_w = 23.19 \text{ kW} = 31.10 \text{ HP}$$

D. Datos calculados

Cuadro 150. Generación de aguas residuales proveniente de la zona residencial.

Rubro	Valor	
Porcentaje desarrollado actualmente	30%	
Personas por vivienda	5	
Viviendas construidas actualmente	48	
Generación agua residual actual	40.8	m ³ /d
Generación agua residual proyectada	136	m ³ /d

Cuadro 151. Cantidad total de usuarios y generación de agua residual actual por tipo de usuario.

Tipo de usuario	Cantidad	Caudal agua residual (m ³ /d)	Porcentaje (%)
Cliente	3,525	85.58	51.48
Empleado	265	11.12	3.87
Vehículo	30	1.35	0.44
Baño	2	3.8	0.03
Comida	2,920	32.12	42.65
Persona	105	18.35	1.53

Cuadro 152. Porcentaje de usuarios por tipo de usuario y tipo de negocio.

	ES	B	GA	O	RC	RR	RB	CC	H	APTO	VV
Clientes	0	12%	0	0	34%	45%	9%	0	0	0	0
Empleado	4%	19%	11%	13%	0	0	0	38%	15%	0	0
Vehículo	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Baño	0	0	100%	0	0	0	0	0	0	0	0
Comida	0	0	0	0	41%	55%	4%	0	0	0	0
Persona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62%	38%

Cuadro 153. Cantidad de usuarios por tipo de usuario y tipo de negocio proyectado a 15 años.

	ES	B	GA	O	RC	RR	RB	CC	H	APTO	VV
Clientes	0	884	0	0	2,495	3,326	624	0	0	0	0
Empleado	21	104	62	73	0	0	0	208	83	0	0
Vehículo	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Baño	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Comida	0	0	0	0	2,495	3,326	249	0	0	0	0
Persona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	83

Cuadro 154. Generación de aguas residuales (m³/d) por tipo de usuario y tipo de negocio proyectado a 15 años.

	ES	B	GA	O	RC	RR	RB	CC	H	APTO	VV	Total
Clientes	0	9.72	0	0	84.82	76.51	6.86	0	0	0	0	177.91
Empleado	1.02	5.10	2.37	3.57	0	0	0	7.90	3.16	0	0	23.12
Vehículo	2.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.81
Baño	0	0	7.90	0	0	0	0	0	0	0	0	7.90
Comida	0	0	0	0	27.44	36.59	2.74	0	0	0	0	66.77
Persona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.68	12.47	38.15
Total												316.64

Cuadro 155. Dimensiones y parámetros de diseño del canal de rejillas de limpieza manual.

Parámetro	Unidad	Valor	
		Rejilla gruesa	Rejilla fina
Área útil de la rejilla	m ²	0.325	0.237
Número de barrotes	Unidades	10	24
Abertura entre barrotes	m	0.030	0.010
Pendiente respecto a la vertical	°	45	45
Tamaño de barrote			
Ancho	m	0.005	0.006
Espesor	m	0.022	0.020
Longitud	m	1.293	1.293
Pérdidas hidráulicas totales	m	0.041	
Ancho del canal	m	0.38 m	
Largo del canal	m	2.50 m	
Profundidad del canal	m	1.10 m	

Cuadro 156. Dimensiones y parámetros de diseño de la trampa de grasas y aceites.

Parámetro/Dimensión	Unidad	Valor
Tiempo de retención hidráulica	min	3
Volumen útil	m ³	0.96
Volumen total	m ³	1.22
Dimensiones del tanque		
Ancho	m	0.60
Largo	m	1.20
Profundidad	m	1.70

Cuadro 157. Datos obtenidos para el cálculo del tanque de homogeneización.

Intervalo	Caudal (m ³ /min)	Volumen horario (m ³)	Volumen horario drenado (m ³)	Volumen acumulado al final del periodo de tiempo (m ³)
1	0.0908	4.0882	1.5804	1.5804
2	0.0833	3.7476	1.2397	2.8201
3	0.0908	4.0882	1.5804	4.4006
4	0.0927	4.1734	1.6656	6.0661
5	0.0908	4.0882	1.5804	7.6466
6	0.0795	3.5772	1.0694	8.7159
7	0.0833	3.7476	1.2397	9.9557
8	0.0606	2.7255	0.2177	10.1733
9	0.0681	3.0662	0.5584	10.7317
10	0.0852	3.8327	1.3249	12.0566
11	0.0814	3.6624	1.1546	13.2112
12	0.0757	3.4069	0.8990	14.1102
13	0.0761	3.4256	0.9178	15.0280
14	0.0473	2.1293	-0.3785	14.6494
15	0.0757	3.4069	0.8990	15.5485
16	0.0473	2.1293	-0.3785	15.1699
17	0.0568	2.5552	0.0473	15.2173
18	0.0360	1.6183	-0.8896	14.3277
19	0.0189	0.8517	-1.6561	12.6716
20	0.0170	0.7665	-1.7413	10.9303
21	0.0132	0.5962	-1.9116	9.0187
22	0.0132	0.5962	-1.9116	7.1071
23	0.0151	0.6814	-1.8265	5.2806
24	0.0095	0.4259	-2.0820	3.1986
25	0.0151	0.6814	-1.8265	1.3722
26	0.0208	0.9369	-1.5709	-0.1988
27	0.0189	0.8517	-1.6561	-1.8549
28	0.0379	1.7034	-0.8044	-2.6593
29	0.0662	2.9810	0.4732	-2.1861
30	0.0511	2.2996	-0.2082	-2.3943
31	0.0852	3.8327	1.3249	-1.0694
32	0.0795	3.5772	1.0694	-1.1102E-14

Cuadro 158. Dimensiones y parámetros de diseño del tanque homogeneizador de caudal.

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen total	m ³	20.25
Dimensiones del tanque		
Ancho	m	3.00
Largo	m	4.50
Profundidad	m	1.50

Cuadro 159. Parámetros de diseño del tanque de aireación para llevar a cabo un proceso de crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno de tipo Ludzack-Ettinger Modificado (MLE).

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal de entrada	m ³ /d	1656
Relación F/M (alimento-microorganismo)	d ⁻¹	0.46
Sólidos suspendidos en el licor de mezcla (SSLM)	mg/L	4000
Tiempo de retención de sólidos (SRT)	d	7
Tiempo de retención hidráulica (τ)	h	8
Tasa de carga orgánica volumétrica (L_{org})	mg DBO ₅ /L·d	1833
Requerimiento total de oxígeno	kg O ₂ /h	67.70
Flujo de aire requerido	m ³ /min	30.04
Tasa máxima de crecimiento de microorganismos nitrificadores	d ⁻¹	0.69
Tasa máxima de utilización del sustrato	d ⁻¹	5.72

Cuadro 160. Volumen y dimensiones del tanque de aireación para llevar a cabo un proceso de crecimiento en suspensión con remoción de nitrógeno de tipo Ludzack-Ettinger Modificado (MLE).

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen útil	m ³	552.0
Volumen total	m ³	605
Dimensiones del tanque		
Ancho	m	10.0
Largo	m	11.0
Profundidad	m	5.5

NOTA: El tanque se diseñó con un 9% de volumen de seguridad adicional

E. Datos para el diseño del canal Parshall

Cuadro 161. Rango de caudales de operación en Canales Parshall.

Ancho de Garganta (W)		Caudal Q (L/s)	
pulg	cm	Mínimo	Máximo
3"	7.6	0.85	53.80
6"	15.2	1.52	110.40
9"	22.9	2.55	251.90
1'	30.5	3.11	455.60
1 ½'	45.7	4.25	696.20
2'	61.0	11.89	936.70
3'	91.5	17.26	1,426.30
4'	122.0	36.79	1,921.50
5'	152.5	62.80	2,422.00
6'	183.0	74.40	2,929.00
7'	213.5	115.40	3,440.00
8'	244.0	130.70	3,950.00
10'	305.0	200.00	5,660.00

Fuente: (Azevedo Netto, 1998)

Cuadro 162. Dimensiones típicas (cm) de Canales Parshall.

	W	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1"	2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9
3"	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7
6"	15.2	62.1	61.0	39.4	40.3	45.7	30.5	61.0	7.6	11.4
9"	22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	61.0	30.5	45.7	7.6	11.4
1'	30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
1 ½'	45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
2'	61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
3'	91.5	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
4'	122.0	183.0	179.5	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
5'	152.5	198.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
6'	183.0	213.5	209.0	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
7'	213.5	228.8	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
8'	244.0	244.0	239.2	274.5	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
10'	305.0	274.5	427.0	366.0	475.9	122.0	91.5	183.0	15.3	34.3

Fuente: (Azevedo Netto, 1998)

Cuadro 163. Valores del coeficiente λ y el exponente n para calcular el caudal que fluye por un Canal Parshall, en unidades métricas

W		λ	n
Pulg	cm		
3"	7.6	1.547	0.176
6"	15.2	1.580	0.381
9"	22.9	1.530	0.535
1'	30.5	1.522	0.690
1 ½'	45.7	1.538	1.054
2'	61.0	1.550	1.426
3'	91.5	1.566	2.182
4'	122.0	1.578	2.935
5'	152.5	1.587	3.728
6'	183.0	1.595	4.515
7'	213.5	1.601	5.308
8'	244.0	1.606	6.101

Fuente: (Azevedo Netto, 1998)

F. Datos habituales de caudales de agua residual doméstica

Cuadro 164. Caudales habituales de agua residual de origen residencial descargada a los sistemas de recolección.

Fuente	Unidad	Caudal, L/unidad-día	
		Intervalo	Valor habitual
Apartamento			
Nivel alto	Persona	130-280	190
Nivel medio	Persona	190-300	250
Hotel	Huésped	110-210	170
Residencia individual			
Vivienda nueva	Persona	170-340	170
Vivienda vieja	Persona	110-190	150
Casa de veraneo	Persona	100-190	150
Motel			
Con cocina	Unidad	340-680	380
Sin cocina	Unidad	280-570	360

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000)

Cuadro 165. Caudales habituales de agua residual de fuentes comerciales.

Fuente	Unidad	Caudal, L/unidad-día		
		Intervalo	Valor habitual	
Aeropuerto	Pasajero	8-15	11	
Apartamento	Persona	150-300	190	
Estación de servicio	Vehículo	30-57	45	
	Empleado	34-57	49	
Bar	Cliente	4-19	11	
	Empleado	38-61	49	
Posada	Persona	95-230	150	
Grandes almacenes	Baño	1500-2300	1900	
	Empleado	30-57	38	
Hotel	Huésped	150-230	190	
	Empleado	30-49	38	
Edificio industrial	Empleado	26-61	49	
Lavandería	Lavadora	1700-2500	2100	
	Lavado	170-210	190	
Oficina	Empleado	26-61	49	
Lavadero público	Usuario	11-23	19	
Restaurante (con baño)	Comida	8-15	11	
	Convencional	Cliente	30-38	34
	Comidas rápidas	Cliente	11-30	23
Bar	Cliente	8-15	11	
Centro comercial	Empleado	26-49	38	
	Parqueadero	4-11	8	
Teatro	Silla	8-15	11	

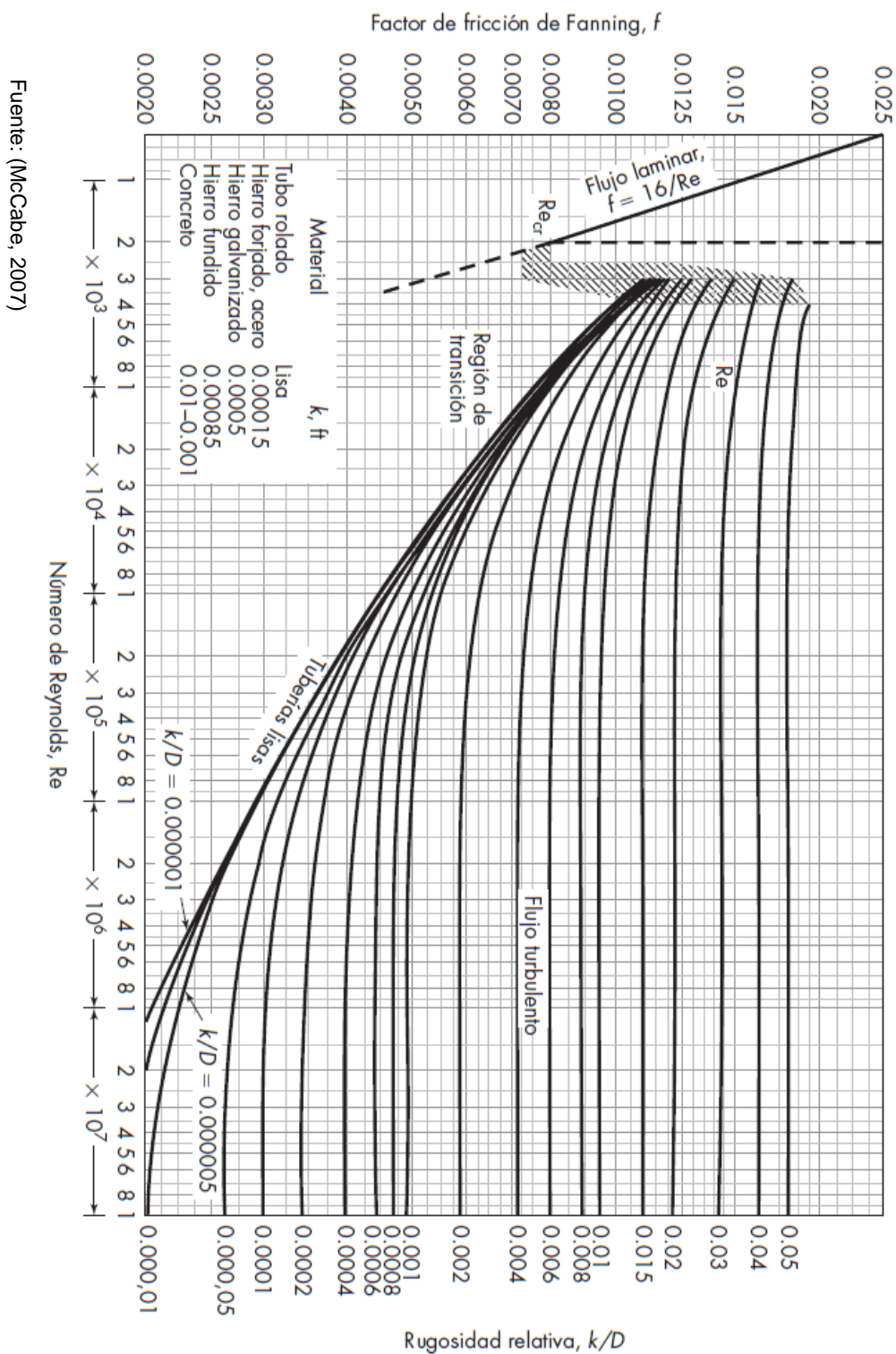
Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000)

Cuadro 166. Caudales habituales de agua residual de fuentes institucionales.

Fuente	Unidad	Caudal, L/unidad·día	
		Intervalo	Valor habitual
Salón de actos	Silla	8-15	11
Hospital	Cama	470-910	630
	Empleado	19-57	38
Hospital psiquiátrico	Cama	280-530	380
	Empleado	19-57	38
Prisión	Recluso	300-570	450
	Empleado	19-57	38
Asilo	Residente	190-450	340
	Empleado	19-57	38
Colegio diurno			
Con cafetería, gimnasio y duchas	Estudiante	57-110	95
Sólo con cafetería	Estudiante	38-76	57
Sin cafetería ni gimnasio	Estudiante	19-64	42
Colegio, internado	Estudiante	190-380	280

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000)

G. Factor de fricción para tuberías circulares



Fuente: (McCabe, 2007)

Figura 102: Gráfica del factor de fricción para tuberías circulares

H. Artículos competentes del Acuerdo Gubernativo 236-2006

Artículo 18. DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO. Los entes generadores, en el Estudio Técnico, deberán incluir la determinación de la demanda química de oxígeno, a efecto de establecer su relación con la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la siguiente fórmula: demanda química de oxígeno dividido entre la demanda bioquímica de oxígeno.

Artículo 21. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA ENTES GENERADORES NUEVOS. Los entes generadores nuevos deberán cumplir, desde el inicio de sus operaciones, con una meta de tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. En el caso de que el parámetro de calidad asociado sea igual o menor a cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

Adicionalmente, deberán cumplir los límites máximos permisibles de los parámetros siguientes:

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente se requiera un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, el ente generador deberá cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el presente artículo.

El ente generador nuevo que, por razones técnicas debidamente justificadas, requiera de un período de estabilización productiva, definirá en el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental la necesidad y etapas de ajuste consecutivas dentro del período de estabilización, el cual no excederá de seis meses, contados a partir del inicio de operaciones del ente generador. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, establecerá en la resolución aprobatoria del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, el plazo o plazos consecutivos de las etapas que fueren necesarias para dicho período de estabilización.

XIV. ANEXOS III

A. Datos originales

Cuadro 167. Límites máximos permisibles fijados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de la etapa cuatro para parámetros a utilizar en el diseño de los tratamientos terciario y cuaternario

Parámetro	Valor	Dimensionales
Sólidos suspendidos	100	mg/L
Nitrógeno total	20	mg/L N
Fósforo total	10	mg/L P
Coliformes fecales	<1x10 ⁴	NMP/100mL

Cuadro 168. Datos requeridos del afluente para diseñar los tratamientos terciario y cuaternario

Parámetro	Valor	Dimensionales
Caudal	460	m ³ /d
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	611	mg/L O ₂
Demanda química de oxígeno (DQO)	903	mg/L O ₂
Relación DQO/DBO ₅	1.48	-
Nitrógeno Total	72	mg/L N
Fosforo	8.4	mg/L P
Temperatura	24.6	°C

*En Anexos II, sección A, se encuentra una copia de los resultados completos de los análisis fisicoquímicos realizados a la planta de tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial estudiado.

Cuadro 169. Concentración de nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos y coliformes fecales en el efluente

Parámetro	Valor	Unidades
Nitrógeno total	78	mg/L N
Fósforo total	7.6	mg/L P
Sólidos suspendidos	350	mg/L
Coliformes fecales	35.0x10 ⁴	NMP/100mL

*En Anexos II, sección A, se encuentra una copia de los resultados completos de los análisis fisicoquímicos realizados a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales del complejo comercial y residencial.

Cuadro 170. Datos de diseño del tanque de aireación necesarios para dimensionar el tanque anóxico, clarificador secundario y calcular la remoción de fósforo

Parámetro	Valor	Dimensionales
Volumen	552	m ³
Tiempo de retención de sólidos (SRT)	7	d
Sólidos suspendidos en la mezcla de licor (MLSS)	4000	mg/L

Cuadro 171. Datos teóricos usados para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento terciario y cuaternario

Parámetro	Valor	Referencia	No. de Tabla
Tasa de recirculación interna (IR)	100 -200 %	Metcalf & Eddy, 2003	8-22
Tasa de recirculación de lodos activados (RAS)	50-100 %	Metcalf & Eddy, 2003	8-22
Rendimiento de crecimiento (Y)	0.4 g VSS/g bsCOD	Metcalf & Eddy, 2003	7-9
Decaimiento por respiración endógena (k _d)	0.1 g VSS/ g VSS*d	Metcalf & Eddy, 2003	7-9
Viscosidad cinemática (ν) del agua a 25°C	8.9x10 ⁻⁷ m ² /s	Rojas, 1999	5.4
Gravedad específica de los sólidos de lodos activados	1.25	Metcalf & Eddy, 2003	14-7
Gradiente de velocidad promedio (G)	1000 1/s	Metcalf & Eddy, 2003	5-10
Dosis de cloro	5 mg/L	Metcalf & Eddy, 2003	12-13

B. Cálculos de muestra

1. Tanque anóxico

- a. Constituyentes de la Demanda Química de Oxígeno (DBO)

$$bCOD = 1.6(611 \text{ g/m}^3) = 978 \text{ g/m}^3$$

$$rbCOD = 0.25(978 \text{ g/m}^3) = 244 \text{ g/m}^3$$

- b. Tasa de recirculación interna

$$IR = \frac{72 \text{ g/m}^3}{20 \text{ g/m}^3} - 1.0 - 0.6 = 2$$

- c. Caudal másico de alimentación de nitrato al tanque anóxico

$$Q_{nox} = \left[\left(2 * 460 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) + \left(0.6 * 460 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \right] * \frac{20 \text{ g}}{\text{m}^3} = 23,920 \frac{\text{g}}{\text{d}}$$

- d. Volumen del tanque anóxico

$$V_{nox} = 8.75 \times 10^{-2} \text{ d} * 460 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 40.45 \text{ m}^3$$

- e. Concentración de biomasa en la zona anóxica

$$X_b = \left[\frac{460 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} (7 \text{ d})}{552 \text{ m}^3} \right] \left[\frac{0.44 \frac{\text{g VSS}}{\text{g bCOD}} \left(978 \frac{\text{g bCOD}}{\text{m}^3} \right)}{1 + 0.1 \frac{\text{g VSS}}{\text{g VSS} * \text{d}} (7 \text{ d})} \right] = 1341 \text{ g VSS/m}^3$$

- f. F/M_b

$$\frac{F}{M_b} = \frac{460 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \left(611 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right)}{40.25 \text{ m}^3 \left(1341 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right)} = 5.20 \frac{\text{g BOD}}{\text{g biomosa} * \text{d}}$$

- g. Tasa de desnitrificación específica (SDNR)

(1) Fracción de rbCOD/bCOD:

$$\frac{rbCOD}{bCOD} = \frac{244 \text{ g/m}^3}{978 \text{ g/m}^3} = 0.25 = 25\%$$

La SDNR es de 0.44 g NO₃-N/ g biomasa·d.

(2) Corrección por IR:

$$SDNR_{adj} = 0.44 \frac{g NO_3 - N}{biomasa \cdot d} - 0.0166 \ln \left(5.20 \frac{g DBO}{biomasa \cdot d} \right) - 0.0078 = 0.40 \frac{g NO_3 - N}{biomasa \cdot d}$$

(3) Corrección por T:

$$SDNR_T = 0.40 \frac{g NO_3 - N}{biomasa \cdot d} (1.026)^{24.6-20} = 0.46 \frac{g NO_3 - N}{biomasa \cdot d}$$

h. Cantidad de nitrato removido

$$NO_r = (40.25 m^3) \left(0.46 \frac{g NO_3 - N}{biomasa \cdot d} \right) \left(1,341 \frac{g VSS}{m^3} \right) = 24,603 g NO_3 - N/d$$

(1) Comparación con el caudal másico de alimentación de nitrato al tanque anóxico

$$\%_{remoción} = \frac{(24,603 - 23,920) g NO_3 - N/d}{24,603 g NO_3 - N/d} = 3\%$$

i. Potencia requerida para el mezclado en el tanque anóxico

$$P = 13 \times 10^{-3} \frac{kW}{m^3} (40.25 m^3) = 0.52 kW$$

2. Remoción de fósforo

a. Constituyentes de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

$$bsCOD = 978 \frac{g bCOD}{m^3} - 244 \frac{g rbCOD}{m^3} = 733 g bsCOD/m^3$$

$$bpCOD = 978 \frac{g bCOD}{m^3} - 733 g \frac{bsCOD}{m^3} = 244 g bpCOD/m^3$$

b. Producción de biomasa

$$Biomasa\ producida = \left[\frac{0.44 \frac{g VSS}{g bsCOD}}{1 + 0.1 \frac{g VSS}{g VSS \cdot d} (7 d)} \right] * 244 \frac{g bpCOD}{m^3} = 57.51 g VSS/m^3$$

c. Concentración de fósforo removido

$$P_{\text{removido}} = 57.51 \frac{\text{g VSS}}{\text{m}^3} * 0.02 \frac{\text{g P}}{\text{g VSS}} = 1.15 \frac{\text{g P}}{\text{m}^3}$$

3. Clarificador secundario

a. Área superficial de sedimentación requerida

$$A = \frac{736 \text{ m}^3/\text{d}}{60 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}} = 12.27 \text{ m}^2$$

b. Caudal volumétrico de lodos de purga (Q_w)

$$Q_w = \frac{\left[\frac{(552 \text{ m}^3)(4000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3})}{7 \text{ d}} - \left(100 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right) \left(736 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) \right]}{9790 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} = 24.70 \text{ m}^3/\text{d}$$

c. Tasa de recirculación de lodos activados

$$Q_R = \frac{\left(4000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right) \left(460 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) - \left(9790 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right) \left(\frac{24.7 \text{ m}^3}{\text{d}}\right)}{9790 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 4000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} = 276 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$R = \frac{276 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{460 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 0.60$$

d. Caudal volumétrico del efluente del clarificado

$$Q_E = 736 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 276 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 24.70 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 435.30 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

e. Carga de sólidos en el clarificador secundario

$$SLR = \frac{(1 + 0.60) \left(460 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) \left[\frac{4000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}}}\right]}{12.27 \text{ m}^2} = 240 \text{ kg MLSS}/\text{m}^2\text{d}$$

f. Área superficial de sedimentación real

Datos proporcionados por proveedor:

$$A_{tp} = \frac{20 \text{ GPM}}{0.25 \text{ GPM}/\text{ft}^2} = 80 \text{ ft}^2 = 7.44 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{7.44 \text{ m}^2}{\cos(55^\circ)} = 12.97 \text{ m}^2$$

g. Velocidad promedio del fluido

$$v_o = \frac{736 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \left(\frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right)}{12.96 \text{ m}^2 \text{ seno}(55^\circ)} = 8.02 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

h. Número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{(8.02 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}})(0.05 \text{ m})}{8.93 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 45$$

i. Velocidad crítica de asentamiento

(1) Longitud relativa del sedimentador alta tasa

$$L = \frac{1.20 \text{ m}}{0.05 \text{ m}} = 24$$

(2) Longitud relativa para la región de transición

$$L' = 0.013(45) = 0.58$$

(3) Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo

laminar

$$L_c = 24 - 0.58 = 23.42$$

(4) Velocidad crítica de asentamiento

$$v_{cs} = \frac{(1) \left(8.02 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{\text{seno}(55^\circ) + (23.42)\cos(55^\circ)} = 5.62 \times 10^{-5} \text{ m/s} = 0.06 \text{ mm/s}$$

j. Tiempo de retención en placas

$$t_c = \frac{1.20 \text{ m}}{8.02 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)} = 25 \text{ min}$$

k. Velocidad de asentamiento de la partícula

$$v_s = \frac{(1250 - 1000) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (3.35 \times 10^{-14} \text{ m}^3) (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}{3\pi \left(8.90 \times 10^{-4} \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2} \right) (4 \times 10^{-5} \text{ m})} = 2.45 \times 10^{-4} \text{ m/s} = 0.24 \text{ mm/s}$$

4. Cámara de contacto

- a. Tiempo de retención hidráulico requerido

$$t_o = \frac{30 \text{ min}}{0.7} = 42.86 \text{ min}$$

- b. Volumen de la cámara de contacto

$$V = \left(46.86 \text{ min} * \frac{1 \text{ d}}{1440 \text{ min}} \right) \left(435 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) = 12.95 \text{ m}^3$$

- c. Dimensiones del tanque de contacto

La relación que se encontró fue de $L=40W$ y se recomienda utilizar $H=3W$.

$$V = LWH = (3W)(40W)(W) = 120W^3$$

La cámara de contacto se diseñó con 5 canales:

$$W = \frac{(12.95 \text{ m}^3)^{\frac{1}{3}}}{120} = 0.48 \text{ m}$$

$$H = 3(0.48 \text{ m}) = 1.43 \text{ m}$$

$$L = \frac{40(0.48 \text{ m})}{5} = 3.8 \text{ m}$$

- d. Energía requerida para el mezclado.

