

Universidad del Valle de Guatemala.

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química



Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con alto contenido de aceites y grasas en la industria de alimentos

Trabajo de graduación presentado por Víctor Manuel Flores Martínez para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química.

BIBLIOTECA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Guatemala

2007

Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con alto contenido de aceites y grasas en la industria de alimentos

Universidad del Valle de Guatemala.

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con alto contenido de aceites y grasas en la industria de alimentos

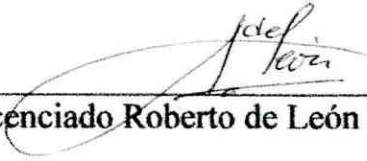
Trabajo de graduación presentado por Víctor Manuel Flores Martínez para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química.

BIBLIOTECA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Guatemala

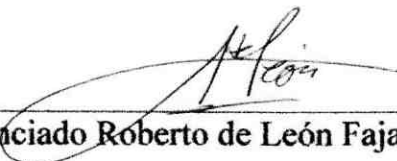
2007

Asesor:

(f) 
Licenciado Roberto de León Fajardo

Tribunal examinador:

(f) 
Ingeniero Gamaliel Zambrano

(f) 
Licenciado Roberto de León Fajardo

(f) 
Ingeniero Jaime Rosales

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de Diciembre del 2007.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de todo corazón a:

Dios

Mi madrecita linda Amarilis Martínez, por toda su dedicación, esfuerzo y amor.

Mis abuelitos

Mi novia

Mis tíos

Mis primos (Mis hermanos)

Universidad del Valle de Guatemala por la beca otorgada y por la oportunidad de alcanzar mis sueños, en especial a Doña Ángela Cáceres y Licenciada Ana Luisa de Bohem

Fundación Juan Bautista Gutiérrez por la beca otorgada y por la oportunidad de alcanzar mis sueños, en especial a Doña Isabelita Gutiérrez de Bosch y Don Edgar Estrada

Mis amigos, en especial a los Magníficos

Mis catedráticos

Mi jefe y compañeros de trabajo

Residencia Universitaria Ciudad Vieja CUCV, por la formación espiritual y moral recibida durante mis años de estudios Universitarios

A todas las personas que me apoyaron MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTADO DE TABLAS.....	vii
LISTADO DE GRÁFICAS.....	viii
LISTADO DE CUADROS.....	ix
LISTADO DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A. Remoción de aceites y grasas.....	3
B. Combustibles a partir de biomasa.....	3
C. Biocombustibles líquidos.....	4
D. Biodiesel.....	5
E. Plantas de tratamiento.....	6
F. Estanques de equilibrio o de homogenización.....	8
G. Sistema de flotación.....	9
H. Separación por gravedad.....	13
I. Separadores de aceites y grasas.....	17
J. Filtros a presión.....	18
K. Neutralización (Ajuste del pH).....	19
L. Floculación.....	23
M. Aireación extendida.....	28
N. Lagunas aireadas.....	28
III. JUSTIFICACIÓN.....	32
IV. OBJETIVOS.....	33
A. Objetivo general.....	33
B. Objetivos específicos.....	33
V. METODOLOGÍA.....	34
VI. ESQUEMA DE PROCESOS.....	35
VII. DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO.....	36
1. Tanque de acondicionamiento (A).....	37
2. Separador por gravedad (B).....	38
3. Trampa de aceite y grasa "aire disuelto" (C).....	40
4. Reactores aerobios (H).....	41
5. Tanque sedimentador y neutralizador (F).....	42
6. Filtro prensa (J) y Tanque de recirculación de filtro prensa (Q).....	43
7. Filtro de arena "filtro pulidor" (I).....	44
8. Deodorizador "carbón activado" (G).....	45
9. Tanque suavizador de agua para caldera "Tanque con resinas" (E).....	46
10. Tanque de almacenamiento de aceite y grasa recuperada (D1).....	47
11. Tanques de almacenamiento de agua tratada (M, N).....	48
12. Equipos de planta de tratamiento.....	49
RESUMEN DE EQUIPOS.....	50
VIII. COSTOS.....	52
IX. DISCUSIÓN.....	53
X. CONCLUSIONES.....	64
XI. RECOMENDACIONES.....	65
XII. BIBLIOGRAFÍA.....	66
XIII. APÉNDICE.....	68

LISTADO DE TABLAS

	Página
Tabla No. 1: Parámetros para la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores según el REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS.....	74
Tabla No. 2: Detalle de filtros prensa.....	75
Tabla No. 3: Detalle de suavizadores.....	76
Tabla No. 4: Factores usados para estimación de costos.....	77
Tabla No. 5: Modelos de compresores.....	80

LISTADO DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica No. 1: Relación de desempeño para sistemas de aireación por burbujeo difuso	12
Gráfica No. 2: Comparación de la eficiencia de utilizar los métodos de filtración y ultrafiltración en el tratamiento.....	70
Gráfica No. 3: Comparación de la eficiencia de utilizar los métodos de centrifugación y ultrafiltración en el tratamiento.....	71
Gráfica No. 4: Comparación de la eficiencia de utilizar los métodos de coagulación y ultrafiltración en el tratamiento.....	72
Gráfica No. 5: Comparación de la eficiencia de utilizar diferentes métodos de pretratamiento y ultrafiltración en el tratamiento.....	73
Gráfica No. 6: Gráfica de cabeza de presión versus flujo volumétrico para seleccionar bombas.....	78
Gráfica No. 7: Gráfica de cabeza de presión versus flujo volumétrico para determinar los HP de la bomba, rpm, eficiencia y potencia del motor.....	79

LISTADO DE CUADROS

	Página
Cuadro No. 1: Especificación del biodiesel en Estados Unidos	6
Cuadro No. 2: Residuos generados por diversos procesos de tratamiento de aguas residuales.....	7
Cuadro No. 3: Resumen de tecnologías de neutralización	22
Cuadro No. 4: Tipos principales de lagunas de estabilización.....	30
Cuadro No. 5: Efectos del pretratamiento y tratamiento de lodos sobre los lodos y las opciones de uso y disposición.....	31

LISTADO DE FIGURAS

	Página
Figura No. 1: Componentes del sistema de tratamiento y disposición de aguas Residuales.	6
Figura No. 2: Planta de tratamiento de aguas residuales.....	7
Figura No. 3: Diseño de algunos sistemas de separación por gravedad.....	16
Figura No. 4: Sistema de floculación y precipitación.....	25
Figura No. 5: Diagrama de un sistema de floculación y precipitación.....	26
Figura No. 6: Tanque de separación por flotación y sedimentación.....	27
Figura No. 7: Proceso de biodegradación de la materia orgánica.....	27
Figura No. 8: Una laguna aireada es aeróbica, si es bien mezclada, facultativa si hay presencia de sólidos en descomposición en el fondo	29

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el de diseñar una planta de tratamiento para retener los aceites y las grasas provenientes de actividades de las industrias alimenticias, evitando la contaminación de efluentes y que cumpla desde ya, con el máximo de 10 mg/L en el efluente que pide el Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos del Gobierno de la República de Guatemala para el año 2024.

Los equipos elegidos para la planta de tratamiento de efluentes con alto contenido de aceite son: tanque de acondicionamiento, separador por gravedad, trampa de aceite y grasa por aire disuelto, reactores aerobios, tanque sedimentador y neutralizador, filtro prensa, filtro de arena "pulidor", deodorizador por carbón activado, tanque suavizador por resinas. Y para el almacenamiento de aceite y grasa se tiene un tanque con capacidad de 5,500 L y para el almacenamiento de agua se tienen dos tanque con capacidad de 220,000 L cada uno.

La planta tratamiento de efluentes propuesta tiene capacidad para tratar 200,000 L de agua por día con una eficiencia del 99.87% de remoción de aceites y grasas. La planta cumple con el requisito de un máximo de 10 mg/L, para el año 2024, de aceite y grasa en el agua emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

La planta de tratamiento recupera 295.5 Kg de aceite y grasa por día. El efluente tratado sale con una concentración máxima de 2.025 mg / L. Las empresas interesadas en la compra del aceite y la grasa son empresas dedicadas a la producción de biodiesel, jabón y comida de animales. El precio de venta de la grasa y aceite es de 1.77 quetzales por litro, por lo que la empresa puede obtener aproximadamente 17,300 quetzales al mes producto de la venta de los 9780 L de aceite y grasa recuperada.

El agua que se trata en la planta y además pasa por la etapa de suavizado, es agua que puede usarse para agua de calderas, logrando con esto reutilizar el agua de desecho en un proceso que requiere agua de muy buena calidad. El agua tratada puede venderse como mínimo a 50.00 quetzales la cisterna de 18,927 L ó 5,000 galones, con lo que se generaría

como mínimo 15,850 quetzales mensuales de la venta de agua tratada, si se vendieran los 200,000 L que se tratan por día.

La planta de tratamiento de efluentes va a evitar multas ambientales, problemas relacionados con el medio ambiente o incluso el cierre de la planta de producción, pero sobre todo el daño al medio ambiente por esto se va a lograr generar más utilidades al producir productos ambientalmente amigables.

La planta de tratamiento de efluentes con alto grado de aceite y grasa tiene un costo estimado de Q. 1,085,197.25 que incluye equipos (tanques, reactores, filtro prensa, filtro pulidor, deodorizador, suavizador), instalación de equipos, tubería, accesorios, válvulas, instrumentos (sensores de nivel), preparación del terreno, auxiliares (bomba, compresor, motores, propelas), costos de ingeniería e imprevistos (varios).

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala pocas empresas se preocupan por no contaminar el medio ambiente y sólo se enfocan en la producción y no en el tratamiento de las aguas residuales o disposición de los desechos de sus materias primas. Este trabajo de graduación tiene como finalidad contribuir con el desarrollo de procesos de tratamiento de efluentes con alto contenido de grasas y aceites, a fin de que los procesos de producción no contaminen el ambiente.

Este trabajo se enfocará en retirar las grasas y aceites provenientes de los efluentes contaminados de plantas procesadoras de alimentos y se enfocará en extraerlos a fin que se pueda obtener alguna remuneración económica con la venta de estos desechos contribuyendo con la producción de biodiesel.

En este trabajo se diseñará una planta de tratamiento de efluentes en donde se cumpla con las necesidades de separación de aceites y grasas teniendo como prioridad recuperar la mayor cantidad posible.

El diseño de la planta de remoción de grasas y aceites va a funcionar como un dispositivo de captación y almacenamiento para posteriormente ser tratadas y procesadas para producir biodiesel.

Con este trabajo se pretende incentivar a las empresas que trabajan con grasas y aceites de origen vegetal a contribuir con el medio ambiente y a generar utilidades con la venta de los desechos de sus operaciones de producción, para lo cual se estimará un costo por volumen de grasas y aceites capturados a fin de tener proyecciones de los costos de instalación y de operación de la planta de tratamiento, con lo cual las empresas podrán saber cuánto tiempo tardarán en recuperar su inversión y cuánto ganarán por el valor agregado que le dan los consumidores a los productos cuya manufactura es amigable con el medio ambiente.

II. ANTECEDENTES

El término aceites y grasas, es comúnmente usado, incluye grasas, aceites, ceras y otros constituyentes encontrados en agua de desecho. Los aceites y las grasas están químicamente compuestos de manera similar; (ésteres) de alcohol o glicerol (glicerina) con ácidos grasos. La glicerina y los ácidos grasos son líquidos a temperaturas ordinarias y son llamados aceites y los que son sólidos son llamados grasas. (Metcalf, 2003)

La función principal del tratamiento de las aguas residuales provenientes de este campo consiste en separar las aguas residuales que contienen grasas y aceites de aquéllas que están libres de grasas. (Czysz, 1991)

Las sustancias grasosas son retenidas en separadores de grasas y luego reutilizadas. En el caso de las emulsiones de grasa, deben agregarse también agentes floculantes (cal, cloruro de cal, sales de hierro o aluminio). Es preferible que esta etapa sea seguida por una de flotación. El lodo resultante se concentra y deshidrata en forma natural o artificial. (Czysz, 1991)

Las aguas calientes del depurado de gases provenientes del proceso de endurecimiento de las grasas y las aguas de condensación de la destilación al vacío deben enfriarse en cascadas, torres de enfriamiento o lagunas antes de su descarga. Las aguas de depuración necesitan de una clarificación preliminar en sistemas de sedimentación. (Czysz, 1991)

Las aguas residuales que provienen de procesos de producción de grasas y aceites pueden destruir las tuberías de cemento ya que se da una producción del gas sulfuro de hidrógeno, al mezclarse los desechos de esta industria con los de las aguas domésticas. (Czysz, 1991)

En los últimos años la utilización de aceites y grasas para la producción de biodiesel ha recibido interés considerable. Con el incremento de los costos de los combustibles fósiles se ha priorizado el desarrollo de fuentes de energía alternas. Recientemente con la combinación de costos elevados de combustibles y lo bajo de los precios de las grasas/aceites en comparación con los combustibles, han aumentado los beneficios de reciclar las grasas y aceites de origen vegetal para utilizarlas en biodiesel. (Peral, 2000)

Usando técnicas modernas de procesamiento, el utilizar grasas y aceites de origen vegetal convertidos en derivados llamados esteres llegaría al producto deseado que es más comúnmente llamado biodiesel. Actualmente algunos esteres derivados de la utilización de grasas y aceites de origen vegetal han sido evaluados a nivel mundial como alternativas para los derivados del petróleo. Los avances tecnológicos en la producción de biodiesel son necesarios para hacer que el costo del biodiesel sea competitivo con los combustibles convencionales mientras se preservan los combustibles necesarios para usos específicos, como el invierno. (Foglia, *et al.*, 2000)