$$P = \frac{\left[\left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)^2 \left(8.90 \times 10^{-4} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right) (0.32 \text{ m}^3) \right]}{1000 \text{ W}} = 0.28 \text{ kW}$$

- e. Calibración del dosificador

$$M = \frac{\left(5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \left(453 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \right)}{0.05 \frac{\text{g Cl}_2}{\text{mL}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}}} = 1.81 \text{ L/h}$$

5. Equipos auxiliares

- a. Turbina de discos

Considerando H y $D_t = 0.80 \text{ m}$:

$$D_a = \frac{1}{3}(0.80 \text{ m}) = 0.27 \text{ m}$$

$$j = \frac{1}{12}(0.80 \text{ m}) = 0.07 \text{ m}$$

$$E = \frac{1}{3}(0.80 \text{ m}) = 0.27 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{5}(0.27 \text{ m}) = 0.05 \text{ m}$$

$$L = \frac{1}{4}(0.27 \text{ m}) = 0.07 \text{ m}$$

Se realizó el mismo cálculo para la turbina de chuchillas inclinadas.

b. Diámetro interno de la tubería para la corriente de salida del agua en el clarificador secundario que se dirige a la cámara de mezclado

$$A = \frac{\pi}{4}d^2 = \frac{Q}{v}$$

$$d = \sqrt{\frac{4(5.03 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(1.2 \frac{\text{m}}{\text{s}})\pi}} = 0.073 \text{ m} = 73 \text{ mm}$$

Se realizó el mismo cálculo para determinar el diámetro interno de las demás tuberías.

c. Potencia de la bomba para la recirculación de lodos activados al tanque anóxico

$$\frac{P_a}{\rho} + gZ_a + \frac{v_a^2}{2} + \eta W_p = \frac{P_b}{\rho} + gZ_b + \frac{v_b^2}{2} + h_f$$

Se utilizaron los siguientes datos:

- Caudal: 276 m³/d
- Presión: ambos tanques están abiertos a la atmósfera
- Densidad: la densidad de los lodos activados es de 1005 kg/m³
- Altura: la descarga de los lodos activados en el clarificador se da a 0.5 m del nivel del suelo y el tanque anóxico tiene una altura de 3.63 m, considerando la altura total de construcción
- Velocidad: la velocidad en la entrada de la bomba es de 0.7 m/s y en la salida de 1.4 m/s
- Pérdidas por fricción: se consideró un largo de tubería de 6.45 m con dos válvulas de compuerta y cuatro codos a 90°.
- Eficiencia de la bomba: 50% para bombas centrifugas de vórtice

$$\begin{aligned} \eta W_p &= \left[\frac{(85370 - 85370) \text{ Pa}}{1005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right] - \left[9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (3.13 - 0) \text{ m} \right] - \left[\frac{(1.4^2 - 0.7^2) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2} \right] + 6.15 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \\ &= 37.59 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} * 3.21 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 120.66 \text{ W} \end{aligned}$$

$$W_p = \frac{120.66 W}{0.5} = 241.33 W = 0.32 hp$$

Se realizó el mismo cálculo para la purga de lodos activados al digestor anóxico tomando en cuenta que el bombeo se realizará en dos horas. ³⁵

C. Datos calculados

Cuadro 172. Cálculos intermedios para el dimensionamiento del tanque pre-anóxico de la planta de tratamiento aeróbico

Parámetro	Valor	Unidades
Demanda química de oxígeno biodegradable (bCOD)	978	g/m ³
Demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable (rbCOD)	244	g/m ³
Caudal másico de alimentación de nitrato (Q _{nox})	23,920	g/d
Concentración de biomasa en la zona anóxica (X _b)	1,341	g VSS/m ³
F/M _b	5.20	g DBO/g biomasa·d
rbCOD/bCOD	25	%
SDNR _{IRI}	0.44	g NO ₃ -N/g biomasa·d
SDNR _{ADJ}	0.40	g NO ₃ -N/g biomasa·d
Nitrato removido (NO _r)	24,603	g/d

Cuadro 173. Cálculos intermedios para la remoción de fósforo

Parámetro	Valor	Unidades
Demanda química de oxígeno biodegradable soluble (bsCOD)	733	g/m ³
Demanda química de oxígeno biodegradable particulada (bpCOD)	244	g/m ³
Biomasa producida	57.51	g VSS/m ³

³⁵ Todos los cálculos se explican en la sección de Metodología

Cuadro 174. Cálculos intermedios para el dimensionamiento del clarificador secundario de tipo alta tasa con placas inclinadas

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal de lodos activados de descarga (Q_W)	24.70	m ³ /d
Caudal de recirculación de lodos activados (Q_R)	276.00	m ³ /d
Caudal de efluente (Q_E)	435.28	m ³ /d
Área total proyectada de sedimentación a partir de datos de proveedor	7.44	m ²
Número de Reynolds	45	-
Longitud relativa del sedimentador (L)	24	-
Longitud relativa para la región de transición (L')	0.58	-
Longitud relativa del sedimentador en flujo laminar (Lc)	23.42	-

Cuadro 175. Cálculos intermedios para los diámetros de tuberías de PVC de las corrientes de salida de los tratamientos terciario y cuaternario

Parámetro		Diámetro	Diámetro	Velocidad	Largo
		interno (mm)	nominal (mm / in)	lineal (m/s)	(m)
Tubería de recirculación de lodos activados al tanque anóxico	Entrada a bomba	76.22	82 / 3	0.70	1.00
	Salida de bomba	53.90	60 / 2	1.40	5.50
Tubería de purgado de lodos activados al digestor anaerobio	Entrada a bomba	78.99	82 / 3	0.70	1.0
	Salida de bomba	55.85	60 / 2	1.40	24.5
Tubería del tanque anóxico al tanque de aerobio		110.46	114 / 4	2.00	7.50
Tubería del clarificador secundario a la cámara de mezclado		73.09	82 / 3	1.20	2.50

Cuadro 176. Cálculos intermedios para la potencia de la bomba centrífuga de tipo vórtice

Parámetro	Recirculación de lodos activados al tanque anóxico	Purga de lodos activados al digestor anaeróbico
Pa	85,370 Pa	85,370 Pa
Pb	85,370 Pa	88,870 Pa
Za	0 m	0 m
Zb	3.13 m	3.5 m
Coeficiente de rigidez (η)*		0.01 kg/m·s
Esfuerzo cortante (s_y)*		4 N/m ²
Sólidos Totales**		0.8 – 2.5 %
Número de Reynolds	7583	7859
Número de Hedstrom	116,789	125,421
Factor de fricción		0.01
Accesorios	2 válvulas de compuesta 4 codos de 90°	2 válvulas de compuesta 6 codos de 90° 1 división en T
Flujo másico	3.21 kg/s	3.45 kg/s
Carga Total	3.83 m	5.62 m
Potencia	0.24 kW (0.32 hp)	0.32 kW (0.5 hp)

*Obtenido a partir de la Figura 14.6 en Metcalf & Eddy

**Obtenido a partir de la Tabla 14-8 en Metcalf & Eddy

D. Ficha técnica de varios modelos de clarificador secundario de alta tasa con placas inclinadas de la cual se seleccionó el HQI-CLA-84LP



Inclined Plate Clarifiers

LP & LP-Q MODELS

- Lower installed cost
- Easily installed indoors
- Minimal start-up/restart time
- Lower maintenance costs
- Occupies less floor space
- Minimal field labor required to install



The Hydro Quip Inclined Plate Clarifiers are designed and manufactured to provide for the precipitation and separation of suspended solids. Our design employs the use of a series of plates inclined at an angle of 45° or 55°. This specialized design allows the unit to perform all of the functions of a conventional solids contact clarifier at a fraction of the space and cost.

LP Model: separation of suspended solids from water

LP-Q Model: separation of suspended solids and trace amounts of oil in water

INLET COMPARTMENT

The inlet compartment receives the raw water from the process. After entering through the non-clogging inlet nozzle, the water in the LP model is dispersed evenly through the chamber.

In the LP-Q model, the water enters the quiescent zone. This area disperses the energy and evenly distributes the flow. A skimmer is provided to decant the oil to a separate tank.

SEPARATION CHAMBER

The raw water from the inlet chamber passes down under the plate pack skirt and moves upwards toward the plate pack. As the water moves upwards, the suspended particles have their upward velocity interrupted by the inclined plates. These particles drop down and slide down the inclined plate and join larger previously settled particles in the sludge hopper. Individual plates are easily installed and removed.

SLUDGE CHAMBER

The sludge chamber collects the solids as they fall. The sludge hopper is sloped at a minimum 45° angle to concentrate the sludge and avoid bridging.

CLEAN WATER CHAMBER

The clarified water exits the top of the plates and flows into the effluent trough. From this point the clarified effluent flows by gravity and exits the unit through the effluent nozzle.

PERFORMANCE

- Excellent separation of suspended solids
- Up to 1200 sq ft of projected plate surface area
- Effective separation of hard to settle solids
- Ability to produce up to 3% – 5% concentrated sludge

TECHNICAL FEATURES

- Individual removable polypropylene or stainless steel plates
- Stainless steel or coated carbon steel tanks

- Complete shop assembly
- Adjustable effluent weir
- Oil skimming connections
- Inspection hatch/ window
- Sample ports

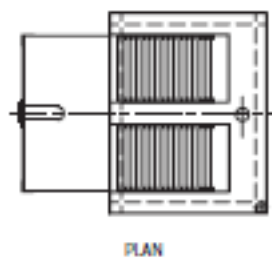
**OPTIONAL EQUIPMENT/
FEATURES**

The inclined plate clarifier is available with a number of different options such as:

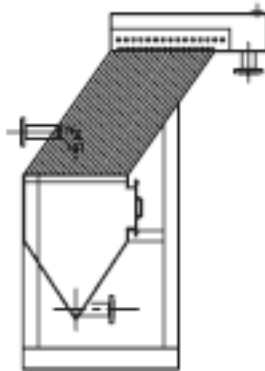
- Access Platform and Ladder (or Stairs)
- Cover
- Flash Mixer Chamber with Mixer

- Flocculation Tank with Slow Speed Mixer
- Instrumentation / Controls
- Chemical Feed Equipment
- Sludge Handling and Dewatering
- Concrete Tank Designs

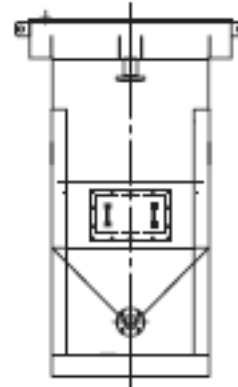
LP MODEL



PLAN



RIGHT SIDE VIEW



ELEVATION

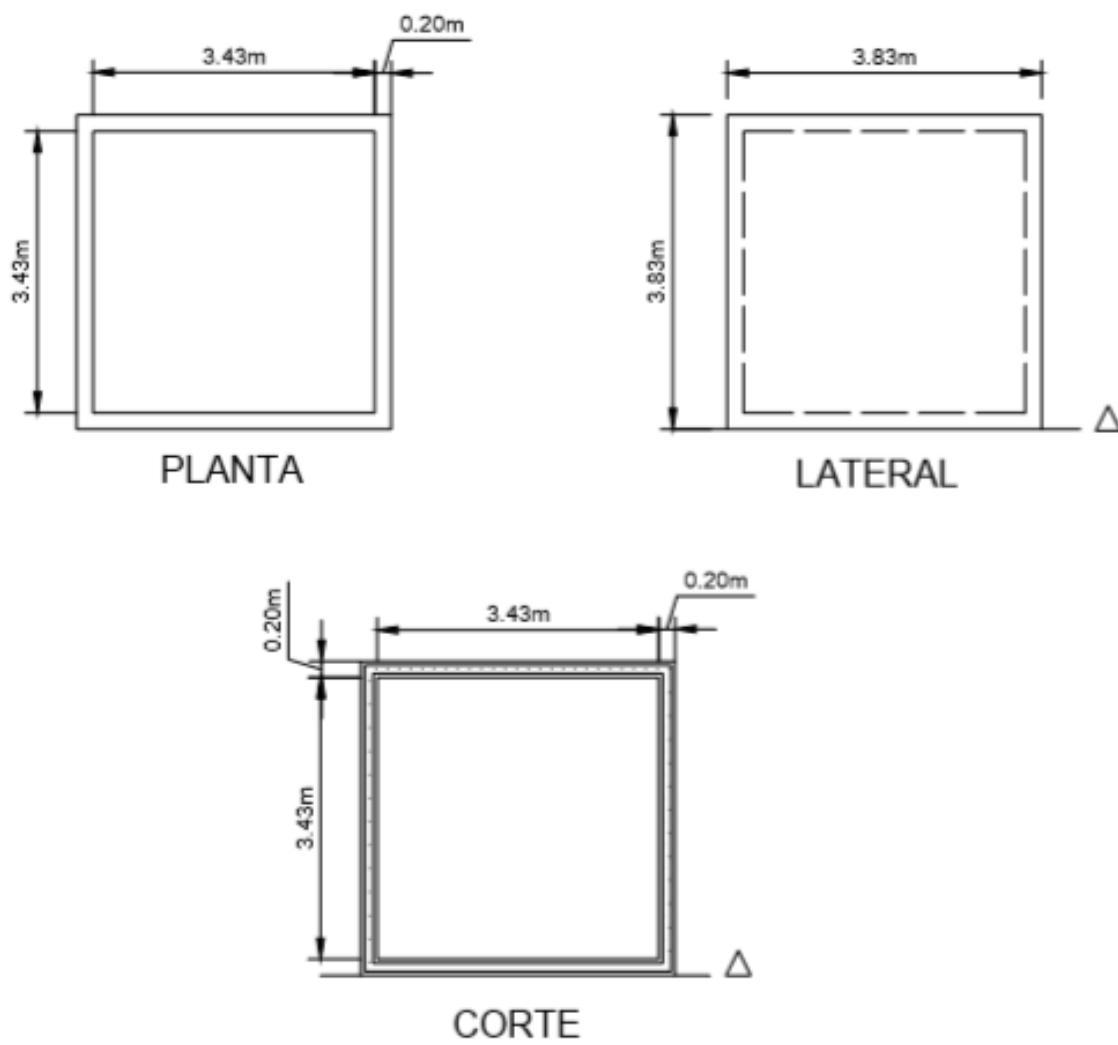
SPECIFICATIONS

*Dimensions are approximate and may vary depending on your application.

** Flow rates are based on 0.25 GPM per square foot of projected plate surface area.

LP Model	Number of Plates	Length	Width	Height	Flow Rate (GPM)
HQI-CLA-20LP	11	3'-0"	2'-8"	5'-0"	5
HQI-CLA-40LP	18	3'-10"	3'-0"	5'-4"	10
HQI-CLA-60LP	18	3'-10"	4'-0"	5'-9"	15
HQI-CLA-84LP	19	5'-6"	4'-6"	7'-7"	20
HQI-CLA-125LP	21	5'-6"	4'-6"	8'-0"	32
HQI-CLA-200LP	29	6'-8"	4'-6"	9'-0"	50
HQI-CLA-266LP	29	7'-0"	5'-6"	9'-4"	65
HQI-CLA-333LP	39	7'-8"	5'-6"	9'-4"	83
HQI-CLA-400LP	44	8'-6"	5'-6"	9'-4"	100
HQI-CLA-500LP	44	8'-6"	6'-6"	9'-4"	125
HQI-CLA-600LP	42	9'-0"	6'-6"	10'-10"	150
HQI-CLA-700LP	39	8'-10"	7'-6"	12'-0"	175
HQI-CLA-800LP	45	9'-4"	7'-6"	12'-0"	200
HQI-CLA-1000LP	50	10'-8"	7'-6"	13'-0"	250
HQI-CLA-1200LP	59	11'-6"	8'-6"	13'-6"	300

Figura 103. Vista de planta, lateral y corte del tanque anóxico



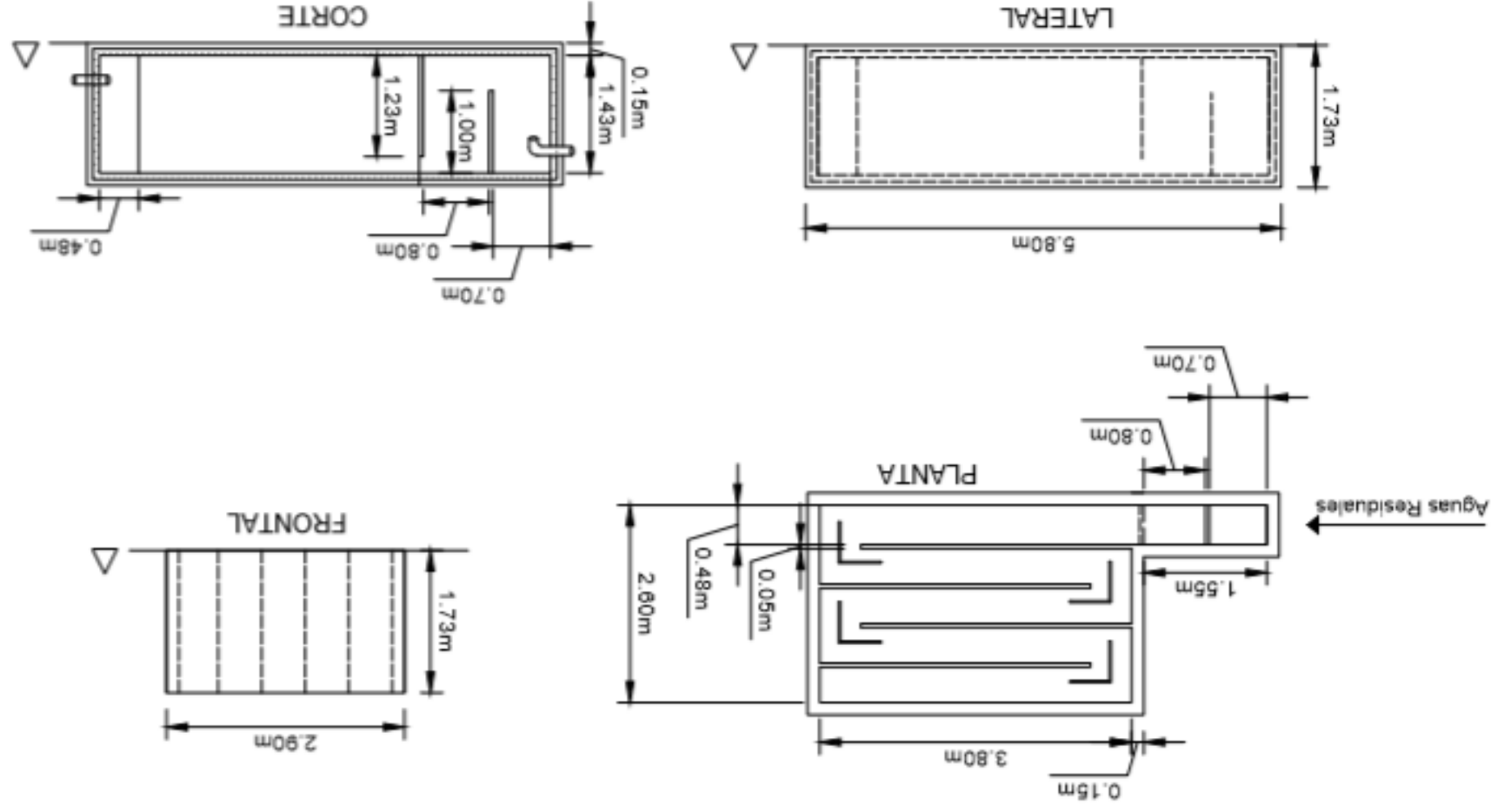


Figura 104. Vista de planta, lateral, frontal y corte de la unidad de desinfección

XV. ANEXOS IV

A. Valores generales para las partículas del sedimentador primario

Cuadro 177. Parámetros para la determinación de la velocidad de arrastre del tanque sedimentador primario.

Descripción	Valor	Unidades
Diámetro de partícula	100×10^{-6}	m
Constante de cohesión	0.05	-
Gravedad específica	1.25	-
Factor de fricción de Darcy-Weisbach	0.025	-
Velocidad cinemática	1.003×10^{-6}	-

B. Datos generales del consumo energético en Guatemala

Cuadro 178. Densidad de consumo por usuario para el 2016 para EEGSA.

Descripción	Valor	Unidades
Promedio general	323	kWh-mes
Promedio residencial	151	kWh-mes
Promedio comercial	6149	kWh-mes
Promedio industrial	101226	kWh-mes

Fuente: (CNEE, 2016)

C. Datos empleados para el cálculo de bombas y tuberías

Cuadro 179. Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios de tubería.

Accesorio	K_f
Codo estándar	
45°	0.35
90°	0.75
T	
En líneas rectas	0.4
Usados como codo	1.0
Retorno, 180°	1.5
Válvula de compuerta	
Semiabierta	4.5
Completamente abierta	0.17
Válvula de ángulo, completamente abierta	2.0
Válvula de globo, completamente abierta	6.0

Fuente: (McCabe, 2002)

D. Cálculos de muestra

1. Caudal de diseño

a. Generación de agua residual de un restaurante convencional que forma parte del complejo comercial y residencial evaluado.

Se partió de los datos teóricos para el caudal habitual de aguas residuales provenientes de restaurantes convencionales. Se estimó la cantidad de clientes que frecuentan el establecimiento en cuestión y la comida que consumen.

$$Q = (\text{clientes})(\text{valor habitual}) + (\text{comida})(\text{valor habitual})$$

$$Q = (150) \left(34 \frac{L}{d} \right) + (150) \left(11 \frac{L}{d} \right)$$

$$Q = 6750 \frac{L}{d} = 6.75 \frac{m^3}{d}$$

b. Cantidad actual de usuarios y caudal de aguas residuales generado en el complejo comercial y residencial.

Con base en las estimaciones realizadas y los resultados obtenidos en el anterior, se hizo una sumatoria general de la cantidad de usuarios y del caudal generado por cada comercio, residencia o institución.

$$\text{Usuarios} = \sum (\text{clientes, empleados, vehículos, baños, comida, personas, camas})$$

$$\text{Usuarios} = 6847$$

$$Q = \sum (\text{caudal generado por: establecimientos comerciales, residencias e instituciones})$$

$$Q = 152.31 \frac{m^3}{d}$$

c. Estimación del crecimiento poblacional del complejo comercial y residencial a una tasa del 5% anual en un plazo de 15 años.

La estimación se efectuó empleando los valores del censo efectuado para el presente año.

$$P_f = 6847 \text{ habitantes} (1 + 0.05)^{2032-2017}$$

$$P_f = 14234 \text{ habitantes}$$

d. Caudal de diseño proyectado a 15 años. Se separó la población actual por tipo de usuario y se dividió por el total de usuarios para determinar el porcentaje que pertenece a cada tipo.

$$\% \text{ usuariostipoclientes} = \frac{\text{totalusuariosclientes}}{\text{totaldeusuariosactual}} * 100$$

$$\% \text{ usuariostipoclientes} = \frac{3525}{6847} * 100 = 51.48\%$$

Se multiplicó el porcentaje anterior por el total de usuarios proyectado.

$$\text{usuariostipoclientesproyectado a 15 años} = (\text{poblaciónproyectada})(\% \text{ usuariostipoclientes})$$

$$\text{usuariostipoclientesproyectado a 15 años} = (14234)(51.48\%)$$

$$\text{usuariostipoclientesproyectado a 15 años} = 7328$$

Se multiplicó la cantidad de usuarios determinada en el paso anterior por el dato típico de caudal de aguas residuales generado.

$$Q = 7328 \left(34 \frac{L}{d} \right) = 249,152 \frac{L}{d} = 249.15 \frac{m^3}{d}$$

Se sumaron todos los caudales generados por cada tipo de usuario, para la proyección de crecimiento a 15 años.

$$Q = \sum (\text{caudal generado por usuarios cliente, empleados, vehículos, baños, comida, personas, camas})$$

$$Q = \frac{452.64 m^3}{d}$$

Con base en el resultado anterior, se definió el caudal de diseño de la planta para el año 2032. El caudal de diseño de la planta es el 50% del caudal proyectado.

$$Q = \frac{460 m^3}{d}$$

$$Q = 230 \frac{m^3}{d}$$

2. Rejillas de limpieza manual

a. Determinación de la velocidad del agua residual en el canal de entrada. Se calculó el área del canal de entrada y se despejó:

$$v = \frac{2.66 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{(0.84 m^2)}$$

$$v = 3.14 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

b. Número de barrotes en la caja de rejillas de limpieza manual instalada en la entrada de la planta de tratamiento anaerobia.

Se calculó el número de barras necesarias para la primera caja de rejillas.

$$N = \frac{0.770 mm - 0.025 mm}{0.015 mm + 0.025 mm}$$

Se efectuó el mismo procedimiento para conocer la cantidad de barrotes necesarios para el segundo sistema de rejillas propuesto.

3. Trampa de grasas

a. Tiempo de residencia hidráulico del agua a través de la trampa de grasas y aceites. Se determinó el volumen de la trampa con medidas de 1.00 metro de largo, 1.00 metro de ancho y 0.50 metros de profundidad y usando el caudal de diseño obtenido en el punto 1d:

$$TRH = \frac{0.50 m}{230 m^3/d}$$

$$TRH = 2.17 \times 10^{-3} d$$

Convirtiendo a unidades más convenientes,

$$TRH = 2.17 \times 10^{-3} d \left(24 \frac{h}{d}\right) \left(60 \frac{min}{h}\right) = 3.13 min$$

4. Sedimentador primario

a. Área superficial necesaria para la sedimentación de las partículas. Se empleó el caudal a máxima ocupación determinado y la carga superficial más común para sedimentadores primarios según Metcalf & Eddy, 2003:

$$A = \frac{230 \frac{m^3}{d}}{40 \frac{m^3}{m^2 d}}$$

$$A = 5.75 m^2$$

b. Estimación del tiempo de retención hidráulico del agua dentro del sedimentador primario. Se determinó el diámetro y el volumen requerido para el tanque a partir del área superficial. Posteriormente se procedió a estimar el tiempo de retención necesario para llevar a cabo la sedimentación.

$$TR = \frac{23.00 m^3}{230 \frac{m^3}{d}}$$

$$TR = 0.1 d \left(24 \frac{h}{d} \right) = 2.40 h$$

c. Velocidad de arrastre. Se determinó la velocidad máxima que puede tener el agua que ingresa al sedimentador.

$$v_H = \left(\frac{8(0.05)(1.25 - 1) \left(\frac{9.8 m}{s^2} \right) (0.0001 m)}{0.025} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$v_H = 0.062 \frac{m}{s}$$

d. Determinación del porcentaje de remoción de la demanda biológica de oxígeno y los sólidos suspendidos totales efectuada por el sedimentador circular.