A. Remoción de aceites y grasas

Se debe eliminar, con el menor riesgo posible, la grasa y los aceites a fin de proteger el medio ambiente contra sus efectos nocivos. Por lo general, estas materias sólo son reutilizables en ciertos casos, por lo tanto conviene eliminarlas con un procedimiento que signifique un costo determinado o de lo contrario tratarlas de manera que puedan ser neutralizadas. (Czysz, 1991)

Los residuos de los pequeños separadores de grasa, son fácilmente reutilizables. No se debe menospreciar todas las posibilidades de eliminar estos residuos, ya que existe el riesgo de que se introduzcan y desaparezcan en los cuerpos de agua, en las canalizaciones, o en el suelo, sin forma de poder controlarlos. (Czysz, 1991)

A la larga, se deben explorar todas las posibilidades de reutilización, ya que cada vez será más difícil satisfacer la creciente demanda de materias primas provenientes de las fuentes naturales de planeta. (Czysz, 1991)

B. Combustibles a partir de biomasa

Los biocombustibles son alcoholes, éteres, ésteres y otros productos químicos elaborados a partir de biomasa celulósicas tales como plantas herbáceas y leñosas, residuos agrícolas y forestales y una gran parte de los residuos municipales e industriales. El término biocombustible puede referirse tanto a combustibles para electricidad como para combustibles para transporte.

Hay muchas clases distintas de combustibles de biomasa, desde la leña tradicional utilizada *ineficientemente para cocinar*, hasta los *combustibles biológicos modernos muy complejos* producidos a partir de biomasa cultivada con este fin. Los deshechos agrícolas y los residuos de origen animal también pueden ser combustibles de biomasa.

Como combustibles de biomasa se pueden utilizar árboles de crecimiento rápido, cereales, aceites vegetales, residuos agrícolas o, como en el caso de Brasil, la caña de azúcar. Hay diferentes formas de elaborar los combustibles de biomasa: por combustión, destilación, gasificación, fermentación y pirolisis.

C. Biocombustibles líquidos

Este término engloba todos aquellos combustibles líquidos derivados de la biomasa vegetal. Se trata, por lo tanto, de combustibles de origen vegetal que tienen características parecidas a las de los combustibles fósiles, lo que permite su utilización en motores sin tener que efectuar modificaciones importantes. Además no contienen azufre, uno de los principales causantes de la lluvia ácida, ni contribuye a aumentar la cantidad de CO_2 emitido a la atmósfera.

Se pueden distinguir dos clases de biocombustibles líquidos para su utilización en el sector del transporte.

- El alcohol etílico (bioetanol) y su derivado el 5-etil-ter-butil-eter (ETBE).
- Los aceites vegetales (bioaceites), son obtenidos del cultivo de semillas oleaginosas, como la colaza, la soya y el girasol. Estos pueden ser utilizados en forma de aceite sin refinar o modificarlos, mediante un proceso químico (transesterificación), para obtener ésteres metílicos o etílicos (biodiesel).

Los bioaceites y derivados encuentran su aplicación en motores diesel, sustituyendo al gasóleo de automoción o mezclados con él.

D. Biodiesel

El biodiesel es un combustible obtenido a partir de aceites vegetales que funciona en cualquier motor diesel. Se produce a través de reacciones de aceites vegetales o grasa animal con metanol o etanol en presencia de un catalizador para producir glicerina y biodiesel.

El término biodiesel no tiene una definición estricta, sino que se trata de aceites vegetales, grasas animales y sus ésteres metílicos para ser utilizados como combustibles. Según la ASTM (2001, D6751) se define al biodiesel como <<el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diesel>>.

El biodiesel tiene un rendimiento similar al combustible diesel, no requiere nueva infraestructura, no altera el torque ni la potencia de los motores diesel. Además, mejora notablemente la lubricación del circuito y en la bomba de inyección. Como sus propiedades son similares a las del petrodiesel, se pueden mezclar ambos en cualquier proporción, sin ningún tipo de problema. Este combustible puede ser utilizado en forma pura, B100, o en mezclas diversas de gasoil, siendo la más utilizada la mezcla del 20% de biodiesel y 80% de petrodiesel, conocida como B20. Todos los fabricantes de motores diesel en Estados Unidos mantienen las garantías existentes sobre los mismos cuando se utiliza B20.

Las bajas emisiones del biodiesel hacen de él un combustible ideal para el uso en las áreas marinas, parques nacionales y bosques y sobre todo en las grandes ciudades. Además, puede obtenerse a partir de una gran variedad de cultivos, generando un crédito para el sector agrícola.

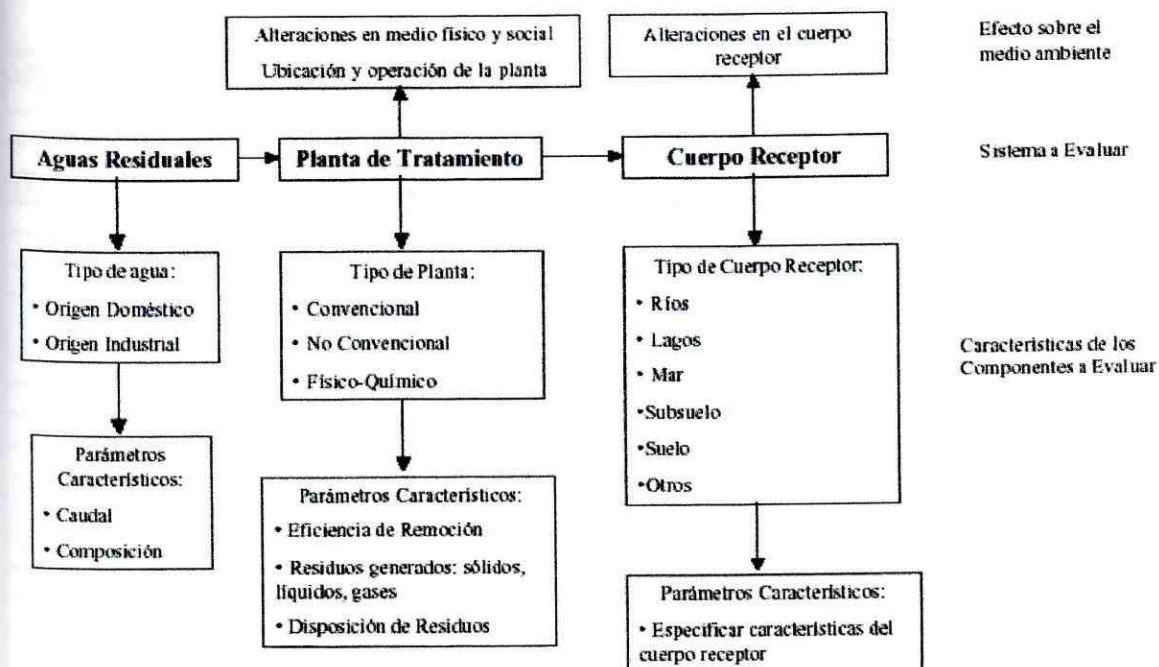
En Estados Unidos, ha sido registrado en la Agencia de Protección Ambiental como un combustible puro o como un aditivo de combustible y es un combustible legal para el comercio. Las especificaciones para el biodiesel puro son descritas en el siguiente cuadro. Además, la International Standard Organization (ISO) también se encuentra considerando una especificación para el combustible.

Cuadro No. 1: Especificación del Biodiesel en Estados Unidos (a partir de Julio, 1996).

Propiedad	Valor	Unidad
Punto de ignición	100,0 mín.	°C
Sedimento & agua	0,050 máx.	Vol. %
Residuo carbónico (muestra 100%)	0,050 máx.	Wt %
Ceniza sulfatada	0,020 máx.	Wt %
Viscosidad (40_C)	1,9 - 6,5	Cst
Sulfuro	0,05 máx.	Wt %
Número cetano	40 mín.	
Corrosión cúprica	Nº 3b máx.	
Número ácido	0,80 máx.	Mg KOH/gm
Glicerina libre	0,020 máx.	Wt %
Glicerina total	0,240 máx.	Wt %

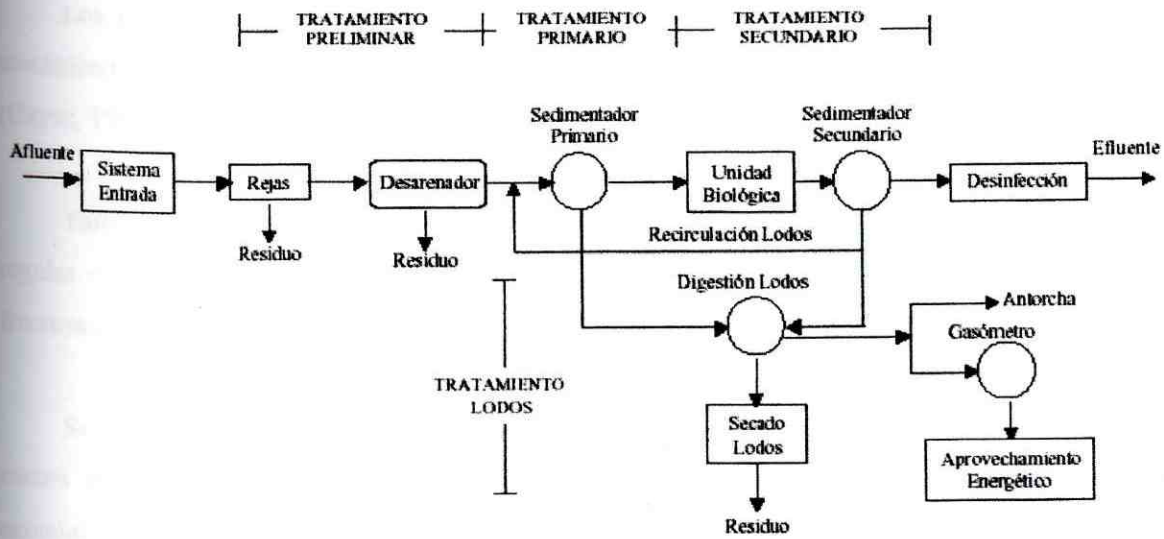
E. Plantas de tratamiento

Figura No. 1: Componentes del sistema de tratamiento y disposición de aguas residuales.



(Sundstrom, 1979)

Figura No. 2: Planta de tratamiento de aguas residuales. Sistema convencional.



(AWWA, 2002)

Cuadro No. 2: Residuos generados por diversos procesos de tratamiento de aguas residuales.

Proceso de tratamiento	Residuos			
	Lodos	Emisiones al aire	Efluentes concentrados	Carbón pastado
Operaciones de pretratamiento				
Sedimentación	X			
Filtración de medios granulares			X	
Separación del aceite y agua			X	
Operaciones de tratamiento físico y químico				
Neutralización	X			
Precipitación/floculación/sedimentación	X			
Oxidación/reducción	X			
Adsorción de carbón			X	X
Separación por aire		X		
Separación por vapor			X	
Osmosis inversa			X	
Ultrafiltración			X	
Intercambio de iones			X	
Oxidación húmeda de aire		X		
Operaciones del tratamiento biológico				
Lodo activado	X	X		
Reactor discontinuo	X	X		
Tratamiento de carbón activado en polvo (TCAP)	X			X
Contactador biológico rotatorio	X	X		
Filtro percolador	X			

(WCPF-WEF, 1980)

F. Estanques de equilibrio o de homogenización

Los estanques de equilibrio o de homogenización son sistemas utilizados para mezclar mecánicamente las aguas residuales de diferente volumen y concentración.

(Czysz, 1991)

Tales sistemas son necesarios para el tratamiento de aguas residuales que se presentan regular o irregularmente y con flujos y concentraciones diferentes. Se emplean también, con frecuencia, para mezclar aguas residuales con reactivos químicos. (Czysz, 1991)

Se recomienda la instalación de estanques de equilibrio u homogenización debido a que, con costos de inversión y operación relativamente bajos, se pueden lograr avances técnicos y económicos, excelentes, para los procesos de tratamientos posteriores. (Czysz, 1991)

Estos estanques se denominan de acuerdo a su función en el proceso de tratamiento, por ejemplo:

- Estanques de homogenización para equilibrar la concentración.
- Estanques de equilibrio u homogenización para regular el flujo.
- Estanques de retención, que permiten la reserva de agua cuando se excede el caudal promedio.
- Estanques de retención, que protegen las plantas de tratamiento o depósitos de abastecimiento contra oleadas o cargas repentinas de aguas residuales tóxicas.
- Estanques de seguridad y de control, instalados aguas debajo de la planta de tratamiento y antes del cuerpo de agua receptor con el fin de examinar la calidad del agua tratada.

(Czysz, 1991)

En general, existen pocas diferencias en la construcción de estos sistemas, las mismas se presentan más bien en su función y en la composición de las aguas residuales. Estos sistemas se pueden construir como pozas o como estanques estructurados. (Czys, 1991)

G. Sistema de flotación

Se utiliza el sistema de flotación cuando los sólidos en las aguas residuales sedimentan deficientemente o no llegan a hacerlo, debido a su bajo peso específico. Se entiende la flotación como el impulso ascendente de sustancias no disueltas, provocado por burbujas de aire que se adhieren a la superficie de una suspensión. A algunas sustancias se les puede hacer flotar en forma natural (por ejemplo, reduciendo simplemente la velocidad de flujo), a manera de una capa espumosa sobre la superficie que luego es eliminada. Por el contrario, otras sustancias sólo flotan cuando se les deposita encima diminutas burbujas de aire. La flotación sólo puede asegurarse cuando, además de contarse con una aeración adecuada, las burbujas de aire se adhieren a las partículas suspendidas. Para ello, se reduce la tensión superficial del agua mediante la adición de aglomerantes (conocidos como recogedores o generadores de espuma), consiguiéndose una formación de espuma más nítida. Algunos sistemas de flotación tienen un proceso de generación de espuma antes de la flotación en sí; en este caso, se añade aire y agentes floculantes o espumantes al agua antes de que pase al estanque de flotación.