Para el cálculo de la remoción de materia orgánica se emplearon constantes empíricas.

$$R_{DBO} = \frac{t}{a + bt}$$

$$R_{DBO} = \frac{2.40 h}{0.018 + 0.02(2.50 h)}$$

$$R_{DBO} = 36.36\%$$

$$R_{SST} = \frac{t}{a + bt}$$

$$R_{SST} = \frac{2.40 h}{(0.0075) + (0.014)(2.40 h)}$$

$$R_{SST} = 58.39\%$$

5. Filtro anaerobio

a. Volumen del filtro anaerobio propuesto para la planta de tratamiento de agua.

$$V = \left(230 \frac{m^3}{d}\right) (8 h)$$

$$V = 38.33 m^3$$

Se dividió el volumen dentro de dos unidades para obtener tanques de menor tamaño que aprovecharan de mejor forma el área actual de la planta de tratamiento anaerobia.

$$V = \frac{38.33 m^3}{2} = 19.17 m^3$$

b. Altura del filtro anaerobio propuesto para la planta de tratamiento de agua. Todos los valores que componen la ecuación, son valores elegidos arbitrariamente según lo que indica la teoría.

$$H = 1.00m + 1.50m + 0.5m$$

$$H = 3.00 m$$

c. Determinación de la carga orgánica volumétrica del agua residual. Se calcularon dos cargas orgánicas, la primera para el filtro anaerobio completo y la segunda para el medio filtrante, específicamente. El valor de la DBO empleada hace referencia a la demanda biológica luego de haber pasado por el sedimentador.

$$L_{org1} = \frac{\left(230 \frac{m^3}{d}\right) \left(0.388 \frac{kg DBO}{m^3}\right)}{19.17 m^3}$$

$$L_{org1} = 4.67 \frac{kg DBO}{m^3 d}$$

$$L_{org2} = \frac{\left(230 \frac{m^3}{d}\right) \left(0.388 \frac{kg DBO}{m^3}\right)}{9.58 m^3}$$

$$L_{org2} = 9.33 \frac{kg DBO}{m^3 d}$$

d. Determinación de la eficiencia de limpieza del filtro anaerobio calculado. Se procedió a obtener el valor de la eficiencia del equipo. Se utiliza la mitad del tiempo de residencia establecido anteriormente por tener dos tanques que trabajan en serie.

$$E = 100[1 - 0.87(4 h)^{-0.5}]$$

$$E = 56.50\%$$

e. Estimación de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST) en el afluente del filtro anaerobio.

$$DBO = \left(388.82 \frac{mgDBO}{L}\right) - \frac{(56.50) \left(388.82 \frac{mgDBO}{L}\right)}{100}$$

$$DBO = 169.14 \frac{mgDBO}{L}$$

$$SST = \left(83.21 \frac{mgSST}{L}\right) - \frac{(56.50) \left(83.21 \frac{mgSST}{L}\right)}{100}$$

$$SST = 36.20 \frac{mgDBO}{L}$$

f. Determinación del volumen ocupado por un mol de gas. Usando la ecuación de los gases ideales se determinó el volumen del gas producido en la digestión anaerobia del agua.

$$V = \frac{(1 \text{ mol}) \left(0.082057 \frac{atm L}{mol K}\right) (298.15 \text{ K})}{1.0 \text{ atm}}$$

$$V = 24.47 \frac{L}{mol}$$

g. Metano producido por unidad de DQO convertido bajo condiciones anaerobias. A partir del cálculo anterior, se estimó la cantidad de metano producido. Según Metcalf & Eddy, 2003, se sabe que el DQO de un mol de CH₄ es igual a 64 g.

$$V = 24.47 \frac{L}{mol} \left(\frac{mol}{64 \text{ g DQO}}\right) = 0.38 \frac{L CH_4}{g DQO}$$

h. Tasa de producción del metano y del gas en el filtro anaerobio. Se multiplicó de DQO del afluente por la eficiencia del filtro anaerobio obtenida, para determinar la carga orgánica en el efluente del filtro.

$$V = 0.38 \frac{L CH_4}{g DQO} \left(392.81 \frac{g DQO}{m^3} \right) \left(230 \frac{m^3}{d} \right) \left(\frac{kg}{1000 g} \right) = 34.54 \frac{m^3 CH_4}{d}$$

El contenido de metano en el gas oscila entre el 60 y 70%. Se tomó un valor de 65% de contenido de metano en el gas para determinar el volumen total de gas producido.

$$V = \frac{34.54 \frac{m^3 CH_4}{d}}{0.65 \frac{m^3 CH_4}{m^3 gas}}$$

$$V = 53.13 \frac{m^3 gas}{d}$$

i. Contenido de energía en el metano producido. A partir del volumen ocupado por un mol de gas a 25 °C se obtuvieron los moles de metano producidos por día.

$$\frac{mol CH_4}{día} = \frac{34.54 \frac{m^3 CH_4}{d}}{\left(24.47 \frac{L}{mol} \right) \left(\frac{m^3}{1000L} \right)} = 1411.64$$

Convirtiendo a unidades de masa

$$1411.64 \frac{mol CH_4}{día} \left(16 \frac{g CH_4}{mol CH_4} \right) = 22586.29 \frac{g CH_4}{d}$$

$$Contenido\ energético = 22586.29 \frac{g CH_4}{d} \left(50.1 \frac{kJ}{g} \right) = 13.10 \frac{kJ}{d}$$

6. Tuberías

a. Determinación del diámetro de tubería necesario para el metano producido en el filtro anaerobio. Se determinó el área necesaria para la tubería. Se utilizó la velocidad lineal del gas metano.³⁶

$$A = \frac{53.13 \frac{m^3 gas}{d} \left(\frac{d}{24 h} \right) \left(\frac{h}{3600 s} \right)}{3.5 \frac{m}{s}}$$

$$A = 1.76 \times 10^{-4} m^2$$

³⁶La velocidad del gas producido es de 3.5 m/s. Fuente: (WEF & ASCE, 1992)

A partir del área se calculó el diámetro de la tubería. Se aproximó el diámetro a un valor común en los catálogos de tuberías.

$$D = 1.50 \times 10^{-2} m = 14.95 \text{ mm}$$

$$D \approx \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

Se realizó el mismo cálculo para determinar las tuberías necesarias en los sistemas propuestos.

E. Datos calculados

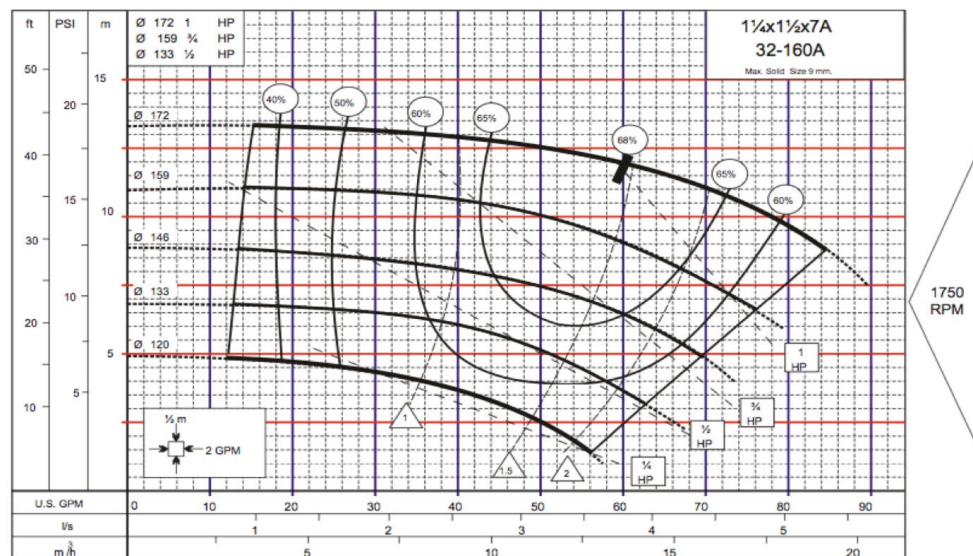
Cuadro 180. Especificaciones de las tuberías de agua residual y de metano determinadas.

Descripción	Agua residual	Metano
Material	PVC	Acero al carbón
Diámetro nominal, plg	4	3/4
Diámetro externo, pulg	4.5	0.540

Cuadro 181. Especificaciones de la bomba centrífuga calculada para transportar el agua residual del filtro anaerobio al biorreactor de nitrificación y desnitrificación.

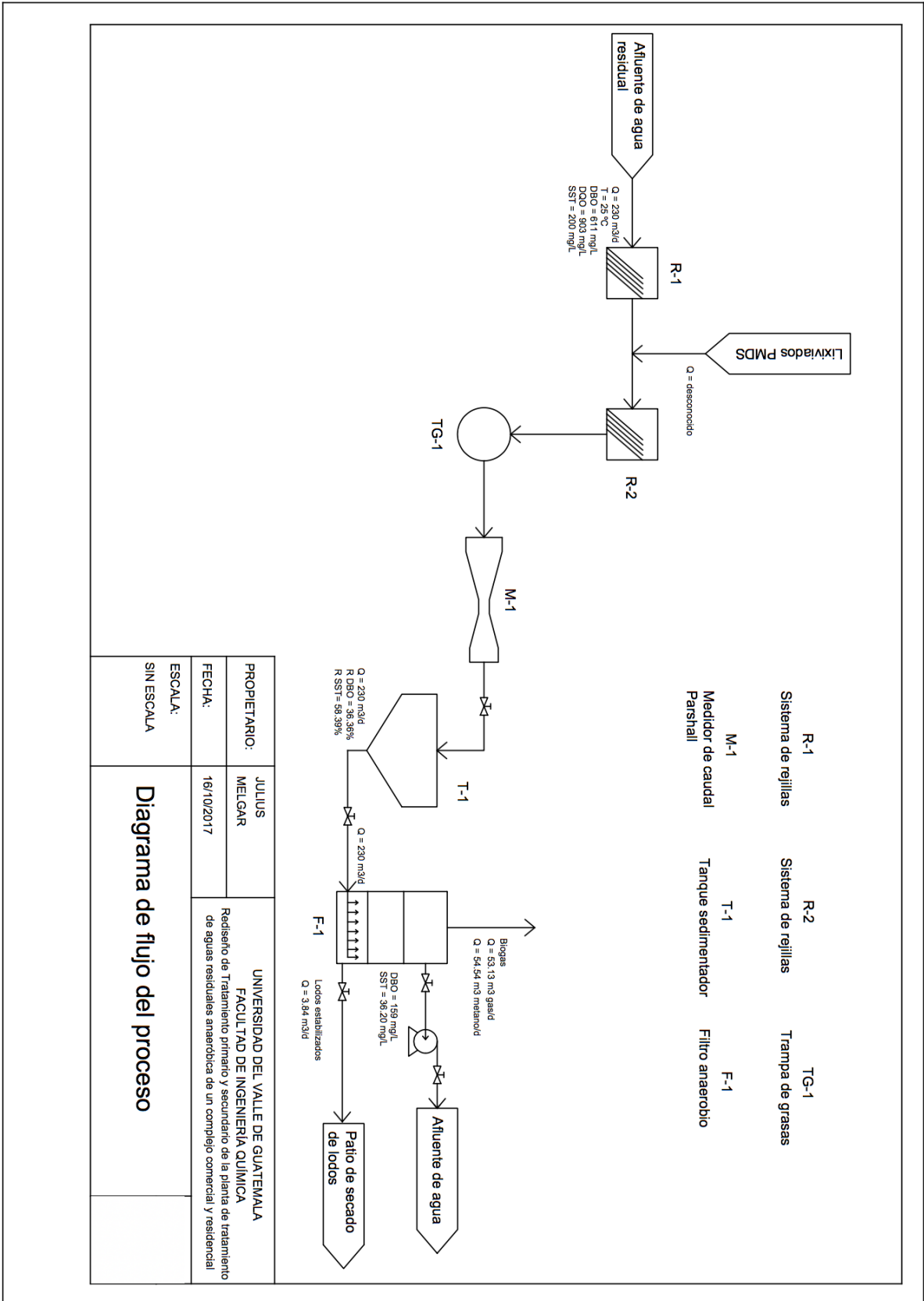
Descripción	Especificaciones
Tipo de bomba	Centrífuga
Potencia, hp (kW)	¾ (0.55)
Eficiencia, %	65

Figura 105. Curvas características empleadas para la elección de la bomba centrífuga.

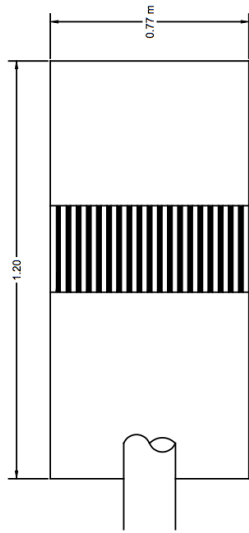


Fuente: (STA-RITE FSDNDH)

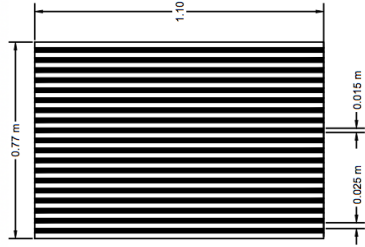
F. Planos



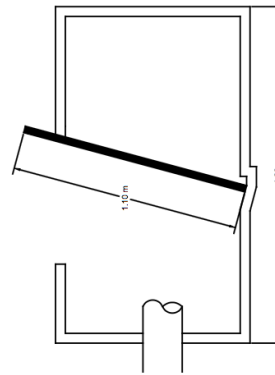
PROPIETARIO:	JULIUS MELGAR	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
FECHA:	16/10/2017	Rediseño de Tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial
ESCALA:	SIN ESCALA	
Diagrama de flujo del proceso		



VISTA PLANTA

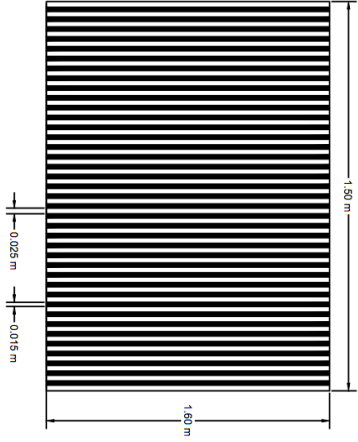


VISTA FRONTAL

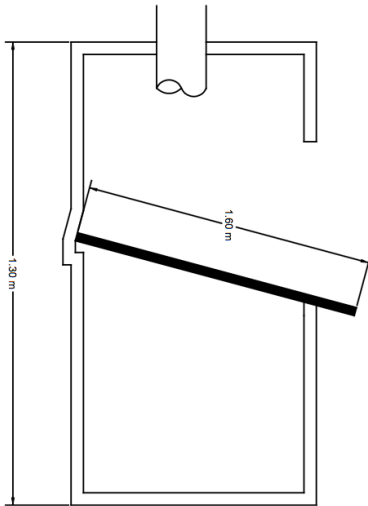


SECCIÓN

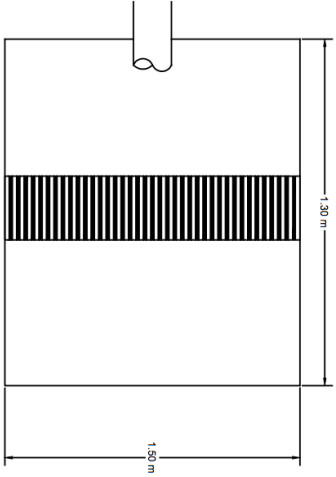
PROPIETARIO: JULIUS MELGAR	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Rediseño de Tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial	No. PLANO 1 / 6
FECHA: 16/10/2017		
ESCALA: SIN ESCALA	Primer sistema de rejillas de limpieza manual	



VISTA FRONTAL

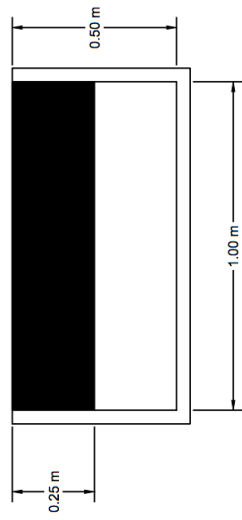


SECCIÓN

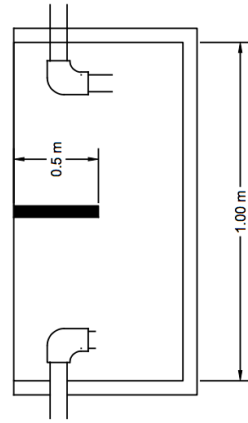


VISTA PLANTA

PROPIETARIO:	JULIUS MELGAR	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA	No. PLANO 2 / 6
FECHA:	16/10/2017	Rediseño de Tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial	
ESCALA:	SIN ESCALA	Segundo sistema de rejillas de limpieza manual	

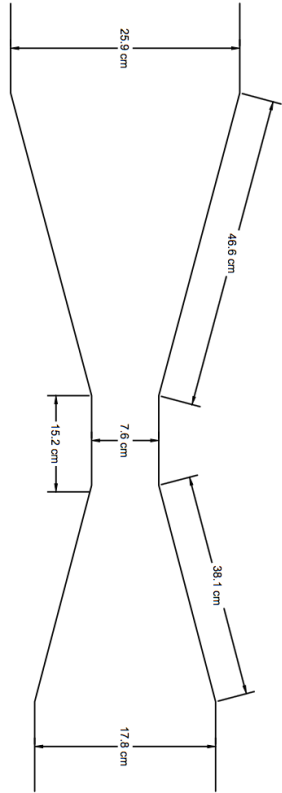


VISTA FRONTAL

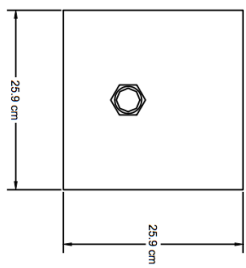


SECCIÓN

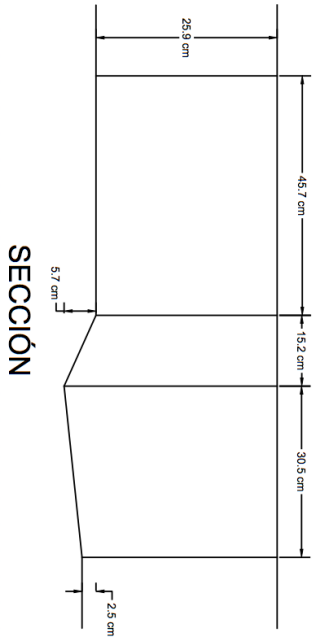
PROPIETARIO: JULIUS MELGAR	JULIUS MELGAR	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Rediseño de Tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial
FECHA:	16/10/2017	
ESCALA: SIN ESCALA	Trampa de grasas y aceites	



VISTA PLANTA

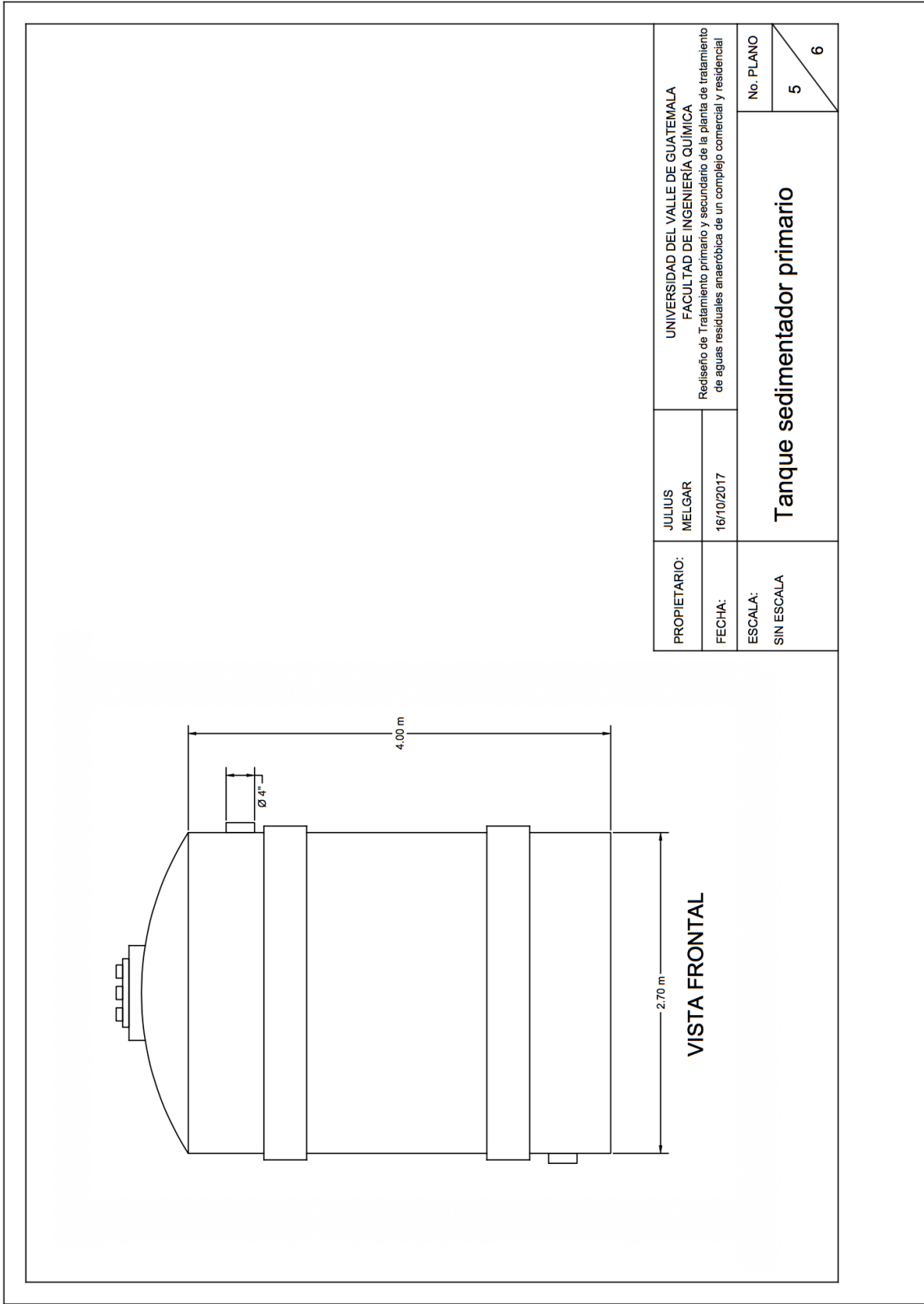


VISTA FRONTAL

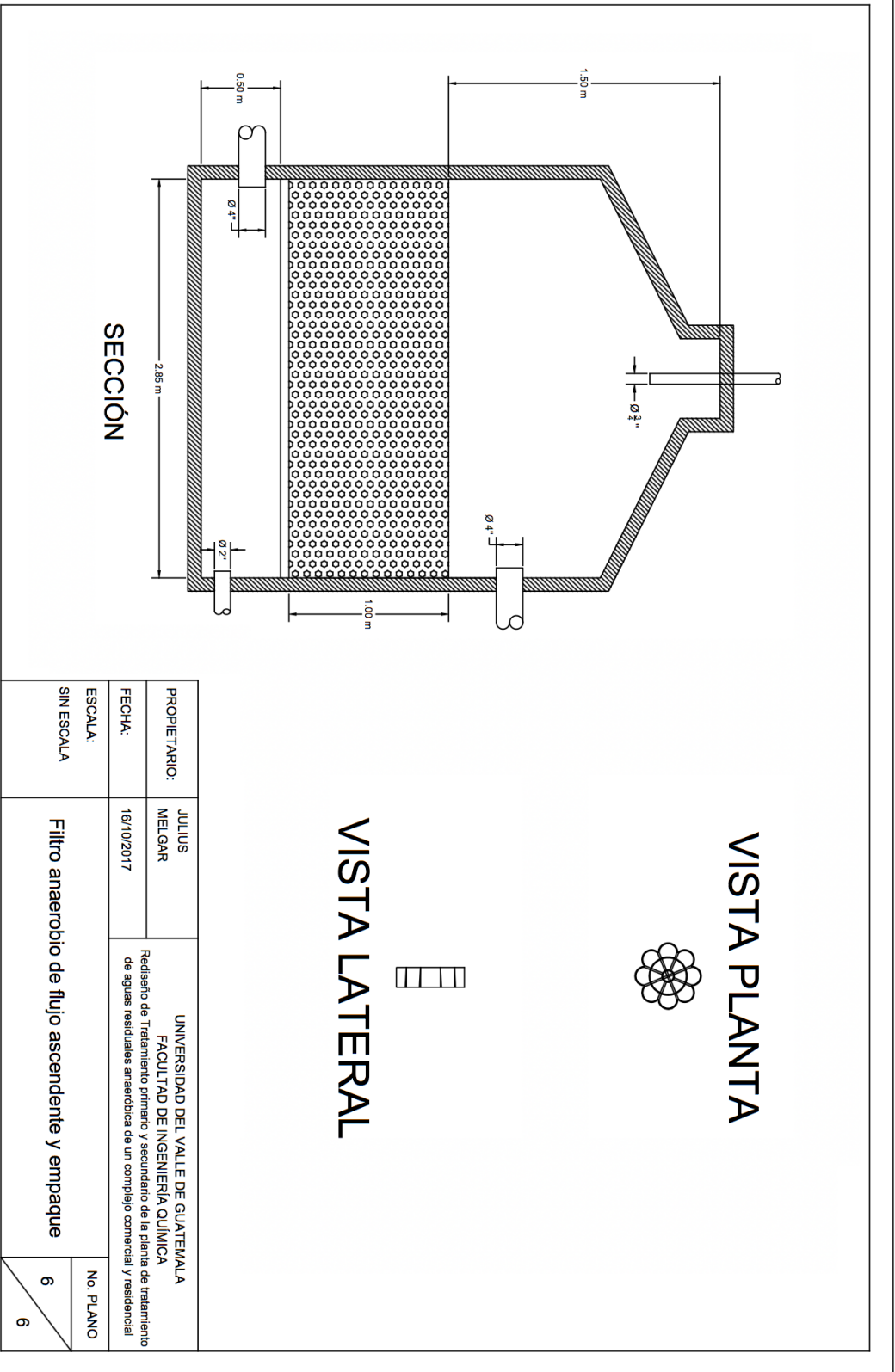


SECCIÓN

PROPIETARIO:	JULIUS MELGAR	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA	Rediseño de Tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica de un complejo comercial y residencial
FECHA:	16/10/2017		
ESCALA:	SIN ESCALA	Canaleta Parshall	No. PLANO
			4 / 6



PROPIETARIO:	JULIUS MELGAR	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Rediseño de Tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales anaerobica de un complejo comercial y residencial	No. PLANO 5 / 6
FECHA:	16/10/2017		
ESCALA:	SIN ESCALA	Tanque sedimentador primario	



XVI. ANEXOS V

A. Datos originales

Cuadro 182. Caracterización del afluente de la planta de tratamiento instalada actualmente en el complejo comercial y residencial

Parámetros	Valor	Unidades
Temperatura (<i>in situ</i>)	297.75	K
pH (<i>in situ</i>)	7	Unidades de pH
Grasas y aceites	0.034	kg/m ³
Materia flotante	Ausente	--
Sólidos en suspensión totales	0.2	kg/m ³
Coliformes fecales	92×10^7	NMP/m ³
Color	181	U PtCo
Demanda Química de oxígeno	0.903	kg/m ³ O ₂
Demanda Bioquímica de oxígeno	0.611	kg/m ³ O ₂
Fosforo	0.0084	kg/m ³ P
Nitrógeno Total	0.072	kg/m ³ N
Relación DQO/DBO	1.48	--
Relación DBO/DQO	0.68	--

Cuadro 183. Datos de caudal del afluente de la planta de tratamiento instalada actualmente en el complejo comercial y residencial

Datos	Valor
Caudal promedio (m ³ /s)	9.22×10^{-4}
Caudal máximo (m ³ /s)	2.01×10^{-3}
Caudal mínimo (m ³ /s)	1.39×10^{-4}
Nivel promedio (m)	0.034
Nivel máximo (m)	0.045
Nivel mínimo (m)	0.011
Velocidad promedio (m/s)	0.21
Velocidad máxima (m/s)	0.33
Velocidad mínima (m/s)	0.10

Cuadro 184. Caracterización del efluente de la planta de tratamiento instalada actualmente en el complejo comercial y residencial

Parámetros	Valor	Unidades
Temperatura (<i>in situ</i>)	298.15	K
pH (<i>in situ</i>)	7	Unidades de pH
Grasas y aceites	0.01	kg/m ³
Materia flotante	Ausente	--
Sólidos en suspensión totales	0.35	kg/m ³
Coliformes fecales	35×10^7	NMP/m ³
Color	122	U PtCo
Demanda Química de oxígeno	0.667	kg/m ³ O ₂
Demanda Bioquímica de oxígeno	0.468	kg/m ³ O ₂
Fosforo	0.0076	kg/m ³ P
Nitrógeno Total	0.078	kg/m ³ N
Relación DQO/DBO	1.43	--
Relación DBO/DQO	0.70	--

Cuadro 185. Datos de caudal del efluente de la planta de tratamiento instalada actualmente en el complejo comercial y residencial

Datos	Valor
Caudal promedio (m ³ /s)	7.10×10^{-4}
Caudal máximo (m ³ /s)	2.93×10^{-3}
Caudal mínimo (m ³ /s)	3.15×10^{-6}
Nivel promedio (m)	0.034
Nivel máximo (m)	0.058
Nivel mínimo (m)	0.0053
Velocidad promedio (m/s)	0.21
Velocidad máxima (m/s)	0.48
Velocidad mínima (m/s)	0.02

B. Evaluación técnica

Cuadro 186. Cumplimiento de límites máximos permisibles según Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos” para la etapa dos del artículo 21 de dicho acuerdo.

Parámetros	Valor afluente	Valor efluente	% remoción / % aumento	Cumple con límites (si/no)
Temperatura	24.6	25.0	No aplica	Sí
pH	7	7	No aplica	Sí
Grasas y aceites	34	10	71	Sí
Materia flotante	Ausente	Ausente	No aplica	
Sólidos en suspensión totales	200	350	-75	Sí
Coliformes fecales	92.0E+4	35.0E+4	62	No
Color	181	122	33	Sí
Demanda Química de oxígeno	903	667	27	
Demanda Bioquímica de oxígeno	611	468	24	No
Fosforo Total	8.4	7.6	10	Sí
Nitrógeno Total	72.0	78.0	-9	No
Relación DQO/DBO	1.48	1.43	4	
Relación DBO/DQO	0.68	0.70	-3	

1. Datos densidad

Cuadro 187. Datos medidos de densidad de agua residual con dilución de bacterias

Corrida	Densidad ($\pm 0.005 \text{ kg/m}^3$)
1	1048.5
2	1059.3
3	1050.5

Cuadro 188. Promedio de densidad de agua residual con dilución de bacterias

Corrida	Densidad ($\pm 0.0053 \text{ kg/m}^3$)
1	1053

2. Datos concentración de sustrato nitrógeno total

Cuadro 189. Datos medidos de tiempo y concentración de sustrato, nitrógeno total

Tiempo (± 15 s)	Concentración (± 0.001 kg/m ³)
0	0.014
7,200	0.009
14,400	0.003
21,600	0.002

C. Cálculos de muestra

1. Porcentaje de remoción de nitrógeno total. Con una concentración del afluente de 14 mg/L y una concentración del efluente de 9 mg/L se calculó el porcentaje de remoción como sigue:

$$\eta = \left[\frac{S_{afl} - S_{efl}}{S_{afl}} \right] \times 100$$

$$\eta = \left[\frac{14 \frac{mg}{L} - 9mg/L}{14 mg/L} \right] \times 100 = 35.71\%$$

Donde:

η = porcentaje de remoción

S_{afl} = concentración del sustrato en el afluente, mg/L

S_{efl} = concentración del sustrato en el efluente, mg/L

De la misma manera se calculó el porcentaje de remoción para las otras tres concentraciones de nitrógeno total.

2. Dimensionamiento de tanques agitados.

a. Volumen de tanque agitado para etapa terciaria. Con un tiempo de retención encontrado experimentalmente de 4 horas en días de 0.17 días.

$$Q = V/t$$

$$V = Q \times t$$

$$V = 230 \frac{m^3}{día} \times 0.17 días = 40,000 L$$

Donde:

Q = caudal, m³/día

V = volumen, m³

t = tiempo, días

b. Medidas de agitador vertical de turbina de 6 palas para los tanques agitados de la etapa terciaria. Con un diámetro total de 3 m se calculó:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$D_a = \frac{D_t}{3} = \frac{3m}{3} = 1m$$

$$\frac{j}{D_t} = \frac{1}{12}$$

$$j = \frac{D_t}{12} = \frac{3m}{12} = 0.25m$$

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$E = \frac{D_t}{3} = \frac{3m}{3} = 1m$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$W = \frac{D_a}{5} = \frac{1m}{5} = 0.2 m$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

$$L = \frac{D_a}{4} = \frac{1 m}{4} = 0.25 m$$

c. Número de Reynolds. Con un N de 0.6 rev/s para agitación de fluidos con microorganismos, una densidad de 1053 kg/m³ y una viscosidad de 0.00115 kg/m*s

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{(1m)^2 \times \left(\frac{0.6rev}{s}\right) \times \left(\frac{1053kg}{m^3}\right)}{0.00115 \frac{kg}{m \times s}} = 549,391$$

d. Potencia requerida por agitadores verticales

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D_a^5} (SI)$$

$$P = N_p \times \rho N^3 D_a^5$$

$$P = 2.5 \times \frac{1053 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \left(\frac{0.6 \text{ rev}}{\text{s}} \right)^3 \times (1 \text{ m})^5 = 568.62 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Donde:

N_p = número de potencia

P = potencia requerida

ρ = densidad del líquido, kg/m^3

D_a = diámetro del impulsor (agitador), m

N = velocidad de rotación, rev/s

Al convertir $568.62 \frac{\text{J}}{\text{s}}$ en hp, 0.7622 hp, con una eficiencia del 70% dada por el proveedor, el motor necesitaba una potencia de 1hp.

3. Rugosidad tubería de PVC. Con una rugosidad absoluta de 0.015 mm y un diámetro de tubería de 111 mm.

$$e = \frac{\text{rugosidad absoluta}}{\text{diámetro interno de la tubería}}$$

$$e = \frac{0.015 \text{ mm}}{111 \text{ mm}} = 0.0001$$

Donde:

e = rugosidad relativa

4. Pérdidas por fricción en tubería de lado de succión de bomba. Con un factor de fricción de 0.002, un largo de tubería de 0.7m, un diámetro interno de la tubería de 0.111m, una densidad de $1053 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ y una velocidad del fluido de 1m/s.

$$\Delta P_f = 8f \left(\frac{L}{d_i} \right) \frac{\rho u^2}{2}$$

$$\Delta P_f = 8 \times 0.002 \times \left(\frac{0.7 \text{ m}}{0.111 \text{ m}} \right) \times \left(\frac{1053 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2} \right) = 53.12 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

Donde:

ΔP_f = caída de presión, N/m^2

f = factor de fricción

L = largo de la tubería, m

d_i = diámetro interno de la tubería, m

ρ = densidad del fluido, kg/m^3

u = velocidad del fluido, m/s

Se convirtió $53.12 \frac{Pa}{m}$ a 0.05312 kPa/m y luego se multiplicó por el largo de la tubería para obtener 0.03718 kPa .

Se realizó el mismo procedimiento para el lado de descarga de la bomba con un largo de tubería de 3.15m de donde se obtuvo una pérdida de presión de 0.7530 kPa .

5. Caída de presión por accesorios en el lado de la succión de la bomba. Se utilizó un k_f de 0.2 para la válvula de compuerta (abierto total), 0.75 para dos codos de 90° para un k_f total de 2.4 m .

$$P = \rho gh + P_o$$

$$P = 1053 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 2.4 \text{ m} + 0 = 24,791.83 \text{ Pa}$$

Donde:

P = presión hidrostática, Pa

ρ = densidad del fluido líquido, kg/m^3

g = aceleración de la gravedad, m/s^2

h = altura del fluido, m

P_o = presión atmosférica, Pa

Se convirtió $24,791.83 \text{ Pa}$ a 24.7918 kPa .

Se realizó el mismo procedimiento para el lado de descarga de la bomba con una válvula de compuerta (abierto total) y un codo 90° , un k_f total de 4.1m . Caída de presión de 42.3527 kPa .

6. Cabeza de velocidad. Con una densidad de 1053 kg/m^3 y una velocidad de 1m/s .

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$P = \frac{1}{2} \times \frac{1053 \text{ kg}}{m^3} \times \left(\frac{1 \text{ m}}{s} \right)^2 = 526.5 \text{ Pa}$$

Se convirtió de 526.5 Pa a 0.5265 kPa .

7. Cabeza dinámica de succión. Sumatoria de pérdidas de fricción por tubería, caída de presión por accesorios y cabeza de velocidad.

$$H_{succión} = 0.03718kPa + 24.7918 kPa + 0.5265kPa = 25.3555 kPa$$

De la misma manera, se calculó la cabeza dinámica de descarga la cual fue de 43.1057 kPa.

8. Cabeza estática de succión. Con una altura de succión de 0.4m:

$$P = \rho gh + P_o$$

$$P = \frac{1053 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.4 m}{1000Pa} kPa + 101.325kPa = 105.4569 kPa$$

De la misma manera, se calculó la cabeza estática de descarga la cual fue de 132.3148 kPa con una altura de descarga de 3m.

9. Presión de succión. Diferencia entre la cabeza estática y la cabeza dinámica de succión.

$$\Delta P = H_{estática} - H_{dinámica} = 105.4569 kPa - 25.3555 kPa = 80.1014 kPa$$

De la misma manera, se calculó la presión de descarga la cual fue de 175.4205 kPa.

10. Cabeza máxima. Se calculó la diferencia de presiones entre presión de descarga y presión de succión.

$$\Delta P = P_{descarga} - P_{succión} = 175.4205 kPa - 80.1014kPa = 91.3590 kPa$$

$$P = \rho gh$$

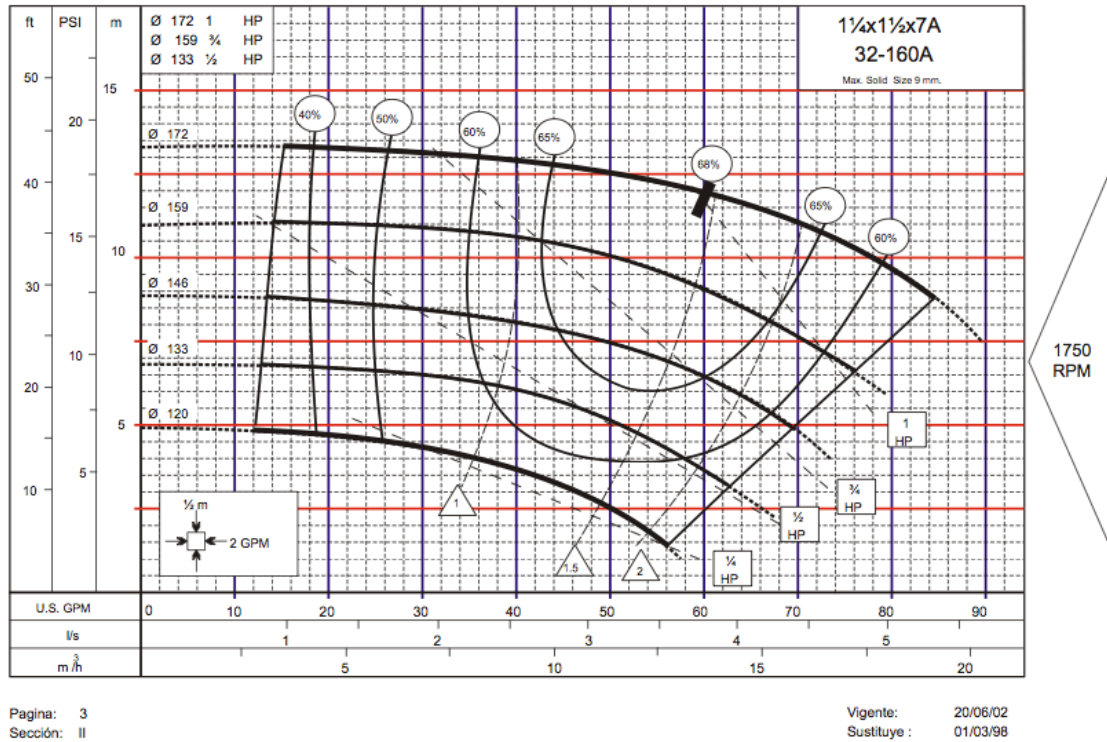
$$h = \frac{P}{\rho g} = \frac{91.3590 kPa}{1053 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2}} = 9.2274 m$$

Se aproximó la cabeza máxima a 10m.

11. Potencia y eficiencia

Con la siguiente curva característica, con una cabeza de 10 m y un caudal de 9.58 m³/h se leyó la potencia y la eficiencia en la curva dada por el proveedor.

Figura 106. Curva característica dada por proveedor (Marca Sta-Rite, modelo FSNDH)



Se leyó una potencia de ¾ hp con una eficiencia del 65%

12. Presión de vapor. Con valores de agua, A igual a 16.3872, B igual a 3885.7 y C igual a 230.17 y una temperatura de 23.5°C

$$\ln P^{sat} = A - \frac{B}{T + C}$$

$$P^{sat} = 2.9132 \text{ kPa}$$

Donde:

P^{sat} = presión de vapor, kPa

A = parámetro de la ecuación de Antoine

B = parámetro de la ecuación de Antoine

C = parámetro de la ecuación de Antoine

T = temperatura, °C

13. Cabeza de succión neta positiva. Con una presión de vapor de 2.9132 kPa, una presión de succión de 80.101 kPa y una densidad de 1053 kg/m^3

$$NPSHa = \frac{P}{\rho} + H - \frac{Pf}{\rho} - \frac{Pv}{\rho}$$
$$NPSHa = 8.3204 \text{ m}$$

Donde:

NPSHa = cabeza neta positiva de succión, m

P = presión sobre el recipiente del líquido, N/m^2

ρ = densidad del líquido a la temperatura de succión en la bomba, kg/m^3

H = altura del líquido sobre la succión de la bomba, m

Pf = pérdida de presión en la tubería de succión, N/m^2

Pv = presión de vapor del líquido en la succión de la bomba, kg/m^3

D. Manuales de procedimientos y equipos

1. Colorímetro marca HACH DR890

Method 10071

NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube (0.0 to 25.0 mg/L N)

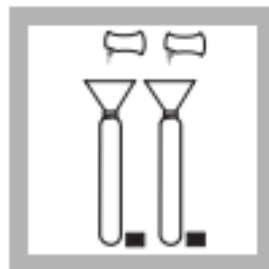
TNT Persulfate Digestion Method

For water and wastewater



1. Turn on the DRB 200 Reactor. Heat to 103-106 °C (optimum temperature is 105 °C).

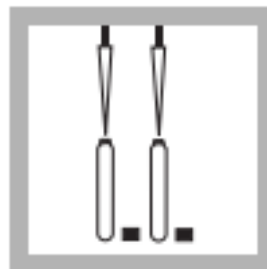
Note: For proof of accuracy, run a 20 mg/L NH₃-N standard through digestion and analysis.



2. Using a funnel, add the contents of one Total Nitrogen Persulfate Reagent Powder Pillow to each of two Total Nitrogen Hydroxide Reagent vials.

Note: Wipe off any reagent that may get on the lid or the tube threads.

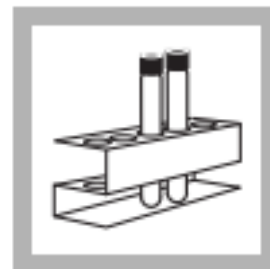
Note: One reagent blank is sufficient for each set of samples.



3. Add 2 mL of sample to one vial. Add 2 mL of organic-free water to another vial (the reagent blank). Cap both vials and shake vigorously (about 30 seconds). Place the vials in the Reactor. Heat for 30 minutes.

Note: The reagent may not dissolve completely after shaking.

Note: Alternate water must be free of all nitrogen-containing species.



4. Using finger cots or gloves, remove the hot vials from the reactor and allow to cool to room temperature.

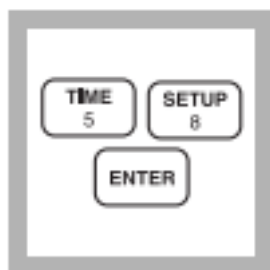
Note: It is very important to remove the vials from the Reactor after exactly 30 minutes.

NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube, continued



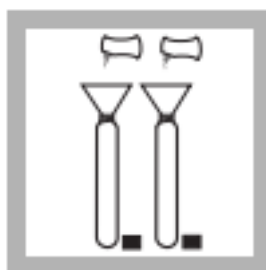
5. Enter the stored program number for Test 'N Tube Total Nitrogen.
Press: **PRGM**

The display will show:
PRGM ?



6. Press: **58 ENTER**
The display will show **mg/L, N** and the **ZERO** icon.

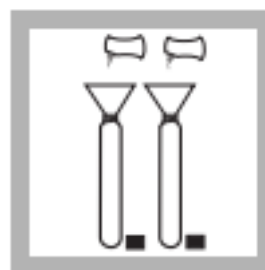
Note: For alternate forms (NH₃, NO₃), press the CONC key.



7. Remove the caps from the digested vials and add the contents of one TN Reagent A Powder Pillow to each vial. Cap the vials and shake for 15 seconds.

Press: **TIMER ENTER** after shaking.

A three-minute reaction period will begin.



8. After the timer beeps, remove the caps from the vials and add one TN Reagent B Powder Pillow to each vial. Cap the vials and shake for 15 seconds.

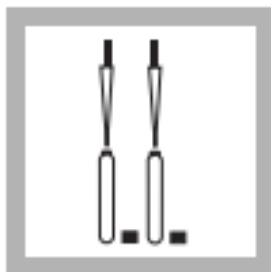
The display will show:
02:00 Timer 2

Press **ENTER** after shaking.

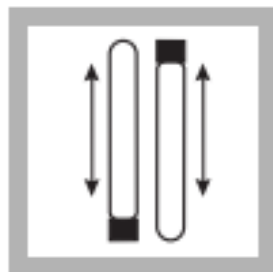
A two-minute reaction period will begin.

Note: The reagent will not completely dissolve. The solution will begin to turn yellow.

NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube, continued

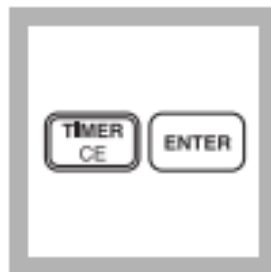


9. After the timer beeps, remove the caps from two TN Reagent C Vials. Add 2 mL of digested, treated sample to one vial. Add 2 mL of the digested, treated reagent blank to the second TN Reagent C Vial.



10. Cap and invert 10 times to mix. Use slow, deliberate inversions for complete recovery. The vials will be warm.

Note: Follow these instructions for inversion or low results may occur: Hold the vial vertical with the cap up. Invert the vial and wait for all of the solution to flow to the cap end. Pause. Return the vial to the upright position and wait for all of the solution to flow to the vial bottom. This is one inversion (10 inversions = 30 seconds).



11. The display will show: **05:00 Timer 3**
Press: **ENTER**
A five-minute reaction period will begin.

Note: The yellow color will intensify.



12. During the reaction period, insert the COD/TNT Adapter into the cell holder by rotating the adapter until it drops into place. Then push down to fully insert it.

Note: For increased performance, a diffuser band covers the light path holes on the adapter. Do not remove the diffuser band.

NITROGEN, TOTAL, Test 'N Tube, continued



13. After the timer beeps, wipe the TN Reagent C vial containing the reagent blank. Place the vial in the adapter.

Push straight down on the top of the vial until it seats solidly into the adapter.

Note: Do not move the vial from side to side as this can cause errors.



14. Tightly cover the vial with the instrument cap.

Press: **ZERO**

The cursor will move to the right, then the display will show:

0.0 mg/L N

Note: Wiping with a damp towel, followed by a dry one, will remove fingerprints or other marks.

Note: The reagent blank is stable when stored in the dark; see Blanks For Colorimetric Measurement following these steps.



15. Wipe the TN Reagent C vial containing the sample and place it into the adapter. Tightly cover the vial with the instrument cap.

Note: Multiple samples may be read after zeroing on one reagent blank.



16. Press: **READ**

The cursor will move to the right, then the result in mg/L nitrogen (N) will be displayed.

Note: Standard Adjust may be performed using a prepared standard (see Standard Adjust in Section 1).

Note: If the display flashes "limit", dilute the sample and repeat the digestion and the colorimetric finish. The digestion must be repeated for accurate results; diluting and repeating the color finish does not yield complete results. Multiply the result by the dilution factor; see Section 1.

Sampling and Storage

Collect samples in clean plastic or glass bottles. Best results are obtained with immediate analysis.

Preserve the sample by reducing the pH to 2 or less with concentrated sulfuric acid (at least 2 mL). Store at 4 °C (39 °F) or less. Preserved samples may be stored up to 28 days. Warm samples to room temperature and neutralize with 5 N sodium hydroxide before analysis. Correct the test result for volume additions; see *Correcting for Volume Additions* in Section 1.

Accuracy Check

This method generally yields 95-100% recovery on organic nitrogen standards. For proof of accuracy Hach offers a set of three Primary Standards for Kjeldahl Nitrogen.

Method 10072

NITROGEN, TOTAL, HR, Test 'N Tube™ (10.0 to 150.0 mg/L N)**TNT Persulfate Digestion Method**

For water and wastewater



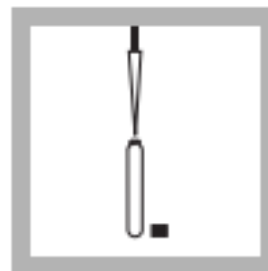
1. Turn on the DRB 200 Reactor. Heat to 103-106 °C (optimum temperature is 105 °C).

Note: For proof of accuracy, run a 125 mg/L NH₃-N standard through digestion and analysis.



2. Prepare a reagent blank: Using a funnel, add the contents of one Total Nitrogen Persulfate Reagent Powder Pillow to one HR Total Nitrogen Hydroxide Digestion Vial.

Note: Wipe off any reagent that gets on the lid or the tube threads.



3. Add 0.5 mL of organic-free water to the vial. Cap the vial and shake vigorously for about 30 seconds.

Process this reagent blank exactly the same as the sample, including digestion and color finish. Proceed to step 6.

Note: Alternate water must be free of all nitrogen-containing species.

Note: The persulfate reagent may not dissolve completely after shaking.

Note: One reagent blank is sufficient for each set of samples using the same lots of reagents.

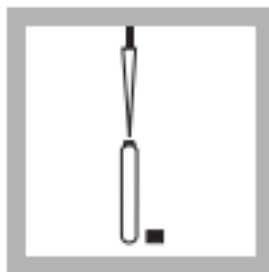
Note: The reagent blank is stable for as long as seven days when stored in the dark; see Blanks for Colorimetric Measurement following this procedure.



4. Prepare a sample: Using a funnel, add the contents of one Total Nitrogen Persulfate Reagent Powder Pillow to one HR Total Nitrogen Hydroxide Digestion Vial.

Note: Wipe off any reagent that gets on the lid or the tube threads.

NITROGEN, TOTAL, HR, Test 'N Tube, continued

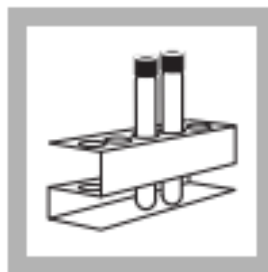


5. Add 0.5 mL of sample to the vial. Cap the vial and shake vigorously for about 30 seconds.

Note: The persulfate reagent may not dissolve completely after shaking.



6. Place the vials in the Reactor. Heat for 30 minutes.



7. Using finger cots or gloves, remove the hot vials from the reactor and allow to cool to room temperature.

Note: It is very important to remove the vials from the Reactor after exactly 30 minutes.

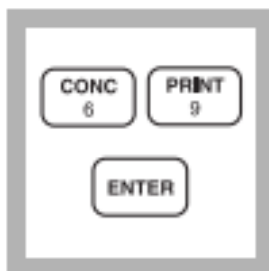


8. Enter the stored program number for Test 'N Tube HR Total Nitrogen.

Press: **PRGM**

The display will show:

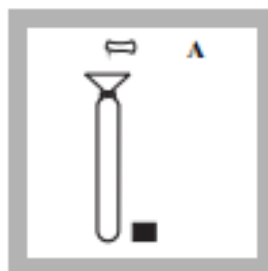
PRGM ?



9. Press: **69 ENTER**

The display will show **mg/L, N** and the **ZERO** icon.

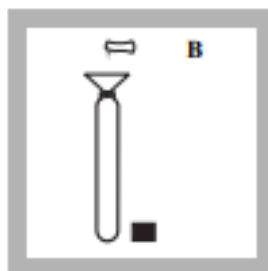
*Note: For alternate forms (NH_3 , NO_3), press the **CONC** key.*



10. Add the contents of one Total Nitrogen Reagent A Powder Pillow to the vial containing the digested blank or sample. Cap the vial and shake for 15 seconds.

Press: **TIMER ENTER** after shaking.

A three-minute reaction period will begin.



11. After the timer beeps, add one Total Nitrogen Reagent B Powder Pillow to the vial. Cap the vial and shake for 15 seconds.

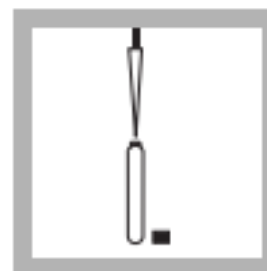
The display will show:

02:00 Timer 2

Press **ENTER** after shaking.

A two-minute reaction period will begin.

Note: The reagent will not completely dissolve. The solution will begin to turn yellow.



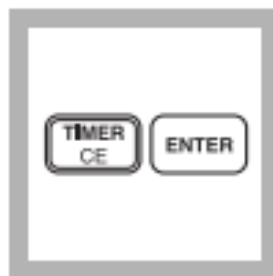
12. After the timer beeps, remove the cap from one Total Nitrogen Reagent C Vial. Add 2 mL of digested, treated sample (or reagent blank) to the vial. The vial will be warm.

NITROGEN, TOTAL, HR, Test 'N Tube, continued



13. Cap and invert slowly 10 times to mix. The vial will be warm.

Note: Proper mixing is important for complete recovery. Hold the vial vertical with the cap up. Invert the vial and wait for all of the solution to flow to the cap end. Pause. Return the vial to the upright position and wait for all of the solution to flow to the vial bottom. This is one inversion (10 inversions = 30 seconds).



14. The display will show: **05:00 Timer 3**
Press: **ENTER**

A five-minute reaction period will begin. Do not invert the vial again.

Note: The yellow color will intensify.



15. Insert the COD/TNT Adapter into the cell holder by rotating the adapter until it drops into place. Then push down to fully insert it.

Note: For increased performance, a diffuser band covers the light path holes on the adapter. Do not remove the diffuser band.



16. When the timer beeps, wipe the outside of the Total Nitrogen Reagent C vial containing the reagent blank.

Place the vial into the adapter with the Hach logo facing the front of the instrument.

Push straight down on the top of the vial until it seats solidly into the adapter.

Tightly cover the vial with the instrument cap.

Note: Do not move the vial from side to side during insertion, as this can cause errors.

Note: Wipe with a damp towel, followed by a dry one, to remove fingerprints or other marks.

NITROGEN, TOTAL, HR, Test 'N Tube, continued



17. Press: ZERO
The cursor will move to the right, then the display will show:

0 mg/L N



18. Wipe the Total Nitrogen Reagent C vial containing the sample.

Note: Wipe with a damp towel, followed by a dry one, to remove fingerprints or other marks.



19. Place the vial into the adapter with the Hach logo facing the front of the instrument. Push straight down on the top of the vial until it seats solidly into the adapter.

Tightly cover the vial with the instrument cap.

Note: Do not move the vial from side to side during insertion, as this can cause errors.

Note: Multiple samples may be read after zeroing on one reagent blank.



20. Press: READ
The cursor will move to the right, then the result in mg/L nitrogen (N) will be displayed.

Note: Standard Adjust may be performed using a prepared standard (see Standard Adjust in Section 1 of the Procedures Manual).