Se aplica el sistema de flotación en la industria, para tratar principalmente aguas que contengan aceites, grasas, fibras o coloides. Es el caso, por ejemplo de las refinerías de petróleo, los productores de aceite, lo mataderos, las plantas de procesamiento de carne y pescado y las plantas en las que se vuelven a procesar los productos semiterminados o los residuos de estas ramas industriales, como fábricas de jabón, gelatina o goma. Los aceites minerales y las grasas se encuentran, principalmente, en las descargas de la industria siderúrgica y de las fábricas de máquinas, herramientas y automóviles.

Con la flotación como tratamiento las aguas residuales industriales, pueden lograrse diferentes objetivos; por ejemplo, la separación de residuos utilizables, la recirculación del agua o una reducción en la carga de contaminantes mediante la separación de sustancias coloidales suspendidas, reduciendo simultáneamente el valor de la DBO_5 .

En la medida en que la eficiencia del tratamiento alcanzable pueda generalizarse mediante los parámetros de contaminación característicos, cabe afirmar que las sustancias no disueltas y aquéllas extraíbles con éter de petróleo podrían removerse mediante flotación entre un 80 y casi un 100%. En el caso de la demanda bioquímica de oxígeno, es posible lograr reducciones entre 50 y 90%, obteniéndose el mayor porcentaje de reducción de aguas con contenido predominante de aceites y grasas. Sin embargo, con una reducción de la DBO₅ mediante flotación, en el mejor de los casos, se puede esperar una remoción equivalente sólo a la cantidad de DBO₅ producida por las sustancias suspendidas.

Los sistemas de flotación se basan en los siguientes principios:

- La flotación natural de partículas suspendidas, por ejemplo los separadores de grasas y aceites.
- Desvío parcial de las aguas residuales de la tubería de entrada al generador de espuma y luego a la corriente principal.
- La aeración a baja presión ($(0.5 - 0.7) \times 10^5$ Pa), en la que el aire comprimido que se genera mediante un compresor es introducido por el fondo del separador a través de un dispositivo dispersante (planchas permeables o tubos perforados). Estos sistemas suelen ser los más usados.
- El incremento de la presión de las aguas residuales mediante la adición de aire comprimido a 1.3×10^5 Pa y la posterior expansión a presión atmosférica con el equipo apropiado.
- El agua residual saturada con oxígeno en el estanque de activación es expuesta al vacío durante 10 - 15 minutos, en una etapa separada del tratamiento. El agua pierde su capacidad para disolver el aire, por lo que parte del oxígeno disuelto volatiliza, arrastrando en su camino a la superficie del material suspendido.
- Adición de agentes precipitantes, como ácido sulfúrico, potasio sulfato de aluminio o generadores de espuma.

- Cloración del agua hasta una dosis de 1.5 mg/L.
- Las sustancias separadas se recolectan en canales y removidas para tratamiento posterior.

Para la flotación con burbujas de aire sin agentes químicos, son de crucial importancia las propiedades físicas y químicas de la superficie de las partículas suspendidas. Las burbujas de aire no se pueden adherir a sustancias con superficies hidrofílicas o demasiado entrelazadas. Mediante la flotación de aguas residuales se obtienen, principalmente, componentes de las grasas, aceites y jabones u otras sustancias con superficies repelentes al agua.

La flotación de partículas "pesadas" que se hunden debido a su densidad, se utiliza para la extracción de sustancias minerales sólidas, por ejemplo en el procesamiento de minerales y carbón.

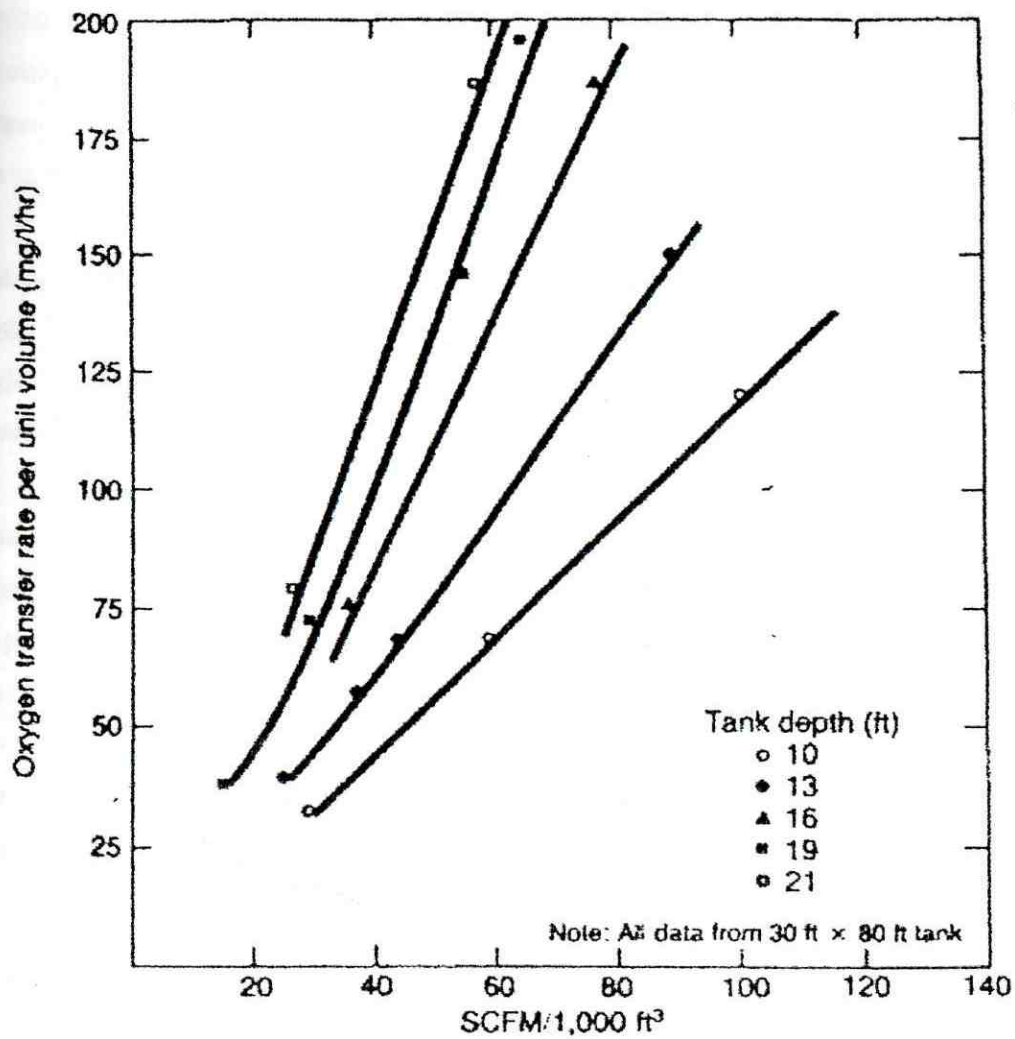
En la flotación de las partículas "livianas", tales como sustancias flotantes en suspensión o sedimentarias con una velocidad de descenso baja, bastará con un poco más de fuerza ascensional para hacer que las partículas se eleven. Las sustancias fibrosas, coloidales y grasosas presentes en muchas descargas industriales pueden ser separadas mediante "flotación con burbuja fina", sin otros agentes de flotación, debido a las mejores propiedades de adherencia de las burbujas pequeñas. Dado el ahorro que representa la flotación con burbujas finas, este método resulta económico para la separación de sustancias livianas con superficies hidrófugas y para el espesamiento de lodos activados.