*Note: If the display flashes **Limit**, dilute the sample and repeat the digestion and the colorimetric finish. The digestion must be repeated for accurate results; diluting and repeating the color finish does not yield complete results. Multiply the result by the dilution factor; see SECTION 1.*

Sampling and Storage

Collect samples in clean plastic or glass bottles. Best results are obtained with immediate analysis.

Preserve the sample by reducing the pH to 2 or less with concentrated sulfuric acid (at least 2 mL/L). Store at 4 °C (39 °F) or less. Preserved samples may be stored up to 28 days. Warm samples to room temperature and neutralize with 5 N sodium hydroxide before analysis. Correct the test result for volume additions; see *Correcting for Volume Additions* in Section 1.

2. Prueba de densidad

Área Responsable	Elemento	Tipo	Número	Fecha de Vigencia
Jefe de Laboratorio Análisis Ing. Andrés Hernández	431	PA	05	05/10/2013
Autor	Contacto Técnico	Número de Revisión	Aprobado Por	
Laboratorista Ana Silvia López	Ing. Andrés Hernández	1.0	Alta Gerencia Ing. Gamaliel Zambrano	

Procedimiento Prueba de densidad

OBJETIVO:

Definir el procedimiento que se llevará a cabo para realizar la prueba densidad, con motivo de verificar la calidad del aceite.

ALCANCE:

Este procedimiento aplica para el análisis de control de calidad de aceite.

PROCESOS Y REQUISITOS:

- ¿Quién es responsable y de qué son responsables en este Procedimiento o Instructivo de Trabajo?
- Los pasos a realizarse para esta prueba son los siguientes:
 1. Pesar el picnómetro limpio y seco
 2. Llenar con agua destilada y volver a pesar (obtener la masa de agua contenida en el picnómetro)
 3. Vaciar y llenar con el líquido problema (lavar una vez o dos con el líquido problema, antes de colocar la muestra)
 4. Pesar nuevamente (obtener masa del líquido problema)
 5. Se calcula el volumen del picnómetro:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

m= masa de agua

ρ = densidad del agua

5. Se puede obtener la densidad del líquido con:

$$\rho_l = \frac{w_p}{V}$$

Donde:

W_p = peso del líquido problema

V= volumen del picnómetro

HISTORIAL DE REVISIONES:

Fecha	ID Documento	Revisado por	Descripción de los Cambios
05/10/2012	LAB_BIO DENS -1	Presidente del Comité Ing. Andrés Hernández	Emisión Inicial

E. Bacterias 300 BG MAX marca Novozymes



WASTEWATER SOLUTIONS

Novozymes BioRemove™ 5100

Mejora la calidad de los efluentes y la estabilidad de la planta a través de la mejora en la degradación de DQO

Las aguas residuales industriales representan un conjunto sin igual de desafíos de tratamiento. Las corrientes residuales cambian constantemente según la producción; las sustancias químicas fuertes suelen llegar a las aguas residuales e inhibir la actividad biológica, dificultando la descomposición. Una variable clave en el proceso que determina el éxito o el fracaso de un proceso de tratamiento son los tipos de microorganismos en la comunidad microbiana y la capacidad de dicha comunidad de adaptarse a los cambios en la corriente residual.



BioRemove 5100: una solución biológica de amplia gama para corrientes residuales complejas

BioRemove 5100 es el producto más versátil de Novozymes para las aguas residuales industriales, y es eficaz para corrientes residuales de alta complejidad. Cuenta con un diverso conjunto de microorganismos que tratan una amplia gama de sustancias orgánicas que se encuentran en muchas industrias. BioRemove 5100 gracias a su acción biológica ayuda a mantener las plantas dentro de los parámetros de cumplimiento y bajo control.

Las ventajas de usar BioRemove 5100

Menores costes operativos

- Reduce las sobrecargas
- Reduce las infracciones de los permisos

Mayor rendimiento de la planta

- Mejora la reducción de DQO en corrientes residuales complejas

Simplificación de las operaciones

- Mejora la estabilidad en corrientes residuales complejas

Novozymes es el líder mundial en la bioinnovación. Junto con clientes a través de una amplia serie de industrias creamos las soluciones biológicas industriales del mañana, mejorando el negocio de nuestros clientes y la utilización de los recursos de nuestro planeta.

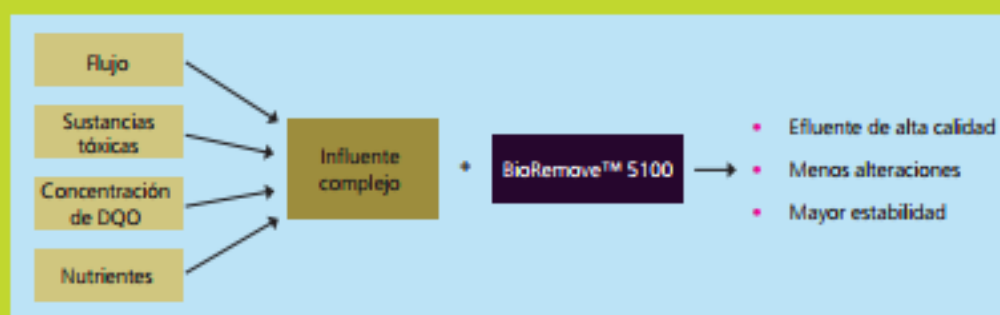


Fig. 1. Novozymes BioRemove™ 4100 ayuda a las plantas industriales a manejar los flujos influentes complejos de diferentes fuentes.

Aumentar su negocio es nuestro negocio

Si está buscando soluciones biológicas innovadoras para simplificar las operaciones de su planta, reducir los costes y mejorar la eficacia de tratamiento, únase a Novozymes. Nuestros productos exclusivos, nuestra experiencia con los microorganismos beneficiosos y las enzimas y nuestro compromiso para mejorar su negocio son tres buenas razones para convertir a Novozymes en su colaborador en la bioinnovación.

Para informaciones adicionales, visite www.novozymes.com

Novozymes Biologicals France • Bât 6 • 60 route de Sartrouville • 78232 Le Pecq Cedex, Francia • Tel. +33 (0) 1 30 15 28 40
Fax +33 (0) 1 30 15 15 45

La legislación, las reglamentaciones y los derechos de terceros podrían impedir que los clientes importasen, utilizaran, procesasen o revendiesen los productos que se describen en el presente documento en determinadas formas. Sin otro contrario por escrito entre el cliente y Novozymes para ese efecto, este documento no constituye una declaración o garantía de ningún tipo y se encuentra sujeto a cambio sin previo aviso.

F. Ficha técnica de cisterna Rotoplas 5,000 L



Cisternas Equipadas

Especificaciones Técnicas

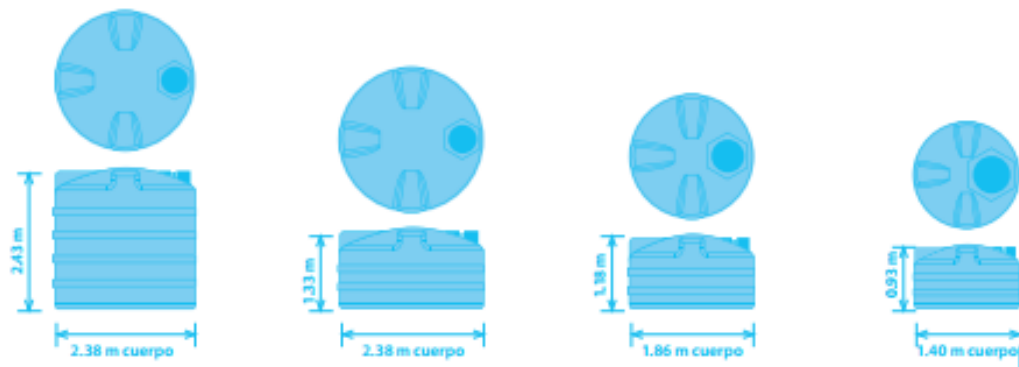
- Material fabricado con PEAD (Polietileno de alta densidad) de color azul por fuera y blanco por dentro.
- Capacidades desde 1 200 L hasta 10 000 L.

Capacidades de Cisterna Garantía de por vida

Capacidad (L)	Diámetro (m)	Altura con tapa (m)	Diámetro Tapa (m)	Abastecimiento (personas)
1 200*	1,40	0,93	0,45	5
2 800	1,86	1,18	0,60	10
5 000	2,38	1,33	0,60	15
10 000	2,38	2,43	0,60	35

*1 200 L incluye: Válvula de llenado de 19,05 mm (3/4") con Reducción a 12,7 mm (1/2"), Filtro No. 7 y Bomba Centrífuga 1/2 HP.

Nota: Considere en la altura de la Cisterna una tolerancia de +5 cm.



© Rotoplas, S.A. Capacidad máxima de llenado: 10 000 L. Capacidad máxima de suministro: 35 personas. Capacidad máxima de almacenamiento: 10 000 L. Capacidad máxima de distribución: 10 000 L.

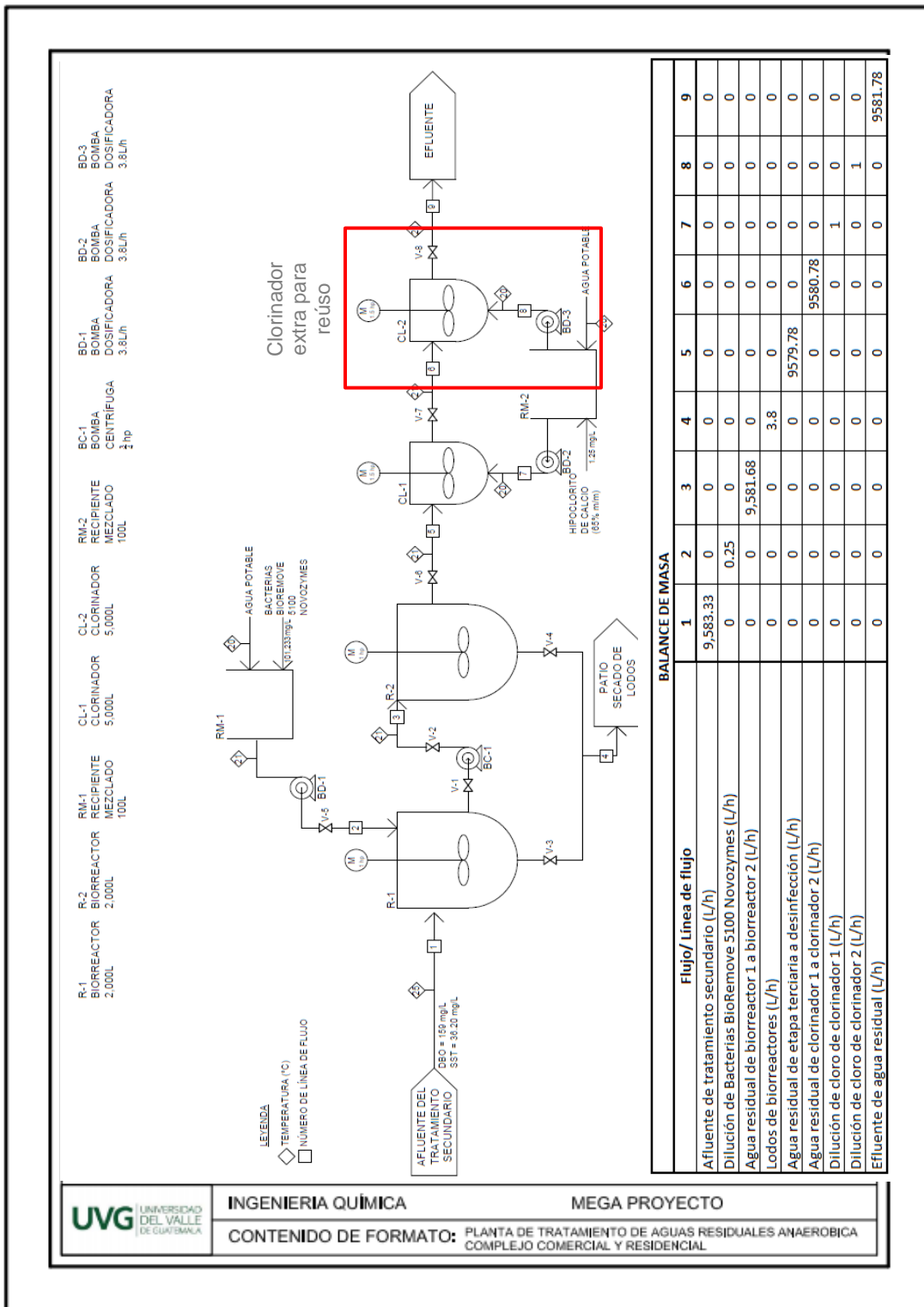


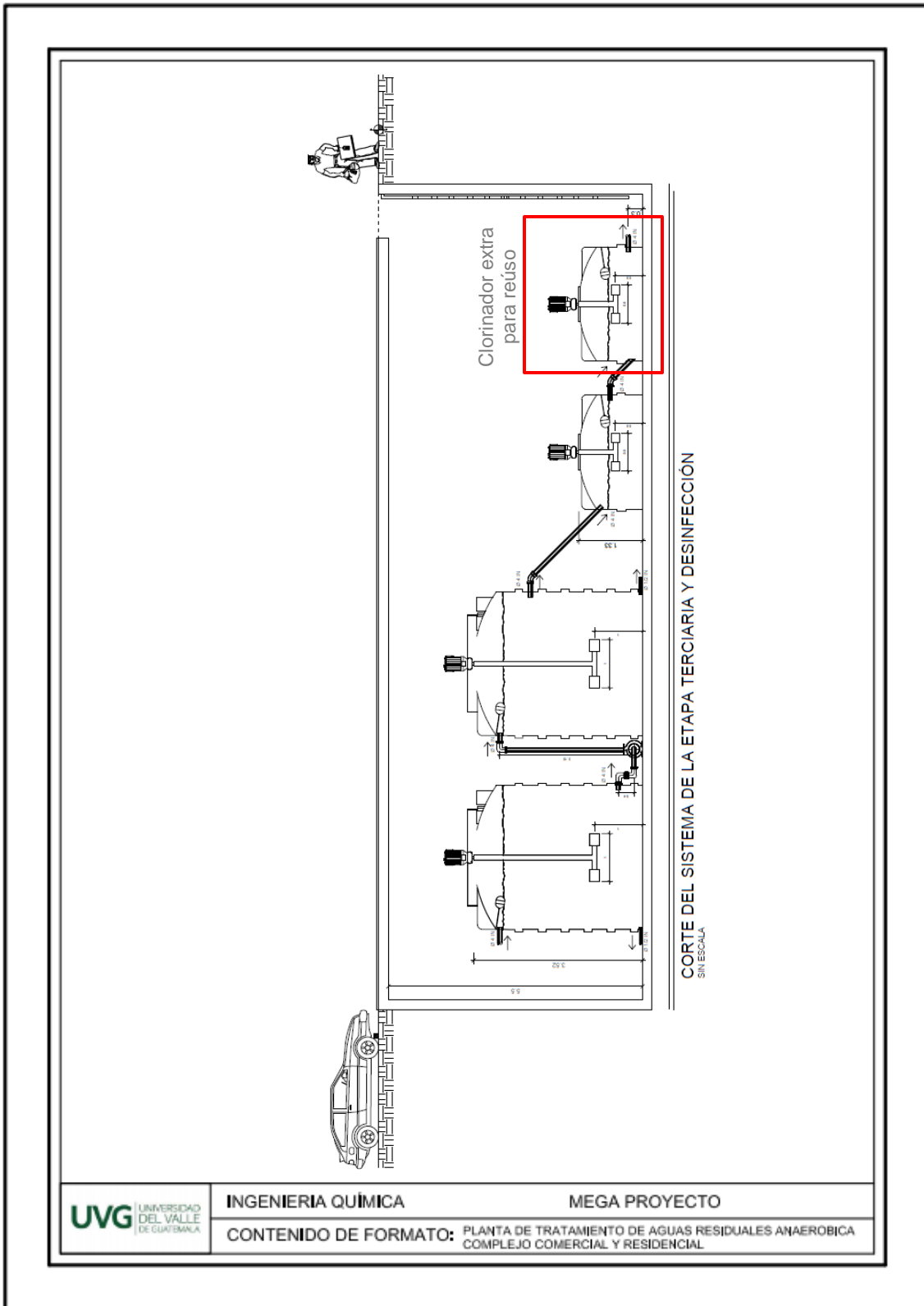
Almacenamiento de agua

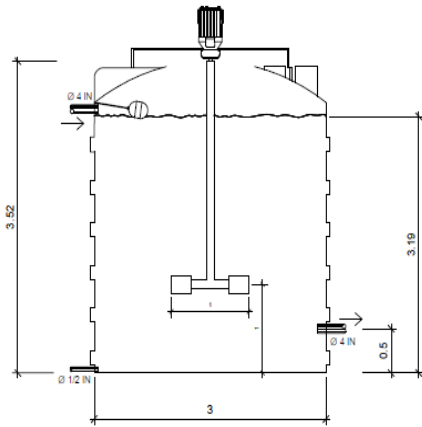
www.rotoplas.com

• Innovación • Calidad • Garantía de por vida

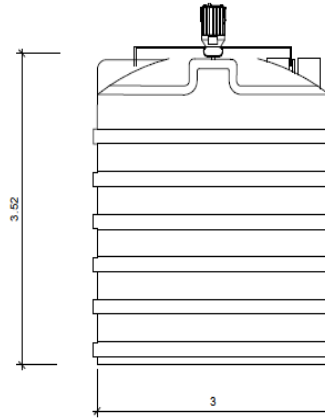
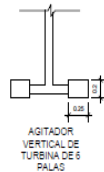
G. Planos y equipos



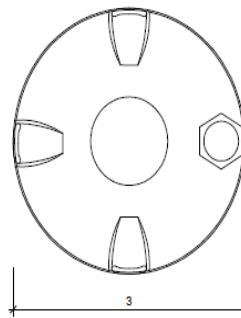




VISTA CORTE



VISTA PERFIL



VISTA PLANTA

DETALLE BIORREACTORES

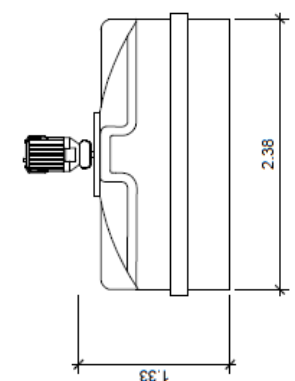
SIN ESCALA

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

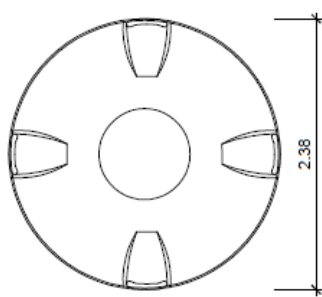
INGENIERIA QUÍMICA

MEGA PROYECTO

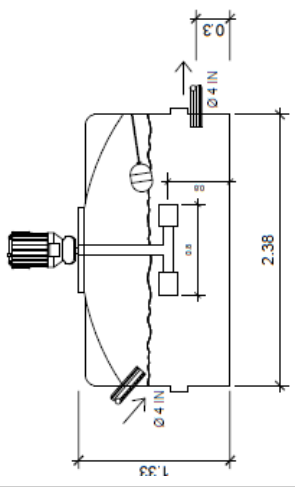
CONTENIDO DE FORMATO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANAEROBICA COMPLEJO COMERCIAL Y RESIDENCIAL



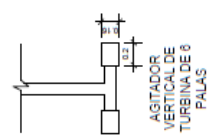
VISTA PERFIL



VISTA PLANTA



VISTA CORTE



DETALLE TANQUES DE CLORACIÓN
SIN ESCALA

Figura 107. Detalle de bombas dosificadoras para cloro y bacterias

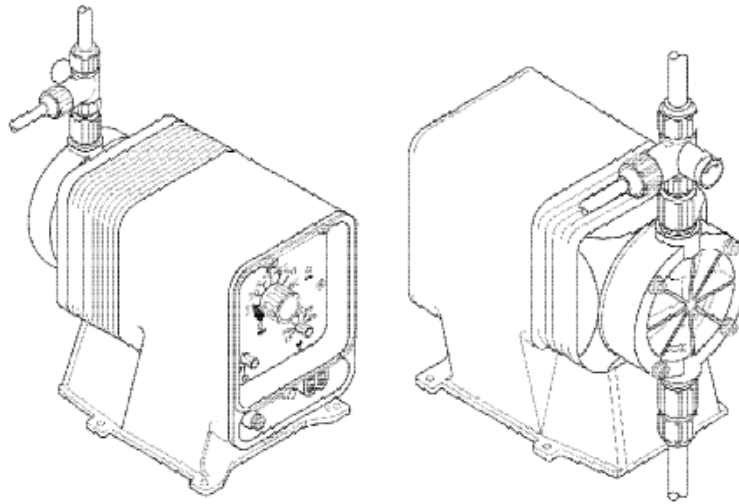
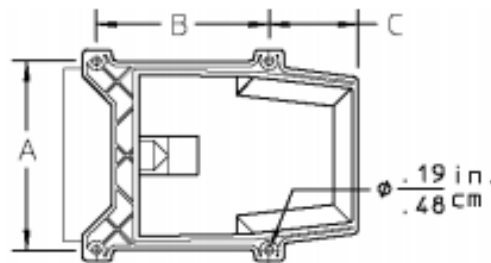


Figura 108. Isométrico de bomba dosificadora con fluxómetro (PulsaFeeder Serie C Plus)



DIMENSIONES DE AGUJEROS PARA MONTAJE

TAMANO DE LA CUBIERTA	DIMENSIONES (in / cm)		
	A	B	C
HSG. #1	4.50/11.4	3.00/ 7.6	1.75/4.4
HSG. #2	4.81/12.2	4.38/11.1	2.19/5.6
HSG. #3	5.56/14.1	4.38/11.1	2.19/5.6

Figura 109. Medidas Bomba Dosificadora (PulsaFeeder Serie C Plus)

	- CONTROL MANUAL (PARA MODELO DE BOMBAS LB & LD)
	- AUTO CONTROL (ENTRADA EXTERNA)
	- PORCENTAJE DE VELOCIDAD DE SUCCIÓN (SÓLO PARA OPERACIÓN MANUAL)
	- PORCENTAJE DE AMPLITUD DE SUCCIÓN
	- STAND-BY (LA BOMBA NO OPERARÁ)
	- CANDADO
	- CANDADO ABIERTO
	- ALTO
	- SUCCIÓN
	- ENTRADA AL CIRCUITO DE CONTROL 4-20 MILLIAMP a 20 MILLIAMP
	- ESPERE PARA OPERAR (125 OMHS SUCCIONES POR MINUTO) (SÓLO PARA MODELOS LC)

	ALTO 7 a 20 mA SEÑAL ETIQUETA DE CONTACTO LTD
	ALTO SERIAL EXTERNA ETIQUETA DE CONTACTO LTD

Figura 110. Panel de control de bomba dosificadora (PulsaFeeder Serie C Plus)

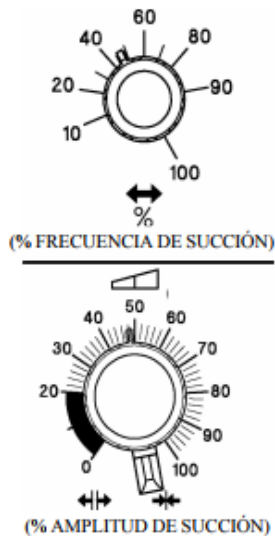


Figura 111. Control de capacidad en panel de control (PulsaFeeder Serie C Plus) Detalle Bomba centrífuga

TYPE	Input Power		Current (A)	Capacitor (µF)	H.max (m)	Q.max (l/min)	Size	S.Head (M)	Total head (m)
	kW	HP				Q.max (l/min)	Size		
CPm110	0.22	0.3	1.6	8	16	80	1"X1"	8	14 13
CPm130	0.37	0.5	2.5	12	20	80	1"X1"	8	19 16
CPm146	0.55	0.75	3.8	16	28	110	1"X1"	8	28 27
CPm158	0.75	1	4.8	20	34	118	1"X1"	8	34 34
CPm180	1.1	1.5	6.6	30	42	128	1.25"X1"	8	42 38
CPm200	1.5	2	8.8	40	51	128	1.25"X1"	8	49 46.5
CPm40-130	0.75	1	4.8	20	20	190	1.5"X1.5"	8	18 18
CPm25-160	1.1	1.5	6.6	28	28	180	1.5"X1"	8	32 30

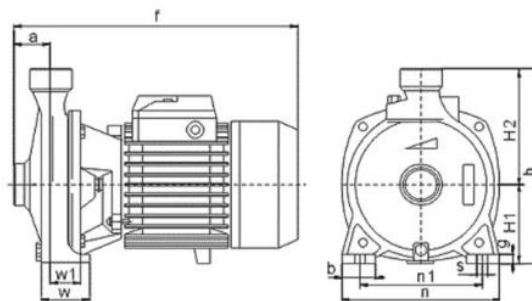


Figura 112. Ficha técnica de motor de 1 y 1.5 hp marca Siemens

Motores trifásicos

Motores totalmente cerrados con ventilación exterior (TCCVE) GP10 (Uso General carcasa en fundición gris)

La nueva generación de motores GP10 (TCCVE) es ideal para su aplicación en equipos de manejo de materiales, bombas, ventiladores, compresores y otras aplicaciones generales en la industria.

Especificaciones Técnicas

- 1 a 20HP
- Factor de servicio de 1.15, 40°C de temperatura ambiente
- 3600, 1800, 1200, 900 RPM
- Trifásico, 60Hz, 208-230/460V de operación
- Cumplen ó exceden los estándares de eficiencia NOM -016-ENER-2002
- Aislamiento clase F, incremento de temperatura clase B @ 1.0 F.S.
- Servicio continuo, Diseño NEMA B
- Armazón 143T al 256T

Características para una larga vida útil

Carcasa y Escudos – De fundición gris proporcionan una integridad estructural excepcional y resistencia a la corrosión. Equipado con patas de fundición gris las cuales son parte integral de la carcasa, y drenes de condensación. Provisto con dispositivos de izaje en armazones 180T a 256T. Su exclusivo diseño de aletas en carcasa maximiza el enfriamiento.

Rotor – Un diseño único de barras de rotor proporciona una mejor eficiencia. Barras más largas y anillos de corto circuito reducen la resistencia para disminuir las pérdidas en el rotor.

Cada conjunto rotor de fundición de aluminio es dinámicamente balanceado para aumentar la vida útil de los rodamientos, además el eje del rotor es de acero al carbón (C1045) de alta resistencia con lo cual se obtiene un desempeño óptimo del rotor.

Estator bobinado – Fabricado con laminaciones de acero de grado eléctrico Premium y alambre magneto de cobre para disminuir las pérdidas y mejorar la eficiencia.

Un diseño único del paquete de laminación del estator disminuye la densidad de flujo y aumenta la capacidad de enfriamiento. Mayor sección transversal del conductor reduce las pérdidas por resistencia en el estator.

Aislamiento – Un sistema de aislamiento para uso inversor de frecuencia, NEMA Clase F no higroscópico con incremento de temperatura Clase B @ 1.0 F.S. proporciona un margen extra de vida térmica.

La aplicación de un sistema de barniz protege al máximo el bobinado contra hongos, corrosión y choques eléctricos. Este sistema de aislamiento cumple o excede con lo requerido por la norma NEMA MG1-2003 parte 31, esto permite que el motor pueda ser operado con variador de frecuencia.

Enfriamiento – Como enfriamiento es montado en la espiga del rotor un ventilador antichispa, bidireccional con un momento de inercia bajo el cual reduce las pérdidas por ventilación, mejora el flujo de aire y reduce el nivel de ruido. Todos los motores son fabricados con capuchón de policarbonato.

Rodamientos – Prelubricados, sobredimensionados y con protección externa (sello tipo V-ring) en eje lado accionamiento.

Lubricación – Es una grasa especial a base de poliurea, probada a alta temperatura, la cual tiene un tiempo de vida útil cuatro veces mayor a cualquier otro tipo de grasa a base de poliurea.

Caja de conexiones sobredimensionada – De fundición de aluminio y con dimensiones mayores a lo establecido por las normas industriales, seccionada en forma diagonal y con capacidad de girar en incrementos de ángulo de 90° para facilitar su posicionamiento, el manejo y conexión de las terminales. Dispositivo de puesta a tierra en el interior de la caja, terminales con un marcado claro y legible.

Resistencia a la corrosión – Construcción de fundición gris, ventilador de polipropileno, capuchón de policarbonato, tornillería galvanizada, recubrimiento de pintura esmalte mejor que epóxico y placa de datos de aluminio resistente a la corrosión.

Modificable – Los motores Siemens GP10 están disponibles con una extensa variedad de modificaciones y kits para satisfacer sus necesidades.



XVII. ANEXOS VI

A. Datos originales

Cuadro 190. Parámetros del Análisis de Aguas realizado por un laboratorio externo de la Planta de Tratamiento Aeróbica del Complejo Comercial y Residencial

Parámetro	Valor
Sólidos en suspensión totales en el afluente	200 mg/L
Sólidos en suspensión totales en el efluente	350 mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno en el afluente	611 mg/L O ₂
Demanda bioquímica de oxígeno en el efluente	468 mg/L O ₂
Demanda química de oxígeno en el afluente	667 mg/L O ₂
Demanda química de oxígeno en el efluente	903 mg/L O ₂

Fuente: (Soluciones Analíticas)

Cuadro 191. Parámetros de diseño teóricos utilizados en los cálculos de rediseño

Parámetro	Valor
Y	0.06 mg/L
k _d	0.03
% sólidos fijos lodos activados	0.20
% sólidos volátiles lodos activados	0.80
% sólidos lodos activados	0.013
% sólidos fijos lodos digeridos	0.40
% sólidos volátiles lodos digeridos	0.60
% sólidos lodos digeridos	0.025
Dosis de cal para lodos activados	300 g Ca(OH) ₂ /kg sólido

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

Cuadro 192. Tiempos medios de retención de sólidos recomendados para el diseño de digestores

Tipo de digestor	Temperatura de funcionamiento	Días recomendados
Una sola fase y alta carga	30°C	14
Convencional	30°C	30 - 60

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

Cuadro 193. Datos teóricos para determinar la cantidad de agua evaporada diariamente en el patio de secado

Dato	Valor
Radiación solar en Guatemala	5.5 kWh/m ² día (INSYT, 2015)
Tiempo de luz solar en Guatemala	11 h (INSIVUMEH, 2006)
Entalpía de vaporización del agua (a 1 atm)	2,257.08 kJ/kg

Fuentes: (INSIVUMEH, 2006) (INSYT, 2015)

Cuadro 194. Flujo de lodos entrante al tratamiento de lodos

Tipo de Planta	Flujo de lodos
Aeróbica	24.70 m ³ /día
Anaeróbica	4.99 m ³ /día

Cuadro 195. Análisis de nutrientes de los lodos tratados actualmente en la planta de tratamiento aeróbica

Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Concentración (ppm)	2300	729.2	0	1107.2	139.4	5.24	315.48	7.6	117.36

Fuente: (Anacafé)

Cuadro 196. Parámetros físicos para determinación de la humedad de muestras de lodos

Fecha (2017)	Temperatura (± 0.05 °C)	pH (± 0.5)	Humedad (± 0.005 %)
24-jul	21.7	7.0	100.00
25-jul	20.3	7.0	83.38
26-jul	20.7	7.5	81.11
27-jul	21.6	7.5	78.30
28-jul	21.1	7.5	75.83
22-ago	21.4	7.0	94.47
23-ago	21.3	7.0	73.24
24-ago	22.0	7.0	74.48
25-ago	21.2	7.0	81.90
28-ago	22.3	7.0	72.30
4-sept	21.5	7.0	92.46
5-sept	20.3	7.0	87.69
6-sept	22.1	7.0	86.89
7-sept	21.4	7.0	73.08
8-sept	21.3	7.0	72.58

Cuadro 197. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Fuente: (Branan, 2005)

Cuadro 198. Coeficientes de pérdida por fricción en accesorios de tuberías

Accesorio	K_f
Codo estándar	
45°	0.35
90°	0.75
T	
En líneas rectas	0.4
Usados como codo	1.0
Retorno, 180°	1.5
Válvula de compuerta	
Semiabierta	4.5
Completamente abierta	0.17
Válvula de ángulo, completamente abierta	2.0
Válvula de globo, completamente abierta	6.0

Fuente: (McCabe, 2007)

Cuadro 199. Consumo promedio por usuario

Distribuidora	Consumo promedio General kWh-mes	Consumo promedio residencial kWh-mes	Consumo promedio comercial kWh-mes	Consumo promedio Industrial kWh-mes
EEGSA	323	151	6,149	101,226
DEOCSA	112	76	4,873	60,550
DEORSA	153	97	5,229	36,251

Fuente: (CNEE, 2016)

B. Datos de placa

Cuadro 200. Datos de equipo utilizado para determinación de humedad en la simulación del patio de secado nivel laboratorio

Equipo	Marca	Modelo	Rango	Incertidumbre
Balanza de humeda	OHANUS	MB 120	0 a 100 %	± 0.005
Termómetro láser	DiversiTech	IRT-1	-60°C a 500°C	± 0.05

C. Cálculos de muestra

1. Masa neta de tejido celular diario en la planta de tratamiento aeróbica. Se utilizaron valores teóricos y valores de la muestra de análisis de aguas. Se determinó que:

$$Px = \frac{0.06}{(1 + (0.03 \text{ día}^{-1})(30 \text{ día}))} \left(\frac{460 \text{ m}^3}{\text{día}} \right) (0.611 - 0.44) \text{ kg/m}^3 = 8.24 \text{ kg VSS/día}$$

2. Determinación de la gravedad específica de los lodos en la entrada del digestor para la planta de tratamiento aeróbica. Se determinó la gravedad específica de los sólidos contenidos en los lodos. Se utilizaron valores teóricos:

$$S_s = \frac{0.2}{2.5} + \frac{0.8}{1}$$

$$S_s = \frac{1}{0.88} = 1.13$$

$$S_{sl} = \frac{0.05}{1.13} + \frac{0.95}{1}$$

$$S_{sl} = \frac{1}{0.99} = 1.01$$

*Este mismo cálculo se realizó para la determinación de la gravedad específica de los lodos en la salida del digestor.

3. Volumen del digestor convencional

$$V = (24.7 \text{ m}^3/\text{día})(30 \text{ días})$$

$$V = 741.0 \text{ m}^3$$

*Se realizó el mismo cálculo para el volumen del digestor de una sola fase y alta carga.

4. Cantidad de metano producido en el digestor

$$V_{CH_4} = 0.388[(0.611 - 0.44) \text{ kg/m}^3(460 \text{ m}^3/\text{día}) - 1.42(55.89 \text{ kg/día})]$$

$$V_{CH_4} = 96.66 \text{ m}^3 CH_4/\text{día}$$

*Este mismo cálculo se realizó para determinar la cantidad de gas metano en el digestor de una sola fase y alta carga.

5. Cantidad de gas total producido en el digestor

Se supuso que el metano producido es el 65% del total de gases que se producen:

$$\frac{70.41 \text{ m}^3/\text{día}}{0.65} = 148.71 \text{ m}^3 \text{ gas/día}$$

*Este mismo cálculo se realizó para determinar la cantidad de gas total en el digestor de una sola fase y alta carga.

6. Determinación de energía producida a partir del gas producido. Se utilizó un poder calórico del gas de 22,400 kJ/m³ (Metcalf & Eddy, 2003):

$$\left(\frac{70.41 \text{ m}^3 \text{ gas}}{\text{día}}\right) \left(\frac{22,400 \text{ kJ}}{\text{m}^3}\right) = \left(2,426,252 \frac{\text{kJ}}{\text{día}}\right) \left(\frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}}\right) = 25.06 \text{ kW} = 25,059 \text{ W}$$

7. Porcentaje de estabilización de los lodos en el digester convencional con 30 días de retención a partir de la cantidad de DBO reducida

$$\frac{(281.06 - 20.24) \text{ kg/día} - 1.42(8.24 \text{ kg/día})}{281.06 \text{ kg/día}} \times 100 = 88.64\%$$

8. Determinación del área individual del patio de secado de lodos. Se supuso una altura de 0.9 m:

$$A = \frac{Qt}{h} = \frac{(24.7 \text{ m}^3/\text{día})(1 \text{ días})}{0.9 \text{ m}} = 32.99 \text{ m}^2$$

9. Cantidad de agua evaporada diariamente en el patio de secado en la planta aeróbica. Se utilizaron datos teóricos para conocer cuánta agua se evapora al día y se utilizó el área del patio en la que irradia la luz solar:

$$\left(5.5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}}\right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) = \left(19,800 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{ día}}\right) \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}\right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{2,257.08 \text{ kJ}}\right) (330 \text{ m}^2) \left(\frac{11 \text{ h}}{24 \text{ h}}\right) = 1326.38 \text{ kg agua}$$

$$(1326.38 \text{ kg agua}) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}}\right) = 1.32 \text{ m}^3 \text{ agua al día}$$

10. Cantidad de lixiviados diarios en el patio de secado. Se asume que la cantidad los lodos para disposición final quedan con un 70% de humedad.

$$(296.90 \text{ m}^3 * 0.30) - 1.32 \text{ m}^3 = 207.83 \text{ m}^3$$

11. Determinación de la bomba de extracción de lodos de la planta aeróbica hacia el patio de secado. Con el caudal diario de lodos y la velocidad lineal determinada por reglas gruesas (Branan, 2005) se determinó el diámetro de la tubería:

$$A = \frac{3.43 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{1.2 \text{ m/s}} = 2.85 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$r = \sqrt{\frac{2.85 \times 10^{-3} m}{\pi}} = 0.030 m$$

$$D = 0.060 m = 2.37 in$$

*Lo mismo con el cálculo de las demás tuberías.

Para determinar las pérdidas por fricción:

$$hf = \left(4(0.08) \frac{50 m}{0.060 m} + 5.42 \right) \frac{\left(1.2 \frac{m}{s} \right)^2}{2} = 24.51 m^2/s^2$$

Finalmente, se determinó la potencia de la bomba:

$$\frac{88870 Pa}{1012 kg/m^3} + \frac{(0.6 m/s)^2}{2} + \eta Wp = \frac{85370 Pa}{1012 kg/m^3} + (9.81 m/s^2)(32 m) + \frac{(1.2 m/s)^2}{2} + 24.51 m^2/s^2$$

$$\eta Wp = 335.52 m^2/s^2$$

*La potencia considerada fue de 50% de acuerdo a consulta de proveedores Shmalenberger y WEMCO.

$$Wp = \left(\frac{335.52 m^2/s^2}{0.50} \right) \left(\frac{3.47 kg}{s} \right) \left(\frac{1 hp}{745.7 W} \right) = 3.09 hp$$

*Se realizó el mismo para calcular la potencia de bomba de la planta anaeróbica

D. Datos calculados

Cuadro 201. Masa neta de tejido celular diario en la planta de tratamiento aeróbica

Masa neta de tejido celular (Px)	
8.24 kg SSV/día	

Cuadro 202. Gravedad específica de los lodos a la entrada y salida del digestor

Gravedad específica en la entrada	Gravedad específica en la salida
1.006	1.012

Cuadro 203. Caudal de lodos provenientes de etapas previas de la planta aeróbica y anaeróbica

Caudal de entrada al digestor	Caudal de salida del biodigestor
24.70 m ³ /día	4.99 m ³ /día

Cuadro 204. Volumen diario producido del metano y otros gases en el digestor y energía producida

Tipo de digestor	Metano (65%)	Otros gases (35%)	Energía
Convencional	96.66 m ³ /día	148.71 m ³ /día	600 kWh
Una sola fase y alta carga	95.13 m ³ /día	146.35 m ³ /día	590 kWh

Cuadro 205. Porcentaje de estabilización en el digestor

Tipo de digestor	Estabilización
Convencional	88.64%
Una sola fase y alta carga	87.23%

Cuadro 206. Cantidad de agua y lodo retirados diariamente de cada uno de los patios de secado

Agua evaporada	Agua filtrada	Lodo seco
1.33 m ³ /día	7.58 m ³ /día	20.78 m ³ /día

Cuadro 207. Cantidad de volumen y masa de arena y grava requerida total en el patio de secado

	Arena	Grava
Volumen	66.0 m ³	66.0 m ³
Masa	105, 565 kg	95, 668 kg

Cuadro 208. Caracterización física de los lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales aeróbica actual

Parámetro	Valor Promedio
Temperatura	21.3 ± 0.05 ° C
pH	7 ± 0.5
Humedad del lodo digerido	95.64 ± 0.005 %
Humedad del lodo deshidratado	73.57 ± 0.005 %

Cuadro 209. Datos para el cálculo de bombas

Dato	Bomba Planta Aeróbica	Bomba Planta Anaeróbica
Caudal	3.43×10^{-3} m/s	1.39×10^{-3} m/s
Reynolds	12,211	6,768
Hedstrom	122,787	37,951
Wp	$337 \text{ m}^2/\text{s}^2$	$575 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Pérdidas por fricción	$26.42 \text{ m}^2/\text{s}^2$	$25.66 \text{ m}^2/\text{s}^2$
Potencia	2,342 W	617 W

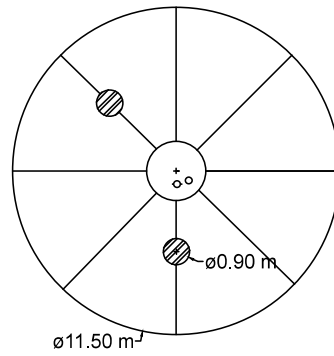
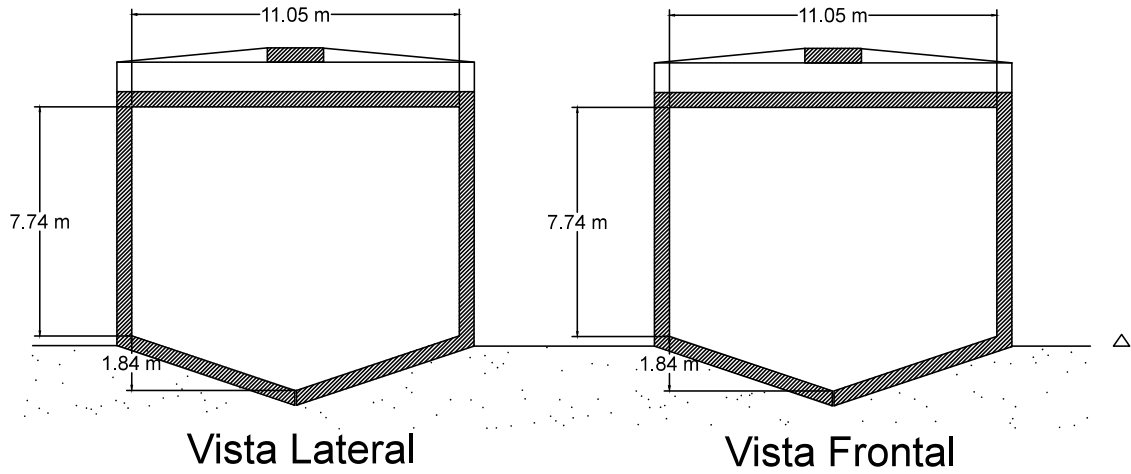
E. Especificaciones de tuberías

Cuadro 210. Especificaciones de tuberías en el diseño

Ubicación	Tramo	Material	Velocidad (m/s)	Diámetro nominal (in)	Diámetro externo (in)	Espesor (in)
Planta aeróbica	Digestor – Bomba	PVC	0.6	4	4.500	0.130
	Bomba – Línea conducción	PVC	1.2	3	3.250	0.125
	Línea de conducción – Patio	PVC	1.2	3	3.250	0.125
Planta anaeróbica	Biodigestor y tanque – Bomba	PVC	0.6	2	2.375	0.115
	Bomba – Línea conducción	PVC	1.2	1.5	1.900	0.110
	Línea de conducción – Patio	PVC	1.2	1.5	2.900	0.110
Digestor	Salida de gas	Acero carbón	3.5	3	3.500	0.216

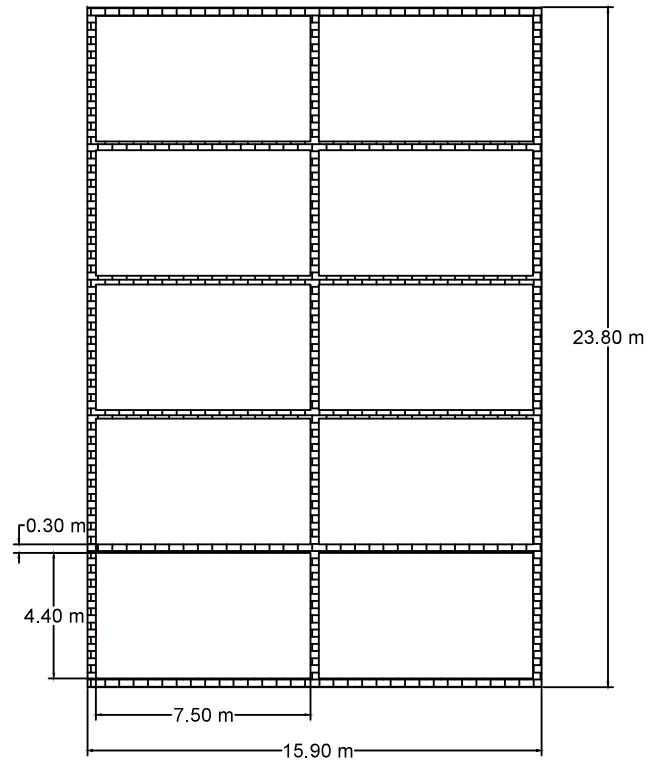
F. Figuras del rediseño de equipos del tratamiento de lodos

Figura 113. Vista lateral, frontal y de planta del digester convencional de lodos

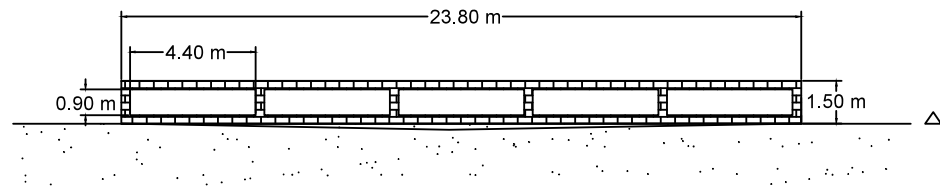


Vista en Planta

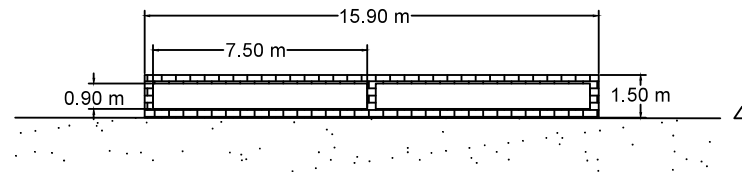
Figura 114. Vista lateral, frontal y de planta del patio de secado convencional de arena de lodo



Vista en Planta



Vista Lateral



Vista Frontal

Orden: 24-4676
 Cliente: Mónica García
 Finca: Universidad del Valle
 Localización: Guatemala, Guatemala



INFORME DE RESULTADOS DE ABONO ORGÁNICO LÍQUIDO 0-2

RESULTADOS DE LABORATORIO

No. de Lab.	Identificación	ppm									pH
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	
15315	Patio de secado de lodos de PTAR.	2300	729.2	ND	1107.2	139.4	5.24	315.48	7.60	117.36	7.84

Preparación de la muestra por método de digestión ácida y lectura de elementos P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn por
Espectrometría de Emisión Óptica - ICP
 Análisis de Nitrógeno por **método fotométrico**.
 ND: No detectable

Muestra No Conforme según código:

Fecha de ingreso: miércoles, 23 de agosto de 2017
 Fecha de ejecución: lunes, 28 de agosto de 2017
 Fecha de entrega: viernes, 01 de septiembre de 2017

Ing. Doris Vega
 Coordinador Analab

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión **ORIGINAL**.
 El Laboratorio **ANALAB**, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por **ANALAB**.

G. Imágenes de la planta de tratamiento de aguas residuales actual

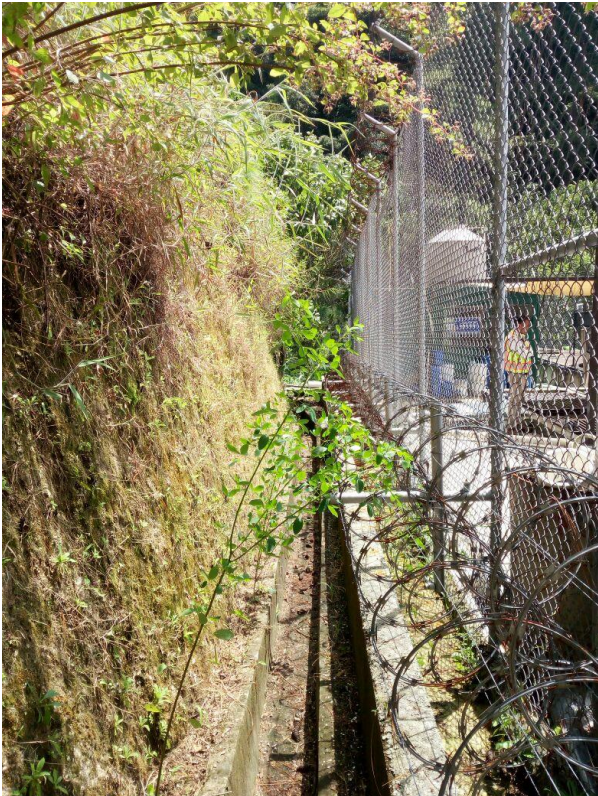


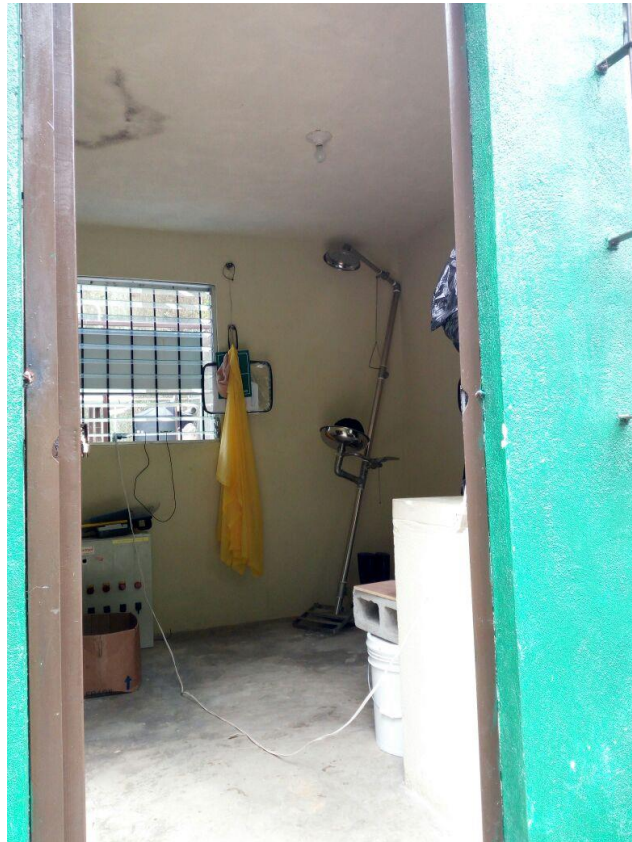


XVIII. ANEXO VII

A. Estado actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): aerobia.









B. Cotizaciones

1. Cotización de pérgola para patio de lodos y escaleras por Artes en Metal



AIRSA
ESTRUCTURAS

Cotizacion






Artes en Metal

Ciudad de Guatemala, Teléfono (02) 88824004 / 888177925-6 Dujote a pagos Trimestrales

Nombre Universidad del Valle de Guatemala
DPI
Tel:
Em@il: san14775@uvg.edu.gt
Direccion zona 15
Municipio Guatemala
Departamento Guatemala

Cotizacion 200283
Fecha 12/10/2017

Tiempo de Entrega 25 días hábiles

Uni.	Categ	Codigo	Imagen	medidas (aprox)			Descripcion	Precio U	Anticipo	TOTAL
				Alto (mts)	Largo (mts)	Ancho				
1	Pergolas	PER1203		15	22	0	Pergola suspendida con lamina Galvanizada acanalada y tendales de 2x1" paralelos de tubo cuadrado de 2"	Q. 112.860,00	Q. 67.716,00	Q. 112.860,00
1	Estructuras	EsoGab1		11,2	0,6	0	Escalera de Gato de tubo cuadrado de 1 1/2 Pintura anticorrosiva fast drive para interperie, ancladas con perno hilti de 3/8x4" incluyen pasamanos en fin y huellas de tubo cuadrado de 1 1/2 con anillos de proteccion y techo de lamina galvanizada acanalada	Q. 15.255,00	Q. 9.133,00	Q. 15.255,00
1	Estructuras	EsoGab1		14	0,6	0	Escalera de Gato de tubo cuadrado de 1 1/2 Pintura anticorrosiva fast drive para interperie, ancladas con perno hilti de 3/8x4" incluyen pasamanos en fin y huellas de tubo cuadrado de 1 1/2 con anillos de proteccion y techo de lamina galvanizada acanalada	Q. 19.068,00	Q. 11.440,80	Q. 19.068,00

***Tomar nota que si la visita no se ha realizado, los precios de esta cotizacion son estimados

Para reservar favor realizar su deposito a

pago de cheque a nombre de:
Estructuras Airsa S.A.
NO. DE CUENTA MONETARIA BANCO INDUSTRIAL
NO. 315-005571-7

A cancelar el día de la instalación: Q. 58873,2

Anticipo	Q.	88.309,80
Precio	Q.	131.413,39
IVA	Q.	15.769,61
TOTAL	Q.	147.183,00

2. Cotización de pérgola para patio de lodos por Inmecco



LOTE 49 JARDINES
DE SAN LUCAS 4,
SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ
T 7830 1721/22/23
www.grupoinmecco.com

VALOR DE INVERSIÓN:

-Estructura:	Q. 157,300.00
-Bases:	<u>Q. 28,300.00</u>
TOTAL:	Q. 185,600.00

En letras: (Ciento ochenta y cinco mil, seiscientos quetzales exactos).

NOTAS:

El presente presupuesto, tiene una vigencia de 10 días hábiles.

El presente presupuesto no incluye los pagos de Contratación, Seguros, Licencias, ni Fianzas, los cuales deben ser pagados por el contratante.

FORMA DE PAGO:

70% Anticipo
20% Al estar material en obra
10% A la entrega

TIEMPO DE EJECUCIÓN:

25 días hábiles.

El tiempo de entrega se rectificará mediante la devolución de planos firmados y entrega del anticipo correspondiente. Agradeciendo su amable atención y esperando recibir sus gratas órdenes, nos suscribimos de ustedes.

GRUPO INMECCO, S.A.

Lic. Luis Roberto Rivera Salinas
Gerente de Mercadeo y Ventas

3. Cotización de difusores de burbuja fina por ecodena

Presupuesto

Ref. Art. Difusores de aire de microburbujas Mod. ECO 320, según descripción:

Q 364.80 (IVA incluido)
(Precio unitario para 270 unidades)

Condiciones de venta

Incluye:

- Difusores de aire de microburbujas Mod. ECO 320, según descripción.
- Transporte dentro del área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala.