Suspensiones muy finas, hasta el tamaño coloidal, pueden hacerse flotar después de la floculación. Las sustancias disueltas sólo pueden llegar a flotar si previamente fueron precipitadas utilizando procesos químicos. Sin embargo, el precipitado suele ser tan fino que, antes de la flotación, debe ser coagulado o floculado.

Las partículas de sólidos suspendidos pueden hacerse flotar usando burbujas de aire adheridas, siempre que la fuerza ascensional total de las burbujas de aire, A_L , sea mayor que la diferencia entre el peso de la partícula a elevar G_T , y su fuerza ascensional, A_T :

$$A_L > (G_T - A_T)$$

Gráfica No. 1: Relación de desempeño para sistemas de aireación por burbujeo difuso.



(Eckenfelder, 1985)

H. Separación por gravedad

La separación por gravedad de sustancias contaminantes en las aguas residuales, es necesaria para evitar perturbaciones en los procesos posteriores de tratamiento, así como para impedir que estas sustancias se depositen en las paredes y en el fondo de las instalaciones de tratamiento. En las empresas comerciales e industriales, se recomienda hacer una separación inicial, incluso antes de que se descargue el efluente en el sistema de alcantarillado. (Czysz, 1991)

La preclasificación es obligatoria para las empresas que descargan residuos con elevadas concentraciones de petróleo (tales como: talleres grandes de reparación de autos, locales de expendio de combustibles líquidos), ácidos grasos, aceites (restaurantes, plantas de procesamiento de alimentos), grasas y otras sustancias flotantes o sedimentables. (Czysz, 1991)

Sin embargo, estas medidas de separación local, no ejercen generalmente un efecto significativo sobre la capacidad de sedimentación de los residuos que se van a separar, por lo que deben proyectarse las etapas de tratamiento correspondientes.

(Czysz, 1991)

Para la separación por gravedad, y según sea la densidad de los residuos, se utiliza el siguiente equipo:

- Sistemas de flotación para separar sustancias flotantes.
- Separadores de aceites y grasas.
- Trampas de arena o desarenador.
- Tanques de sedimentación.

(Czysz, 1991)

Los fundamentos teóricos para la separación de sólidos por gravedad, están dados por la ley de Stokes (valido con $10^{-4} < Re < 1$):

$$V_s = \frac{d^2 \times g}{0.18} \times \frac{Q_f - Q_k}{\eta_f} = \text{cm} / \text{s}$$

con :

V_s = Velocidad de ascenso o descenso del cuerpo extraño en el agua, en cm/s.

d = Diámetro del cuerpo extraño en el agua, en cm.

g = Constante gravitacional, en m/s^2

Q_f = Densidad del líquido base, en g/cm^3

Q_k = Densidad del cuerpo extraño, en g/cm^3

η_f = Viscosidad dinámica del líquido base, en g/cm

(Czysz, 1991)

Literalmente la ley expresa que la velocidad de ascenso o descenso es mayor cuanto mayor sea la partícula a separar (también podría tratarse de un volumen específico del líquido en el agua), cuanto mayor sea la aceleración gravitacional efectiva, cuanto mayor sea la diferencia entre las densidades y cuanto menor sea la viscosidad del líquido base. Además, se ha determinado que las partículas pequeñas, similares a un grano (como las de arena) se hunden a una velocidad casi constante. Las partículas floculentas (como las sustancias orgánicas resultantes de la coagulación de suspensiones coloidales o de procesos biológicos) forman flóculos, que al caer, incrementan su volumen al ponerse en contacto entre sí. De igual manera, su forma y densidad relativa cambian, por lo que el proceso de sedimentación presenta una velocidad mayor. (Czysz, 1991)

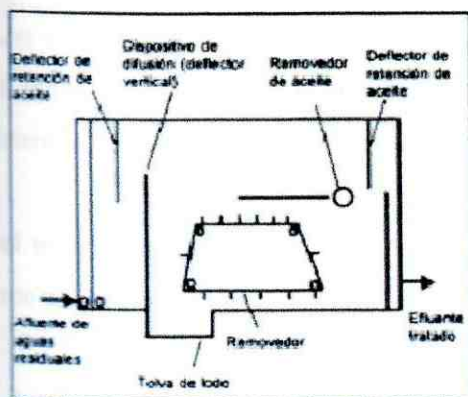
La situación es más compleja, por ejemplo, para la sedimentación de lodo compuesto de flóculos muy finos. Si el contenido de sólidos es suficiente, puede ocurrir un fenómeno de puente que impediría la sedimentación, además de presentarse corrientes de densidad no incluidas en la ley de Stokes. También aparecen desviaciones, por ejemplo, al considerar los procesos de flotación cuando se sigue el recorrido de una burbuja de gas desde el fondo de la cámara hasta la superficie. Debido a la menor presión, la burbuja se agranda, con lo que la velocidad de ascenso aumenta inicialmente. Sin embargo, en tanto las velocidades son relativamente altas, esta explicación resulta sólo parcialmente válida, debido a que la resistencia de rozamiento es cada vez más importante y ha de ser tomada en cuenta. (Czysz, 1991)

Evidentemente, éstos son supuestos simplificados y sólo permiten un análisis aproximado, dado cuando más indicaciones respecto a qué condiciones mínimas habrá que cumplirse. Además, son válidos sólo si el movimiento de ascenso o descenso no se ve obstaculizado. En la sedimentación, ocurre algo diferente, por ejemplo, en la región inferior del tanque. Allí las partículas grandes y pequeñas se entrec chocan, con lo que la acumulación de partículas finas simula un líquido base de mayor densidad para las partículas más grandes, de esa manera todo el proceso de sedimentación se retrasa. (CzysZ, 1991)

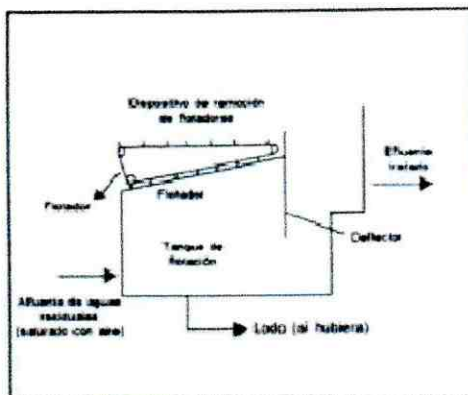
Las aguas residuales contienen elementos de diferente tamaño, forma y densidad, por lo que es muy difícil encontrar modelos matemáticos válidos para los procesos de sedimentación de cada partícula. Generalmente, puede hacerse una diferenciación entre las aguas residuales domésticas (municipales) y las industriales, tomando como base la concentración, el tipo y la forma de los constituyentes. (CzysZ, 1991)

A pesar de todas estas limitaciones, la ley es bastante útil para consideraciones fundamentales. Suele aplicársele en el caso de líquidos con flujos de régimen laminar, en los que pueden investigarse las características potenciales de flujo con diagramas vectoriales. En principio también es válida su aplicación a equipos hidrodinámicos, en los que se induce una aceleración forzando ciertas condiciones de flujo. Aunque existan condiciones de flujo turbulento, la velocidad relativa entre el líquido base y las partículas observadas en la dirección del flujo es prácticamente cero, por lo que también deben considerarse otros factores, como la fuerza centrífuga. (CzysZ, 1991)

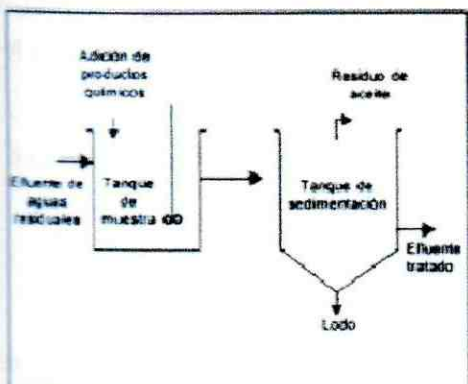
Figura No. 3: Diseño de algunos sistemas de separación por gravedad.



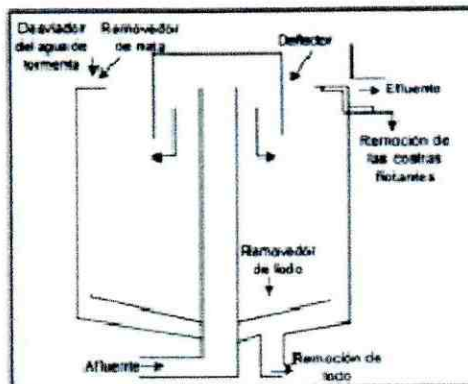
(a)



(b)



(c)



(d)

- (a) Separador API, (American Petroleum Industry).
- (b) Flotación de aire disuelto, DAF (Disolved Air Flotation).
- (c) Sistema de descomposición de la emulsión.
- (d) Sistema de clarificación.

I. Separadores de aceites y grasas

Los separadores (recolectores) de grasas deben estar en condiciones de retener 40 L de material liviano (grasas y aceites) por cada L/s de agua que ingrese, manteniendo al mismo tiempo una eficiencia del 92 % de su valor nominal. (Czysz, 1991)

Si el material separado tiene una densidad de 0.937 Kg/m^3 , el tiempo de retención en el recipiente de recolección debe ser por lo menos de:

- 3 minutos para un flujo de entrada de 2 a 9 L/s.
- 4 minutos para un flujo de entrada de 10 a 19 L/s.
- 5 minutos para un flujo de entrada de 20 L/s o más.

(Czysz, 1991)

En el caso de densidades mayores se requeriran periodos de retención más prolongados.
(Czysz, 1991)

Por cada L/s que ingrese al recipiente de recolección, debe existir un área de 0.25 m^2 . La relación del ancho a la longitud del tanque debe ser de 1 a 1.8. (Czysz, 1991)

La salida del separador de grasas debe tener una cubierta contra los malos olores de 60 mm de espesor, pero no debe haber ninguna en la parte lateral de la entrada de agua. (Czysz, 1991)

La eficiencia de separación de aceites y grasas en las plantas grandes pueden incrementarse al doble o más, si se sopla aire profusamente distribuido dentro del agua. Las burbujas de aire se adhieren a las partículas de grasa y aceite debido a su tensión superficial, y las arrastran a la superficie en forma de espuma. (Czysz, 1991)

El diseño de separadores de grasas y aceites puede hacerse considerando el tiempo que tomará al flujo atravesar el separador (10 minutos para separación por gravedad o 5 – 10 minutos por aereación a una presión de $(1.5 - 1.7) \cdot 10^5$ Pa, es decir, $0.3 - 0.6 \text{ m}^3$ de aire por cada m^3 de agua), o según la velocidad de ascenso, utilizando la siguiente formula:

$$F = \frac{Q}{V} \quad [\text{m}^2]$$

Donde:

F = Área de la superficie del separador de aceites o grasas, en m^2 .

Q = Gasto en m^3/s (el separador se diseña para condiciones secas, pero debe ser lo bastante grande como para que no se produzcan reboses en caso de lluvias).

V = Velocidad de ascenso, en m/s

(Czysz, 1991)

J. Filtros a presión

Un filtro a presión está compuesto por un gran número de planchas de filtrado y una cámara de presión anexa. Cada una de las planchas está cubierta con tela metálica, hecha de acero al cromo-niquel-molibdeno, o una bolsa de filtrado fabricada de tela, montada sobre una tubería central que sirve también como salida para el agua filtrada. La filtración puede llevarse a cabo a una presión de 6×10^5 Pascales. Si bien es difícil que este sistema se utilice para filtrar agua, se le puede usar como filtro decantador, de manera similar a otros filtros de presión. Los residuos del filtro se pueden retirar en forma húmeda o seca. Para la remoción seca se puede sacar el armazón del filtro y extraer luego la torta manualmente o mediante vibración.

(Czysz, 1991)

K. Neutralización (Ajuste del pH)

La neutralización es una reacción química simple. Las aguas ácidas o alcalinas deben ser neutralizadas antes de ser descargadas en un sistema de alcantarillado municipal. Cuando la capacidad de amortiguación del depósito receptor sea insuficiente, es posible que se requiera la neutralización si el agua residual se va a descargar en cuerpos naturales de agua. Los procesos de neutralización son necesarios principalmente en la industria química y en la siderúrgica, así como en refinerías y otras plantas industriales. (Czysz, 1991)

Existe una distinción básica entre tres tipos de aguas residuales ácidas:

- Aguas residuales que contienen ácidos fuertes con sales fácilmente solubles en agua (por ejemplo HCl, HNO₃). Se emplean álcalis u óxidos metálicos terrosos para neutralizar este tipo de aguas residuales. No se producen sólidos sedimentables y, así, el tratamiento consiste en una simple mezcla.
- Aguas residuales que contienen ácidos fuertes como sales difícilmente solubles en agua (por ejemplo H₂SO₄). En estos procesos, se puede producir una gran cantidad de sedimentos.
- Aguas residuales que contienen ácidos débiles (por ejemplo CO₂, COOH).