No incluye:

- Instalación de los difusores.
- Todo lo que no ha sido mencionado anteriormente.

Validez de la oferta: 60 días desde la fecha de emisión

Plazo de entrega: A convenir, según existencias.

Formas de pago: A convenir.

Fdo.: Licda. Mayra Vazquez

Departamento Comercial

4. Referencia de precio de un soplador para el aireador, compra por amazon



Click to open expanded view

Cole-Parmer

FPZ SCL K10 Regenerative Blowers, 556 cfm (15,744 L/min), 208-230/460 VAC, 20 Hp

[Be the first to review this item](#)

Price: **\$5,636.06**

Note: Signature required upon delivery due to high value of this item. [Details](#) ▾

Temporarily out of stock.

Order now and we'll deliver when available. We'll e-mail you with an estimated delivery date as soon as we have more information. Your account will only be charged when we ship the item.

This item does not ship to **Guatemala**. Please check other sellers who may ship internationally. [Learn more](#)

Ships from and sold by Amazon.com.

New (1) from **\$5,636.06** & FREE shipping. [Details](#)

Specifications for this item

Part Number	AO-79607-83	Length	1.0 inches
Number of Items	1	Material	N/A
Brand Name	Cole-Parmer	Measurement System	US
Height	1.0 inches	Model Number	AO-79607-83
Item Weight	254.99 pounds	Width	1.0 inches

5. Cotización de clarificador con paletas inclinadas



October 12, 2017

Alejandra Sanchez
Universidad del Valle de Guatemala

Email: san14775@uvg.edu.gt

Subject: HQI Quotation # CL-10-06-EXP-17
Ref: Price – Inclined Plate Clarifier

Dear Alejandra;

We are pleased to submit our proposal.

Item 1: (1) HQI CLA-84LP Inclined Plate Clarifier including:

- . 20 GPM Capacity @ .24 GPM/FT²
- . 84 ft² of projected plate settling area.
- . Approx. 4'6"W X 5'-6"L X 7'-7"H
- . Shipping weight 1309 lbs. Operating Weight 3786 lbs
- . Clarifier construction: grade 304 stainless steel.
- . Inclined plates construction: 304 Stainless Steel or PVC
- . Collection trough system with effluent orifices
- . 3" Inlet/Outlet 150# RF Flange
- . 3" Sludge Outlet 150# RF Flange
- . Sampling ports (as required)
- . Sludge hopper @ min. 45 Deg. To capture and contain settleable solids.
- . (3) Copies O&M Manuals

PRICE: F.O.B. Manufacturing Facility **\$ 16,890.00**

OPITON(S):

160-gallon Rapid Mix & Flocculation Tank \$ 6,050.00
Optional Ladder & Platform \$ 9,500.00

6. Cotización de bomba dosificadora de cloro por Mapeco



- Construcción de Cisternas • Instalaciones Eléctricas •
- Sistemas de Bombeo Sumergibles e Hidroneumáticos •
- Desarrollo y Rehabilitación de Pozos Profundos •
- Asesoría, Venta y Mantenimiento •

Guatemala, 11 de Octubre de 2017.

Señores:
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Atención: Srita. Maria Alejandra Sanchez
Tel.

COTIZACIÓN:

La presente cotización es para el suministro e instalación de dosificador de cloro.

1	1- Bomba Dosificadora de cloro PULSAFEEDER, 30 GPD, 80 PSI, 115 V.	Q	3,675.00
2	Accesorios varios y misceláneos de instalación	Q	250.00
3	Mano de obra técnica: Instalación y pruebas de funcionamiento	Q	800.00
4	1- Tonel plástico para solución de cloro de 55 galones	Q	270.00
5	50- Galones de hipoclorito de sodio al 5% (primera recarga)	Q	750.00
TOTAL			Q 5,745.00

NOTAS:

La presente cotización no contempla trabajos de obra civil.

Todo nuestro equipo cuenta con un año de garantía por desperfectos de fabricación.

La forma de pago: Tramite de Cheque

Cheques a nombre de : MAPECO

Dudas, por favor llame será un gusto atenderle.

7. Cotización de termocupla por Inresa

inresa

INGENIERIA Y REPRESENTACIONES, S.A.
11 Avenida 12-91, Zona 2, Ciudad Nueva, Ciudad de Guatemala, Guatemala
PBX.: +(502) 2222-8000 Ventas: 2222-8022
e-mail: ventas@inresa.gt www.inresa.gt

Cliente: José Velasquez

Dirección: Ciudad

Telefono:

email:

N.I.T.: CF

Codigo.: C0000

Presupuesto No. 43483 - 2017

Guatemala, 11 de octubre de 2017 1 / 1

Condiciones de Pago CONTADO - CHEQUE DE EMPRESA

Tiempo de Entrega Soonest

Contacto

vel14387@uvg.edu.gt / Fac. Ingeniería / 4689-1717

Atendido Por: Elder Ortiz Morales

Celular: 59906088

Correo: e.ortiz@inresa.gt

VALIDEZ DE LA OFERTA 10 dias

REGIMEN ISR: SUJETO A PAGOS TRIMESTRALES NIT 510009-7

ARTICULO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
INST-VA-VA8060	MEDIDOR TERMOPAR DE DOS VIAS	1	520.00	520.00
TOTAL INCLUYE IVA			QTZ	520.00


8. Cotización de cal hidratada por EPA

CEDULA:		Cotización No. 330939		Pag. No. 1 / 1	
		Emisión: 11/10/2017		Fecha: 11/10/2017	
		Señor (es): 299 - UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA TEL:30128564 Dirección: KILOMETRO 4.5 CARRETERA AL ATLANTICO ZONA 17, GUATEMALA, GUATEMALA			
Tienda: 002					
Código	Descripción	U/V	Cantidad	Q	Total Artículo
3025000	CAL HIDRATADA 20KG	SAC	560	29,50	16.520,45
OBSERVACIONES: - PRECIOS PUEDEN VARIAR SIN PREVIO AVISO - Cotización valida solo en la ciudad donde se emitió. Presupuesto válido por 1 día - "PM" Precio Oportunidad y Empeque válido hasta Fac. Ind. - "OP" Precio Oportunidad hasta la fecha indicada. - "VV" Precio de Venta por Volumen. - "M" Precio de Venta por Empeque.					
Elaborado Por MISHO					Total 16.520,45

9. Cotización de extracción de lodos

SUCCIÓN DE FOSA SÉPTICA

Deseas conocer más de nuestros servicios
Interactúa en nuestra Pagina Web y Redes Sociales



Diseño, construcción y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Succión de Fosas Sépticas y cajas de trampa de grasa

Video Inspección

Aplicación de Enzimas

Venta de químico Desincrustante

Alquiler de Mingitorios

Renta de Sanitarios Portátiles para Minusválidos

Renta de Sanitarios Portátiles

1ª calle 38-16 zona 11 colonia Toledo

UBICACIÓN	PERIMETRO DE LA CAPITAL
SERVICIO	EXTRACCION DE LODOS
VIAJE DE 8M3	01
TOTAL	Q 2,000.00

Se dejará un pequeño contenido de biomasa en el fondo de las fosas, de aproximadamente 10 centímetros, esto es con el fin de continuar con los procesos biológicos de las mismas.

Necesitamos que las tapaderas estén descubiertas solamente para introducir las mangueras y succionar.

LOS PRECIOS ANTERIORMENTE DESCRITOS INCLUYEN:

- Flete de traslado del equipo para realizar la succión
- Asistencia de personal calificado para el vaciado de la PTAR
- Conforme el artículo 10 del decreto 60-94 del Congreso de la República, el Impuesto al Valor Agregado (IVA) está incluido en el precio.
- Traslados de las aguas.
- Certificado Ambiental, el cual los respalda a ustedes sobre el destino final y manejo de los desechos.

LOS PRECIOS ANTERIORMENTE DESCRITOS NO INCLUYEN:

- Localización de la Fosa Séptica, pozo de Absorción o Planta de tratamiento de aguas residuales

Descubrir los accesos, movimientos en jardines, losas, etc.

10. Cotización de análisis de laboratorio y medición de caudal



Dirección: 9ª. Avenida 3-08 Zona 2 de Mixco
Colonia Alvarado, Guatemala
PBX: 2322-3600

E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt

Página web: www.ecoquimsa.com.gt

- Intervalo de medidas: podrán realizarse cada 30 minutos. Sin embargo, se hará según sus especificaciones.
- Medida utilizada: litros por segundo (L/s), podemos presentar en otras dimensionales a conveniencia solamente necesitamos lo haga de nuestro conocimiento antes de iniciar el monitoreo o al Representante de Servicio al Cliente.
- Tablas y gráficos: se presenta una tabla con los resultados del valor máximo, mínimo y promedio. Las gráficas se presentan con todos los resultados, permitiendo visualizar el comportamiento durante todo el día.



PROPUESTA ECONÓMICA

Costo análisis y muestreo

Costo análisis y muestreo

Costo por análisis físico-químico en 1 muestra:	Q 1,025.00
Costo por análisis microbiológico en 1 muestra:	Q 160.00
Costo por análisis de metales en 1 muestra:	Q 1,750.00

Muestreo de 24 horas

Costo por toma de 1 punto (24 horas)	Q 450.00
Costo por medición de caudal 1 punto (24 horas)	Q 750.00

Costo total del muestreo y análisis: Q .00*

COSTO TOTAL POR MUESTREO Q 1

Nota: (1) El costo total puede variar de acuerdo a modificaciones o cambios que hayan surgido durante la ejecución del trabajo. Usted será informado de estos cambios al momento de ingreso al Laboratorio, para su aprobación correspondiente.

11. Carta del Ingeniero civil Alfredo Jiménez

ING. MARIO ALFREDO JIMENEZ TELLO. COLEGIADO 2685

MSc. RECURSOS HIDRAULICOS. USAC

DIPLOMADO EN HIDROLOGIA SUBTERRANEA. UPC Barcelona España.

Oficio 020-inginteg-2017

Guatemala 15 de octubre de 2017

Señores
Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Depto. De Ing. Química e Ing. Industrial
Ciudad de Guatemala
Presente.

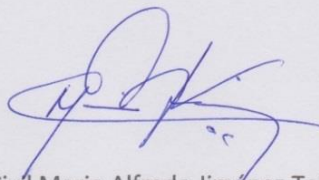
Estimados señores:

En relación al MEGAPROYECTO "Rediseño de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales tipos Aerobia y Anaerobia de un complejo comercial y residencial", un grupo de estudiantes requirió mi colaboración en el tema de presupuestos de los diversos componentes de las plantas en referencia.

Por lo que a requerimiento de los estudiantes hago constar. Por medio de la presente que preste mis servicios profesionales ad-honorem para trabajar con ellos durante el mes de octubre en el tema de costos de obras de concreto y otros componentes.

Se extiende la presente en una sola hoja carta, en papel membretado, a los quince días del mes de octubre de dos mil diecisiete.

Atte.



Mario Alfredo Jiménez Tello
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO 2685

Ing. Civil Mario Alfredo Jiménez Tello
Colegiado 2685

1 a. calle "A" 17-59, zona 4 de Mixco, colonia Valle del Sol. Tel. 52041027
majimeneztello@hotmail.com

12. Cotización tanque 22,000 L



Guatemala, a 13 de Octubre de 2017

Propuesta

Por medio de la presente, le hacemos llegar nuestra propuesta sobre la solicitud que realizó a nuestra empresa.

Proyecto y sus alcances

Cuenta con un Centro de Investigación Aplicada y Aseguramiento de la Calidad (CIAAC), el cual se encarga de las mejoras e innovaciones en nuevos productos, así como consultas técnicas especializadas en relación a nuestros productos y aplicaciones. Seguimiento personalizado al día en curso de la producción realizada directamente desde la planta correspondiente a su pedido.

Sobre el equipo

- Se ofrecen Productos Marca Rotoplas.
- Fabricados con HDPE, 100% virgen de una sola pieza
- No se oxidan, ni corroen
- Ligeros y fáciles de transportar
- No requieren mantenimiento
- Fáciles de reparar
- Servicio técnico
- Garantía

Ventajas Competitivas

- Única empresa centroamericana especializada en la fabricación de tinacos y tanques para agua, certificada bajo la norma de calidad ISO 9001-2008.
- En nuestros procesos se utilizan solamente materias primas vírgenes aprobadas y certificadas por FDA de Estados Unidos de Norteamérica y calificados bajo la norma ISO 9001.
- Transporte diseñado especialmente para entregar el producto hasta el destino final.

TECNOLOGÍAS Y SOLUCIONES HIDRAÚLICAS SA
 NIT: 93338244
 4ta calle 0-47 edificio Ingenia 2do nivel zona 10 Guatemala
 Teléfono: (502) 2361-6778





Guatemala, a 13 de Octubre de 2017

Propuesta económica

	Precio
TANQUE 22000 LTS STD	Q. 26,384.53
TANQUE 22000 LTS R 20%	Q. 36,184.50

- **Forma de pago por anticipado**
- **Precio Unitario con IVA**
- **Envío a domicilio sin costo **aplican restricciones****

Requerimientos para levantar el pedido

- Comprobante de pago.
- Dirección de entrega del producto.
- Croquis de localización
- Persona autorizada para recibir el producto
- Datos fiscales para elaboración de factura.
- Ficha técnica de sustancia a almacenar

TECNOLOGÍAS Y SOLUCIONES HIDRÁULICAS SA
 NIT: 93338244
 4ta calle 0-47 edificio Ingenia 2do nivel zona 10 Guatemala
 Teléfono: (502) 2361-6778




13. Cotización agitador 1 HP

INDUSTRIES MIXERS HIGH SHEAR DISPERSERS IMPELLERS STANDS CONTAINERS & TANKS ACCESSORIES TANK DESIGNER CONTACT US

Home > Industries > Waste Water > 1 HP Electric Direct Drive Heavy Duty Clamp Mount

RELATED PRODUCTS




High Efficiency Impeller, Sin Dia, 5/8in Bore
\$269.00
Add to Cart

MY CART

You have no items in your shopping cart.


COMPARE PRODUCTS

You have no items to compare.



1 HP Electric Direct Drive Heavy Duty Clamp Mount
SKU: HDC100EDD
\$1,454.00
Heavy Duty Clamp, 1HP, Electric, 1750RPM, 3/4"X48"316SS, (2) 5" prop 316SS


[Download the tech sheet](#)



Qty: [Customize](#) [Add to Cart](#)

[Add to Compare](#)

[t](#) [f](#) [Twitter](#) [+](#)



Fuente: <http://www.mixerdirect.com/1-hp-electric-direct-drive-heavy-duty-clamp-mount.html>



¿Esta no es la imagen de tu producto?
Marca esta casilla para ayudarnos a mejorar tu experiencia de compra.

*Aeropost brinda un servicio de compras por Internet. El Precio Total incluye todos los cargos hasta la entrega del pedido. En caso de que el proveedor: (a) no posea el producto, (b) los datos del mismo fueran incorrectos, o (c) existieran cambios o restricciones por parte de la tienda (precio, inventario, u otras condiciones para la venta), Aeropost se reserva el derecho de cancelar la orden. Para obtener más información, ver nuestros [Terminos y condiciones](#)

**El Precio Todo Incluido es garantizado únicamente por 48 horas.

Ayúdanos a completar la siguiente información.
URL del producto: <http://www.mixerdirect.com/1-hp-electric-direct-drive-heav...>

1 HP Electric Direct Drive Heavy Duty Clamp Mount
Guatemala
Precio (USD) Cantidad:

Detalles
Especifica la talla, color y cualquier otro detalle de su producto
Ayúdanos a completar la información de tu producto:
 No tengo detalles adicionales del producto

\$4,453.14 [Agregar al carrito](#)

Cargos administrativos **\$207.56**
Precio todo incluido en Guatemala

3 Cuotas de **\$1,484.38**




Fuente: <http://www.aeropost.com>

14. Cotización agitador 1.5 HP

INDUSTRIES MIXERS HIGH SHEAR DISPERSERS IMPELLERS STANDS CONTAINERS & TANKS ACCESSORIES TANK DESIGNER CONTACT US

Home > Mixers > Lg. Mixers 100-50,000 Gal > Top Entry > 1.5 HP Top Entry Flange Mount Mixer 10:1 Gearbox 24" High Efficiency Impeller

RELATED PRODUCTS



Stainless Steel Tank, 200 Gals. High Polish Finish. Slope Bottom
\$5,733.00
Add to Cart


MY CART

You have no items in your shopping cart.

RECENTLY VIEWED PRODUCTS

1 HP Electric Direct Drive Heavy Duty Clamp Mount


COMPARE PRODUCTS



1.5 HP Top Entry Flange Mount Mixer 10:1 Gearbox 24" High Efficiency Impeller
SKU: TFL015175
\$3,533.00


Top Entry Flange Mount Mixer, 10:1, 1.5 HP, 24" High Efficiency Impeller, 316SS, 1.25"x 54" Shaft, 175 RPM, 6" 304SS ANSI Flange

[Download the tech sheet](#)



Qty: [Customize](#) [Add to Cart](#)

[Add to Compare](#)



Fuente: <http://www.mixerdirect.com/1-hp-top-entry-mixer-5-1-gearbox-14-hei-2466.html>



¿Esta no es la imagen de tu producto?
Marca esta casilla para ayudarnos a mejorar tu experiencia de compra.

*Aeropost brinda un servicio de compras por Internet. El Precio Total incluye todos los cargos hasta la entrega del pedido. En caso de que el proveedor: (a) no posea el producto, (b) los datos del mismo fueran incorrectos, o (c) existieran cambios o restricciones por parte de la tienda (precio, inventario, u otras condiciones para la venta), Aeropost se reserva el derecho de cancelar la orden. Para obtener más información, ver nuestros [Terminos](#) y [condiciones](#)

**El Precio Todo Incluido es garantizado únicamente por 48 horas.

Ayúdanos a completar la siguiente información.

URL del producto: <http://www.mixerdirect.com/1-hp-top-entry-mixer-5-1-gear...>

15 HP Top Entry Flange Mount Mixer 101 Gearbox 24 High Efficiency Impeller

Guatemala

Precio (USD) Cantidad:

Detalles

Especifica la talla, color y cualquier otro detalle de su producto

Ayúdanos a completar la información de tu producto:

No tengo detalles adicionales del producto

\$5,277.43 [Agregar al carrito](#)

Cargos administrativos **\$249.31**

Precio todo incluido en Guatemala

3 Cuotas de **\$1,759.14**

Tasa Cero
BAC
CREDOMATIC

Fuente: <http://www.aeropost.com/>

15. Listado de precios de válvulas Amanco

Página 1

LISTADO DE PRECIOS
VALVULERÍA

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO
966811	Válvula Compuerta MATCO 1/2"	Q. 60.00
966812	Válvula Compuerta MATCO 3/4"	Q. 80.00
966813	Válvula Compuerta MATCO 1"	Q. 120.00
966814	Válvula Compuerta MATCO 1 1/4"	Q. 150.00
966815	Válvula Compuerta MATCO 1 1/2"	Q. 190.00
966816	Válvula Compuerta MATCO 2"	Q. 280.00
966817	Válvula Compuerta MATCO 2 1/2"	Q. 530.00
966818	Válvula Compuerta MATCO 3"	Q. 730.00
966819	Válvula Compuerta MATCO 4"	Q. 1,130.00



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO
972032	Válvula de Bola PVC MATCO 12mm-1/2" C/C	Q. 15.00
972041	Válvula de Bola PVC MATCO 18mm-3/4" C/C	Q. 19.00
972042	Válvula de Bola PVC MATCO 25mm-1" C/C	Q. 30.00
972043	Válvula de Bola PVC MATCO 31mm-1 1/4" C/C	Q. 43.00
972044	Válvula de Bola PVC MATCO 38mm-1 1/2" C/C	Q. 55.00
972045	Válvula de Bola PVC MATCO 50mm-2" C/C	Q. 90.00
972046	Válvula de Bola PVC MATCO 62mm-2 1/2" C/C	Q. 195.00
972047	Válvula de Bola PVC MATCO 75mm-3" C/C	Q. 300.00
972048	Válvula de Bola PVC MATCO 100mm-4" C/C	Q. 660.00



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO
972049	Válvula de Cheque MATCO 12mm-1/2" C/R	Q. 57.00
972050	Válvula de Cheque MATCO 18mm-3/4" C/R	Q. 74.00
972051	Válvula de Cheque MATCO 25mm-1" C/R	Q. 101.00
972052	Válvula de Cheque MATCO 31mm-1 1/4" C/R	Q. 172.00
972053	Válvula de Cheque MATCO 38mm-1 1/2" C/R	Q. 212.00
972054	Válvula de Cheque MATCO 50mm-2" C/R	Q. 339.00
972055	Válvula de Cheque MATCO 62mm-2 1/2" C/R	Q. 589.00
972056	Válvula de Cheque MATCO 75mm-3" C/R	Q. 1,010.00
972057	Válvula de Cheque MATCO 100mm-4" C/R	Q. 1,678.00



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO
940621	Chorro Br 1/2"	Q. 37.00
940623	Chorro Br 3/4"	Q. 49.00
940624	Chorro Br 1/2" pesado	Q. 69.00
962877	Chorro palanca 1/2"	Q. 34.00
940625	Válvula de globo Br 1/2"	Q. 47.00
940626	Válvula de bola Zinc 1/2"	Q. 32.00
940627	Válvula de bola Zinc 3/4"	Q. 45.00



Oficinas Comerciales PBX: 2410-1300
31 calle 25-45 zona 12 Col. Santa Elisa,
Edificio Intercargo Business Logistic Center, 6to Nivel
Planta Palín PBX: 2410-1301
Km. 36.7 Autopista Palín, CA 9 Sur Palín, Escuintla

Precios incluyen IVA
Precios vigentes a partir del 11 de septiembre 2017
Precios sujetos a variaciones sin previo aviso

16. Listado de precios tubería Amanco

Página 3

LISTADO DE PRECIOS
TUBERÍA DE PVC
 AGUA POTABLE Y DRENAJES / ASTM D2241
 PVC TIPO 1 GRADO 1 PVC 1120

TUBERÍA PARA
AGUA POTABLE

DIÁMETRO NOMINAL Tubo 6 m. con campana	316 P8L, SDR 13.6	260 P8L, SDR 17	180 P8L, SDR 28	126 P8L, SDR 32.6	100 P8L, SDR 41	80 P8L, SDR 61
1/2"	916078 Q. 29.50					
3/4"		916088 Q. 38.50				
1"		916105 Q. 59.60	916178 Q. 48.40			
1 1/4"		916118 Q. 94.40	916189 Q. 62.10	916248 Q. 57.10		
1 1/2"		916119 Q. 121.60	916194 Q. 85.60	916253 Q. 68.30	916313 Q. 54.60	
2"		916121 Q. 189.80	916198 Q. 130.20	916258 Q. 104.10	916321 Q. 81.90	916364 Q. 73.20
2 1/2"		916128 Q. 285.20	916205 Q. 190.90	916281 Q. 153.70	916328 Q. 125.30	916366 Q. 114.10
3"		916131 Q. 420.30	916210 Q. 279.10	916298 Q. 231.90	916331 Q. 179.80	916368 Q. 145.20
4"		916472 Q. 679.50	916166 Q. 456.30	916218 Q. 363.30	916278 Q. 298.90	916337 Q. 239.40
6"		916089 Q. 1,102.40	916181 Q. 737.70	916223 Q. 593.90	916283 Q. 478.70	916338 Q. 386.90
8"		916081 Q. 1,455.60	916188 Q. 968.40	916226 Q. 824.60	916288 Q. 618.70	916340 Q. 498.50
8"		916089 Q. 2,554.20	916170 Q. 1,698.60	916231 Q. 1,361.50	916294 Q. 1,074.90	916344 Q. 865.50

TUBERÍA AGUA POTABLE JUNTA RÁPIDA

NORMA ASTM D3139
 NORM A ASTM D2241
 NORM A ASTM F477



DIÁMETRO NOMINAL Tubo 6 m. con campana	260 P8L, SDR 17	180 P8L, SDR 28	126 P8L, SDR 32.6	100 P8L, SDR 41	80 P8L, SDR 61
4"	916083 Q. 806.00	916168 Q. 539.30	916219 Q. 416.60	916277 Q. 332.40	916338 Q. 264.20
6"	916092 Q. 1,744.50	916184 Q. 1,166.80	916228 Q. 955.90	916287 Q. 741.50	916341 Q. 585.40
8"	916100 Q. 2,957.10	916171 Q. 1,978.80	916232 Q. 1,532.40	916296 Q. 1,205.30	916345 Q. 972
10"	916108 Q. 4,586.20	916180 Q. 3,069.80	916240 Q. 2,386.80	916299 Q. 1,872.20	916348 Q. 1,500.20
12"	916113 Q. 6,452.20	916188 Q. 4,318.40	916244 Q. 3,352.60	916304 Q. 2,673.10	916362 Q. 2,106.50
15"		916182 Q. 6,227.70	916250 Q. 4,850.40	916310 Q. 3,813.90	916363 Q. 3,056.30
18"		916188 Q. 9,291.50	916258 Q. 7,207.30	916318 Q. 5,595.50	



Oficinas Comerciales PBX: 2410-1300
 31 calle 25-45 zona 12 Col. Santa Elisa,
 Edificio Intercargo Business Logistic Center, 6to Nivel
Planta Palín PBX: 2410-1301
 Km. 36.7 Autopista Palín, CA 9 Sur Palín, Escuintla

Precios incluyen IVA
 Precios vigentes a partir del 11 de septiembre 2017
 Precios sujetos a variaciones sin previo aviso

17. Cotización bomba dosificadora

T. (502) 4624-3737 | info.ews@comersa.com
Login Usuarios
Registro
Guatemala
Seleccione Su País

COMERSA
EWS
MEMBER
Water Quality

INICIO
CATÁLOGO
NOTICIAS Y PROMOCIONES
NOSOTROS
DESCARGAS
CONTACTO

Inicio / Catálogo / DOSIFICADORA STENNER ECON VX / DOSIFICADORA STENNER ECON VX

A DOMICILIO



- Filtros de Agua Residenciales
- Ozonos
- Osmosis Inversa
- Ultravioletas
- Bomba Dosificadora De Químicos
- Filtros de Sedimento Ensamblados
- Filtros de Carbón Activado Ensamblados
- Filtros Oxidantes Ensamblados
- Suavizadores Ensamblados
- Deionizadores de Cama Mixta
- Tanques para Filtros
- Medios Filtrantes
- Válvulas de Control para Filtro y Suavizador Automáticas
- Válvulas para Filtro y Suavizador Manuales
- Distribuidores y/o Hub and Laterals

[← Regresar al Catálogo](#)

DOSIFICADORA STENNER ECON VX

Código: BOM012

✓ Consulte por Disponibilidad

Precio: GTQ. 2,950.00

* IVA INCLUIDO

🔔 Recuerde que debe ingresar a su cuenta para poder agregar productos a su Cotización.

Dosificador ECON VX, sistema dosificador peristáltico con motor variable, no pierde cebo, repuestos baratos, capacidad de inyectar desde 2.7 GPD hasta 23 GPD con hasta 80 psi de contrapresión. Fácil de instalar. El mejor precio del mercado con excelente calidad. VIDEO <https://youtu.be/dqKD3SQJxxw>

🔔 Deseo Más Información

Imágenes
Descargar Hoja Técnica
Descargar PDF

Descargar PDF



🛒 Agregar a Mi Cotización

Productos Similares

Fuente: http://www.ews.com.gt/catalogo/informacion_producto/533/12

18. Cotización bomba centrífuga ¾ HP



0 items - 0.00 | Login | Terminos y Condiciones | Devoluciones | Envío

Home Quienes Somos Servicios Productos Clientes Satisfechos Contactenos

Inicio / Bombas Centrífugas / BOMBA STA-RITE 3/4 HP FSNDH



BOMBA STA-RITE 3/4 HP FSNDH

2,421.00

Q. MAX: 50L/min

H. MAX: 25m

Suct. Max: 6m

V. 110-220

r.p.m: 3450

1

Añadir al carrito

SKU: 1160047. Categoría: Bombas Centrífugas. Etiquetas: 3/4hp, bombas centrífugas, bombas domiciliarias, bombas para agua, Guatemala, PENTAIR, starite.

Categorías

Accesorios HG (0)
 Accesorios para Bombas (9)
 Accesorios PVC (0)
 Bombas Centrífugas (10)
 Bombas de Gasolina (12)
 Bombas Hidroneumáticas (2)
 Bombas para agua de Caudal (0)
 Bombas para fuente (1)
 Bombas Sumergibles (47)
 - Motores Sumergibles

Fuente: hidrobombas.com.gt/producto/bomba-sta-rite-34-hp-fsndh

19. Cotización bomba centrífuga 1 HP

The screenshot shows the product page for the BOMBA FORAS 1 HP JET 115. The layout includes the company logo, navigation menu, breadcrumb trail, product image, specifications, price, and a list of categories. The specifications listed are: Q. MAX: 50L/min, H. MAX: 35m, Suct. Max: 6m, V. 110, and r.p.m: 3400. The price is 1,200.00. The product is categorized under Bombas Centrífugas, Bombas para agua, and Bombas para deposito bomba 1 hp. The website also features a shopping cart icon and a login button.

Fuente: http://hidrobombas.com.gt/producto/bomba-foras-1-hp-jet-115-2/

20. Cotización análisis de laboratorio



Dirección: 9ª. Avenida 3-08 Zona 2 de Mixco
Colonia Alvarado, Guatemala
PBX: 2322-3600

E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página web: www.ecoquimsa.com.gt

- Intervalo de medidas: podrán realizarse cada 30 minutos. Sin embargo, se hará según sus especificaciones.
- Medida utilizada: litros por segundo (L/s), podemos presentar en otras dimensionales a conveniencia solamente necesitamos lo haga de nuestro conocimiento antes de iniciar el monitoreo o al Representante de Servicio al Cliente.
- Tablas y gráficos: se presenta una tabla con los resultados del valor máximo, mínimo y promedio. Las gráficas se presentan con todos los resultados, permitiendo visualizar el comportamiento durante todo el día.



PROPUESTA ECONÓMICA

Costo análisis y muestreo

Costo análisis y muestreo

Costo por análisis físico-químico en 1 muestra:	Q 1,025.00
Costo por análisis microbiológico en 1 muestra:	Q 160.00
Costo por análisis de metales en 1 muestra:	Q 1,750.00

Muestreo de 24 horas

Costo por toma de 1 punto (24 horas)	Q 450.00
Costo por medición de caudal 1 punto (24 horas)	Q 750.00

Costo total del muestreo y análisis: **Q .00***

COSTO TOTAL POR MUESTREO **Q 0**

Nota: (1) El costo total puede variar de acuerdo a modificaciones o cambios que hayan surgido durante la ejecución del trabajo. Usted será informado de estos cambios al momento de ingreso al Laboratorio, para su aprobación correspondiente.

Item	Unidad	PRECIO	Q	Q*	PRECIO TOTAL
4 TANQUE SEDIMENTADOR PRIMARIO					
Cemento portland grs	saco	75.00	28.23	Q	5,773.68
Arena de río	m3	200.00	1.66	Q	461.17
Piedrn	m3	100.00	2.18	Q	1,228.87
Madera para formaleta	pt.	5.00	37.06	Q	2,724.65
Alambre de amarre No. 16	lb.	5.00	21.80	Q	108.99
Clavo diversas medidas	lb.	5.00	21.80	Q	108.99
Malla electrosoldada 6"x6" 4.5/4.5	unidad	275.00	6.54	Q	1,797.55
Impermeabilizante	gal.	225.00	1.53	Q	343.53
Material Selecto	m3	80.00	2.24	Q	179.33
Base selec.= area*0.10*1.35					
CONCRETO	Piso (m3)	3.32	3.32		
8.5 sacos					
0.5 arena					
0.8 piedrn					
ARMADO	Piso (m2)	16.60	16.60		
14.1 m2					
area x 1.2/14.10					
REPELLO	Piso (m3)	0.25	0.25		
12.4 sacos					
1.05 arena					
ALIZADO	Piso (m3)	0.06	0.06		
24.7 sacos					
0.7 arena					
IMPERMEABILIZANTE	Piso(m2)	5.73	5.73		
1 GL. Para 15 m2					
FORMALETA	Piso(m2)	17.18	17.18		
25 pie tabla x m2					
1 lb. X m2 de clavo					
1 lb. X m2 de alambre					
PRECIO					
mercado					
O*Q					
P.T.					
TOTAL MATERIALES					12,726.76
TOTAL MANO DE OBRA					6,363.38
COSTO DIRECTO					19,090.14
COSTO INDIRECTO					6,681.55
PRECIO TOTAL					25,771.68

Figura 118. Cálculo tanque sedimentador primario

Item	Unidad	PRECIO	Q	Q*	PRECIO TOTAL
3 TRAMPA DE GRASA					
Cemento portland grs	saco	75.00	6.56	Q	1,022.85
Arena de río	m3	100.00	0.39	Q	81.96
Piedrn	m3	200.00	0.62	Q	210.91
Madera para formaleta	pt.	5.00	91.00	Q	455.00
Alambre de amarre No. 16	lb.	5.00	3.64	Q	18.20
Clavo diversas medidas	lb.	5.00	3.64	Q	18.20
Malla electrosoldada 6"x6" 4.5/4.5	unidad	275.00	0.75	Q	205.68
Codo de 6" PVC y accesorios	unidad	100.00	1.00	Q	100.00
Tee de 6" PVC y accesorios	unidad	150.00	1.00	Q	150.00
Impermeabilizante	gal.	225.00	0.42	Q	93.75
Material Selecto	m3	80.00	0.69	Q	55.60
Base selec.= area*0.10*1.35					
CONCRETO	Piso (m3)	0.722	0.722		
8.5 sacos					
0.5 arena					
0.8 piedrn					
ARMADO	Piso (m2)	5.148	5.148		
14.1 m2					
area x 1.2/14.10					
REPELLO	Piso (m3)	0.066	0.066		
12.4 sacos					
1.05 arena					
ALIZADO	Piso (m3)	0.0165	0.0165		
24.7 sacos					
0.7 arena					
IMPERMEABILIZANTE	Piso(m2)	3	3		
1 GL. Para 15 m2					
FORMALETA	Piso(m2)	3.25	3.25		
25 pie tabla x m2					
1 lb. X m2 de clavo					
1 lb. X m2 de alambre					
PRECIO					
mercado					
O*Q					
P.T.					
TOTAL MATERIALES					2,412.15
TOTAL MANO DE OBRA					1,206.07
COSTO DIRECTO					3,618.22
COSTO INDIRECTO					1,266.38
PRECIO TOTAL					4,884.60

Figura 117. Cálculo trampa de grasa

Figura 119. Cálculo tanque sedimentador primario

PROP. 1:2:2.5		Malla electrosoldada		PROP. 1:3		PROP. 1:1		RENDIMIENTO		25 pie tabla x m2		precio	O*Q		
8.5 sacos		14.1 m2		12.4 sacos		24.7 sacos		1 GL. Para 15 m2		1 lb. X m2 de clavo		mercado			
0.5 arena		área x 1.2/14.10		1.05 arena		0.7 arena				1 lb. X m2 de alambre					
0.8 piedrin															
Base selec.= area*0.10*1.35															
CONCRETO		ARMADO		REPELLO		ALIZADO		IMPERMEABILIZANTE		FORMALETA		TOTAL CANT	Unidad	P.U.	P.T.
Piso (m3)	muros (m3)	Piso(m2)	muros(m2)	Piso (m3)	muros (m3)	Piso (m3)	muros (m3)	Piso(m2)	muros(m2)	Piso(m2)	muros(m2)				
3.65	5.63	18.25	28.13	0.28	0.49	0.07	0.12	6.38	22.33		28.13				
5 FILTRO ANAEROBIO CIRCULAR															
Cemento portland gris	31.03	47.82		3.48	6.09	1.73	3.03					93.18	saco	Q 75.00	Q 6,988.76
Arena de río	1.83	2.81		0.29	0.52	0.05	0.09					5.58	m3	Q 100.00	Q 558.35
Piedrín	2.92	4.50										7.42	m3	Q 200.00	Q 1,484.15
Madera para formaleta											703.22	703.22	p.t.	Q 5.00	Q 3,516.10
Alambre de amarre No. 16											28.13	28.13	lb.	Q 5.00	Q 140.64
Clavo diversas medidas											28.13	28.13	lb.	Q 5.00	Q 140.64
Malla electrosoldada 6"x6" 4.5/4.5			3.11	4.79								7.89	unidad	Q 275.00	Q 2,170.96
Losa prefabricada de 0.15 m. de espesor												6.38	m2	Q 250.00	Q 1,594.85
Filtro material de plástico												6.38	m3	Q 150.00	Q 956.91
Impermeabilizante								0.43	1.49			1.91	gl.	Q 225.00	Q 430.61
Material Selecto	2.46											2.46	m3	Q 80.00	Q 197.11
TOTAL MATERIALES														Q	18,179.08
TOTAL MANO DE OBRA														Q	9,089.54
COSTO DIRECTO														Q	27,268.63
COSTO INDIRECTO														Q	9,544.02
PRECIO TOTAL														Q	36,812.65

Figura 120. Cálculo filtro anaeróbico circular

PROP. 1:2:2.5		Malla electrosoldada		PROP. 1:3		PROP. 1:1		RENDIMIENTO		25 pie tabla x m2		precio	O*Q		
8.5 sacos		14.1 m2		12.4 sacos		24.7 sacos		1 GL. Para 15 m2		1 lb. X m2 de clavo		mercado			
0.5 arena		área x 1.2/14.10		1.05 arena		0.7 arena				1 lb. X m2 de alambre					
0.8 piedrin															
Base selec.= area*0.10*1.35															
CONCRETO		ARMADO		REPELLO		ALIZADO		IMPERMEABILIZANTE		FORMALETA		TOTAL CANT	Unidad	P.U.	P.T.
Piso (m3)	muros (m3)	Piso(m2)	muros(m2)	Piso (m3)	muros (m3)	Piso (m3)	muros (m3)	Piso(m2)	muros(m2)	Piso(m2)	muros(m2)				
3.65	5.63	18.25	28.13	0.28	0.49	0.07	0.12	6.38	22.33		28.13				
5 FILTRO ANAEROBIO CIRCULAR															
Cemento portland gris	31.03	47.82		3.48	6.09	1.73	3.03					93.18	saco	Q 75.00	Q 6,988.76
Arena de río	1.83	2.81		0.29	0.52	0.05	0.09					5.58	m3	Q 100.00	Q 558.35
Piedrín	2.92	4.50										7.42	m3	Q 200.00	Q 1,484.15
Madera para formaleta											703.22	703.22	p.t.	Q 5.00	Q 3,516.10
Alambre de amarre No. 16											28.13	28.13	lb.	Q 5.00	Q 140.64
Clavo diversas medidas											28.13	28.13	lb.	Q 5.00	Q 140.64
Malla electrosoldada 6"x6" 4.5/4.5			3.11	4.79								7.89	unidad	Q 275.00	Q 2,170.96
Losa prefabricada de 0.15 m. de espesor												6.38	m2	Q 250.00	Q 1,594.85
Filtro material de plástico												6.38	m3	Q 150.00	Q 956.91
Impermeabilizante								0.43	1.49			1.91	gl.	Q 225.00	Q 430.61
Material Selecto	2.46											2.46	m3	Q 80.00	Q 197.11
TOTAL MATERIALES														Q	18,179.08
TOTAL MANO DE OBRA														Q	9,089.54
COSTO DIRECTO														Q	27,268.63
COSTO INDIRECTO														Q	9,544.02
PRECIO TOTAL														Q	36,812.65

XIX. ANEXOS VIII

A. Entrevista Jefe de Operaciones

Universidad Del Valle De Guatemala

Facultad de educación

Psicopedagogía

Trabajo de Graduación

Modalidad: Mega proyecto

Segundo semestre 2017

Jefe de Operaciones



1. **¿Cuál considera que es el mayor problema por el cual los restaurantes y quioscos de alimentos no utilizan trampas de grasa?**

2. **¿Qué necesitan las empresas para utilizar trampas de grasa?**

B. Encuesta a restaurantes y quioscos de alimentos

Universidad Del Valle De Guatemala
Facultad de Educación
Psicopedagogía
Trabajo de Graduación
Modalidad: Mega proyecto
Primer semestre 2017



Restaurantes y quioscos de alimentos

Objetivo: Identificar el nivel de conocimiento que poseen los arrendantes y/o propietarios de los diferentes comercios que se ubican en Cardales, sobre el uso del agua en su establecimiento de trabajo.

Instrucciones: a continuación encontrará una serie de preguntas, las cuales deberá leer atentamente y responder según lo solicitado, si tiene alguna duda, puede preguntar al entrevistador para facilitar sus respuestas.

1. **¿Conoce el término de educación ambiental?**

2. **¿Sabe usted que es cultura ambiental y el beneficio que representa para el ambiente?**

3. **¿Su sistema de agua, tiene trampas de grasa? Si - No. Explique su respuesta. Si su respuesta es sí, explique cómo se realiza el mantenimiento de las trampas de grasa.**

4. **¿Considera que un proceso de capacitación sería útil para aprender sobre el cuidado del ambiente?**

C. Bifolear trampas de grasa

1. Validación de herramienta. Para justificar la creación y distribución del recurso fue necesario realizar juicio de expertos.

Según Pérez y Cuervo-Martínez (2008) «El juicio de expertos es un método de validación para verificar la fiabilidad de una investigación que se define como “una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden brindar un conjunto de opiniones, información, evidencia, juicios y valoraciones. Considerando lo anterior se compartió el bifolear a dos expertos en trampas de grasa y recurso hídrico”. Con el fin de señalar aspectos y sugerencias de mejora.

Proceso de validación juicio de expertos: Se compartió el documento de Word por vía electrónica a los Ingenieros expertos en recursos hídricos, ambos utilizaron el recurso de comentarios para señalar los aspectos y sugerencias de mejora

2. Propuesta de capacitación. Diseño de propuesta: Para responder las necesidades encontradas en la investigación, se realizó lo siguiente:

Como parte del programa de educación ambiental se diseñó una propuesta de capacitación, que tiene como objetivo promover aprendizajes sobre educación ambiental en los colaboradores de restaurantes y quioscos de alimentos sobre las necesidades encontradas, dicha propuesta tiene técnicas y estrategias que responden a las necesidades del grupo etario.

XX. ANEXOS IX

A. Entrevista Jefe de Operaciones

Universidad Del Valle De Guatemala

Facultad de educación

Psicopedagogía

Trabajo de Graduación

Modalidad: Mega proyecto

Segundo semestre 2017

Jefe de Operaciones

Entrevista Semi estructurada



Situación actual:

1. ¿Cuál es la situación actual de las plantas de tratamiento de aguas residuales del complejo?
2. ¿Conocen los colaboradores del complejo la problemática existente respecto a las plantas de tratamiento?
3. ¿Cuál es el nivel de conocimiento que posee el personal respecto al tema del manejo del recurso hídrico?
4. ¿Existe algún medio o recurso al cual los colaboradores puedan avocarse para obtener información sobre las plantas de tratamiento que posee el complejo u otros temas relacionados con el manejo del recurso hídrico?
5. ¿Cómo desea involucrar el aspecto educativo para resolver la problemática expuesta?

B. Encuesta modalidad presencial Departamento de Recursos Hídricos

Universidad Del Valle De Guatemala

Facultad de educación

Psicopedagogía

Trabajo de Graduación

Modalidad: Mega proyecto

Segundo semestre 2017

Departamento de Recursos Hídricos



Instrucciones: a continuación encontrará una serie de preguntas, las cuales deberá leer atentamente y responder según lo solicitado, si tiene alguna duda, puede preguntar al entrevistador para facilitar sus respuestas.

Situación actual:

1. ¿Conoce usted la ubicación de la planta de tratamiento, la ha visitado?

Explique:

2. ¿Conoce la situación operacional actual de la planta de tratamiento?

Explique:

Importancia del recurso hídrico:

1. ¿Sabe usted de la situación actual en Guatemala acerca del recurso hídrico?

Explique:

2. ¿Sabe usted que existe una ley nacional que monitorea la calidad microbiológica y físico-química del recurso hídrico? ¿Podría indicar cuál es?

Explique:

Balance hídrico

1. ¿Sabe usted a qué se refiere un balance hídrico?

Explique:

2. ¿Podría indicar alguna medida de mitigación sencilla de implementar, que permita mejorar la situación actual sobre la falta de lluvia ?

Explique:

Políticas:

1. ¿Conoce usted las políticas de la empresa sobre el tema de gestión de aguas residuales?

Explique:

2. Proponga al menos dos políticas que puedan ser implementadas de manera inmediata y que requieran bajos recursos económicos.

Describa:

C. Encuestas en línea personal administrativo

Universidad Del Valle De Guatemala

Facultad de educación

Psicopedagogía

Trabajo de Graduación

Modalidad: Mega proyecto

Segundo semestre 2017

Departamento Administrativo



Instrucciones: a continuación encontrará una serie de preguntas, las cuales deberá leer atentamente y responder según lo solicitado, seleccionando la opción que corresponda a su respuesta.

PREGUNTA 1

Departamento:

Gerencia

Mercadeo

Administración

Finanzas

Seguridad

Comercial

IT

Ventas

Recursos Hídricos

Diseño

Comercialización

Seguridad Industrial

RRHH

PREGUNTA 2

¿Conoce usted la ubicación de las plantas de tratamiento de agua?

PREGUNTA 3

¿Las ha visitado?

PREGUNTA 4

¿Conoce cómo opera actualmente la planta de tratamiento?

PREGUNTA 5

¿Sabe usted de la situación actual en Guatemala acerca del recurso hídrico?

De ser su respuesta sí, favor comentar al respecto:

PREGUNTA 6

¿Cuál es la legislación nacional referente al agua potable?

PREGUNTA 7

¿Qué es un balance hídrico?

PREGUNTA 8

¿Podría indicar alguna medida de mitigación sencilla de implementar, que permita mejorar la situación actual sobre la falta de lluvia?

PREGUNTA 9

¿Conoce usted las políticas de la empresa sobre el tema de gestión de aguas Residuales?

PREGUNTA 10

Indique cuál de estas políticas pueden ser implementadas de manera inmediata y que requieren bajos recursos económicos

D. Bifoliar alcantarillado



SERVICIO DE ALCANTARILLADO



BENEFICIOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR

Con la finalidad de mejorar la calidad del recurso hídrico (lagos, ríos, mares), es necesaria la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales; cuando la operación y el mantenimiento de las mismas, se hace de forma adecuada, se logra obtener grandes beneficios para el medio ambiente. La operación adecuada de una planta de tratamiento de aguas residuales produce los siguientes beneficios:

1. Genera un aumento en el oxígeno disuelto que se encuentra en el agua residual, mejorando la calidad de la descarga a los cuerpos receptores como lagos, ríos, mares, entre otros.
2. Permite recuperar zonas áridas que estén en peligro de desertificación, mediante riegos con el reuso del agua y fertilización que se consigue por el uso de lodos tratados provenientes de la PTAR.
3. El agua tratada también puede utilizarse para regar zonas verdes urbanas (jardines, parques, entre otros).
4. Se deposita en los cuerpos receptores una descarga con menor cantidad de materia orgánica y otros contaminantes.
5. Disminuye la carga microbiológica que se descarga a un cuerpo receptor.
6. Se conservan los espacios ecológicos y se mantiene la capacidad de reproducción del ecosistema.

¡Con tu colaboración cuidaremos juntos el medio ambiente!



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

1. ¿POR QUÉ Y PARA QUÉ ES IMPORTANTE Y NECESARIO PAGAR UNA CUOTA DE ALCANTARILLADO?

Porque con esos recursos se brinda mantenimiento y operación a las plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR, donde se realiza el proceso correspondiente, el cual permite un mejor uso de dicho recurso, contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

2. ¿QUIÉNES DEBEN PAGAR ÉSTA CUOTA Y DE QUÉ FORMA SE HACE?

Todos los usuarios que consumen agua potable y que generan aguas residuales. Es por esto que la cuota correspondiente al servicio de alcantarillado se reporta en el recibo de cobro mensual de agua potable.

3. ¿CUAL O QUIÉN ES EL ENTE REGULADOR DE ÉSTA NORMA?

Es responsabilidad de todos respetar y cumplir con el Marco Legal que contempla el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006; así mismo el cobro por el servicio público de agua potable y alcantarillado contemplado en el Acuerdo No. CDW-036-03 Consejo Municipal, Municipalidad de Guatemala. adicionalmente, como parte de la comunidad perteneciente a este complejo, es necesario conocer y cumplir con la citada en el Manual de Operaciones de Ciudad Cayalá.

4. ¿CUALES SON LAS CONSECUENCIAS AL NO PAGAR EL SERVICIO DE ALCANTARILLADO?

Como resultado de no pagar esta cuota, se producirá un mal o nulo tratamiento de aguas residuales y como consecuencia de ello, se incurrirá con el incumplimiento del marco legal y aspectos antes mencionados. Para el funcionamiento adecuado de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Cayalá conocer esta cuota es obligatorio.

5. ¿A QUIÉNES AFECTA O BENEFICIA ÉSTE SERVICIO Y CÓMO?

Afecta o beneficia a todos los que hacemos uso de las instalaciones dentro de Ciudad Cayalá, pues el agua se utiliza en aseo, riego, servicios sanitarios, entre otros usos que se tiene de este recurso.

6. ¿CUAL ES EL IMPACTO AMBIENTAL QUE PROVOCA ÉSTE SERVICIO?

Positivo: el tratamiento de aguas residuales permite que permanezca la biodiversidad en los ríos, además de no interrumpir el ciclo natural del agua; además genera la oportunidad de reusar las aguas tratadas en agua para riego.

Negativo: el malo o nulo tratamiento de las aguas residuales puede provocar un incremento en la contaminación de los ríos y otros cuerpos receptores, provocando la aparición de enfermedades, plagas, malos olores, entre otros factores que afectarán a la población y el entorno.

7. ¿CUAL ES EL MARCO LEGAL QUE RESPALDA ÉSTA NORMA O EL PAGO DE ÉSTA CUOTA?

- CONSEJO MUNICIPAL, MUNICIPALIDAD DE LA CIUDAD DE GUATEMALA Artículo 6
- Acuerdo Gubernativo 236-2006. MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
- Cobro por el servicio público de agua potable y alcantarillado contemplado en el Acuerdo No. CDW-036-03 Consejo Municipal, Municipalidad de Guatemala.
- Manual de Operaciones, Ciudad Cayalá.



¿SABÍAS QUÉ?...

Del 100% de agua que cada persona consume, el 85% se puede recuperar a través del buen funcionamiento de la planta.

¡Por eso tu colaboración es importante!

XXI. GLOSARIO

AFLUENTE: el agua captada por un ente generador.

AGUAS RESIDUALES: las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.

AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL: las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.

AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO: las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.

ALCANTARILLADO PLUVIAL: el conjunto de tuberías, canalizaciones y obras accesorias para recolectar y conducir las aguas de lluvia.

ALCANTARILLADO PÚBLICO: el conjunto de tuberías y obras accesorias utilizadas por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial, o combinación de ambas que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor.

CARACTERIZACIÓN DE UNA MUESTRA: la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

CARACTERIZACIÓN DE UN EFLUENTE O UN AFLUENTE: la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el presente Reglamento.

CARGA: el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día.

CAUDAL: el volumen de agua por unidad de tiempo.

COLIFORMES FECALES: el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

CUERPO RECEPTOR: embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO: la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO: la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

DILUCION: el proceso que consiste en agregar un volumen de agua con el propósito de disminuir la concentración en un efluente de aguas residuales.

EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES: las aguas residuales descargadas por un ente generador.

ENTES GENERADORES: la persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.

ESTABILIZACIÓN DE LODOS: el proceso físico, químico o biológico al que se someten los lodos para acondicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final.

ESTERO: la zona del litoral que se inunda durante la pleamar. Puede ser tanto arenoso como rocoso y en ocasiones alcanza gran amplitud, tanto mayor cuanto más leve sea la pendiente y más notorias las mareas. Con frecuencia tiene un amplio desarrollo en las desembocaduras fluviales.

EUTROFIZACIÓN: el proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.

FERTIRRIEGO: la práctica agrícola que permite el reuso de un efluente de aguas residuales, que no requiere tratamiento, a fin de aprovechar los diversos nutrientes que posee para destinarlos en la recuperación y mejoramiento de suelos así como en fertilización de cultivos que no se consuman crudos o precocidos.

HUMEDAL: el sistema acuático natural o artificial, de agua dulce o salada, de carácter temporal o permanente, generalmente en remanso y de poca profundidad.

INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL: los documentos técnicos definidos en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, Acuerdo Gubernativo No. 23-2003 y sus reformas, contenidos en los Acuerdos Gubernativos No. 424-2003 y 704-2003; los cuales permiten realizar una identificación y evaluación sistemática de los impactos ambientales de un proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad, desde la fase de construcción hasta la fase de abandono.

LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE: el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.

LODOS: los sólidos con un contenido variable de humedad provenientes del tratamiento de aguas residuales.

MANTO FREÁTICO: la capa de roca subterránea, porosa y fisurada que actúa como reservorio de aguas que pueden ser utilizables por gravedad o por bombeo.

META DE CUMPLIMIENTO: la determinación numérica de los valores que deben alcanzarse en la descarga de aguas residuales al final de cada etapa de cumplimiento. En el caso de los entes generadores nuevos y de las personas nuevas que descargan al alcantarillado público, al iniciar operaciones.

MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA: el régimen de cumplimiento de valores de parámetros en cargas, con parámetro de calidad asociado, en distintas etapas.

MONITOREO: el proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reuso y lodos.

MUESTRA: la parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

MUESTRAS COMPUESTAS: dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

MUESTRA SIMPLE: la muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos en el momento de la toma.

PARÁMETRO: la variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándole un valor numérico.

PARÁMETRO DE CALIDAD ASOCIADO: el valor de concentración de demanda bioquímica de oxígeno, expresado en miligramos por litro, que determina la condición del efluente y se aplica en el modelo de reducción progresiva de cargas.

PERSONA QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO: la persona individual o jurídica, pública o privada, que descarga aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público.

PERSONA EXISTENTE QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO: la persona que descarga al alcantarillado público establecida previo a la vigencia del Acuerdo Gubernativo 236-2006

PERSONA NUEVA QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO: la persona que descarga al alcantarillado público establecida posteriormente a la vigencia del Acuerdo Gubernativo 236-2006

PUNTO DE DESCARGA: el sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.

REUSO: el aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

SERVICIOS PÚBLICOS MUNICIPALES: aquellos que, de acuerdo con el Código Municipal, prestan las municipalidades directamente o los concesionan y que generan aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas.

SISTEMA DE ALCANTARILLADO PRIVADO: el conjunto de tuberías y obras accesorias para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo especial, originadas por distintas personas individuales o jurídicas privadas, hasta su disposición a una planta de tratamiento de aguas residuales privada.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

*Todas las definiciones fueron tomadas del Acuerdo Gubernativo 236-2006