(Czysz, 1991)

Actualmente se utilizan las siguientes clases de procesos de neutralizantes:

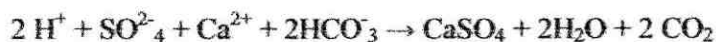
- Empleo de capacidad amortiguadora de los cuerpos receptores.
- Mezcla de las aguas residuales ácidas con las alcalinas.
- Adición de sustancias químicas que producen reacciones alcalinas, tales como NaOH, Ca(OH)₂, etc.
- Filtración a base de materiales neutralizantes tales como CaCO₃, MgO-CaCO₃, etc.

(Czysz, 1991)

En los procesos de neutralización, se produce un cambio en el valor del pH que da como resultado la *floculación de los componentes coloidales en el agua residual*. En tales casos, se requiere de un tratamiento posterior en un medio de sedimentación. (Czysz, 1991)

El uso de la capacidad de amortiguación de un cuerpo receptor depende de la denominada *dureza carbónica presente en el agua*. (Czysz, 1991)

La siguiente reacción química sirve para ilustrar el proceso en un cuerpo receptor:



Cuando se excede el producto de solubilidad del sulfato de calcio, este último precipita. (Czysz, 1991)

Para la neutralización mediante la reacción con reactivos químicos, generalmente se consideran los siguientes materiales:

- Hidróxido de calcio: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (En estado sólido o como agua de cal).
- Solución de hidróxido de sodio: NaOH
- Carbonato de calcio: CaCO_3
- Dolomita parcialmente calcinada: $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$
- Magnesita calcinada: $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO}$
- Cemento
- Carbonato de sodio: Na_2CO_3

(Czysz, 1991)

La selección del agente neutralizante depende del tipo de ácido que se usará, de la cantidad de agua, de las condiciones locales, etc. Por lo general, se utiliza cal como agente neutralizante. (Czysz, 1991)

El proceso de neutralización se determina con base a la cantidad de agua residual que va a tratarse. En el caso de volúmenes menores de agua (menos de 1 m^3) se emplea una planta estática de neutralización, donde se agrega el agente neutralizante al agua ácida hasta que el valor de pH cumpla con los requisitos establecidos. En las plantas continuas de grandes dimensiones, el control del proceso de neutralización es automático. (Czysz, 1991)

El proceso de filtración con un material de filtro neutralizante se realiza a una velocidad calculada para que el agua residual permanezca en contacto con el material filtrante hasta alcanzar el nivel deseado de neutralización, por ejemplo, un pH de 6 a 9. (Czysz, 1991)

Los filtros rellenos con un material de magnesita calcinada o intercambiadores de iones presentan ciertas ventajas para neutralizar volúmenes menores de agua residual. A diferencia de la cal o el agua de cal, los agentes neutralizantes de este tipo producen sólo un volumen de lodos muy reducido. Los filtros de piedra caliza o mármol suelen tener efectos poco satisfactorios. (Czysz, 1991)

El riesgo de corrosión debe ser considerado para cualquier clase de equipo. Por esta razón, los materiales de construcción y las partes metálicas que entren en contacto con los ácidos deben ser adecuadamente seleccionados y diseñados. (Czysz, 1991)

Cuadro No. 3: Resumen de tecnologías de neutralización.

Proceso	Residuos aplicables	Etapas de desarrollo	Rendimiento	Residuos generados	Costo
Neutralización mutua de ácidos/alcalies	Todos los residuos ácidos alcalinos compatibles salvo cianuro	Bien desarrollada	Generalmente más lento que las tecnologías comparables debido a las concentraciones diluidas de reactivos. La mezcla de residuos incompatibles puede generar residuos peligrosos	Variable, depende de la cantidad de insolubles y productos contenidos en los residuos	Menos costoso que las otras tecnologías de neutralización
Piedra caliza	Los residuos ácidos diluidos con menos de 5,000 mg/L de ácidos minerales fuertes con bajas concentraciones de sales ácidas	Bien desarrollada	Requiere piedras de 0,074 mm o menos. Requiere 45 minutos o más de tiempo de retención. Solo puede neutralizar residuos ácidos a pH 6,0. Debe aerearse para remover el CO ₂ producido	Generará grandes cantidades de lodo cuando reaccione con residuos que contienen sulfato. Las piedras que pasan por una malla de 200 se sulfatarán, se volverán inactivas y se agregarán al lodo	Más eficiente en función de los costos para el tratamiento de residuos concentrados. Puede ser eficiente en función de los costos para el tratamiento de residuos ácidos diluidos
Cal	Todos los residuos ácidos	Bien desarrollada	Requiere entre 15 y 30 minutos de tiempo de retención. Debe agitarse a una concentración de 10 a 35% de sólidos antes de su uso. Puede sub (por debajo de pH 7) o sobre (por encima de pH 7) neutralizarse	Generará grandes cantidades de lodo similar a la piedra caliza	Más costoso que la piedra caliza triturada (malla de 200)
Soda caústica	Todos los residuos ácidos	Bien desarrollada	Requiere entre 3 y 15 minutos de tiempo de retención. En forma líquida, es fácil de manejar y aplicar. Puede sub o sobre neutralizarse incluso a pH 13 o superior	Los productos reactivos generalmente son solubles, sin embargo, los lodos no se deshidratan tan fácilmente como la cal o piedra caliza	Más costoso que todos los reactivos alcalinos usados (cinco veces el costo de la cal)
Acido sulfúrico	Todos los residuos alcalinos salvo cianuro	Bien desarrollada	Requiere entre 15 y 30 minutos de tiempo de retención. De forma líquida, pero presenta riesgo de quemaduras. Altamente reactivo y ampliamente disponible	Generará grandes cantidades de lodo de yeso cuando reaccione con residuos alcalinos que contienen calcio	Menos costoso que todos los reactivos ácidos usados
Acido clorhídrico	Todos los residuos alcalinos	Bien desarrollada, pero pocas veces aplicadas debido al alto costo del residuo	Requiere entre 5 y 20 minutos de tiempo de retención. En forma líquida presenta riesgos de quemadura y humos. Más reactivo que el sulfúrico	Los productos reactivos generalmente son solubles	Aproximadamente el doble de costoso que el sulfúrico sobre una base equivalente de neutralización
Ácidos carbónicos, dióxido de carbono líquido	Todos los residuos, salvo cianuro	Tecnología incipiente	Tiempo de retención de 1 a 1 1/2 minutos. En forma líquida, debe vaporizarse antes de su uso. Solo puede neutralizar residuos alcalinos a un pH final de 8.3	Formará precipitado de carbonato de calcio cuando reaccione con residuos alcalinos que contienen calcio	Entre 3 a 4 veces más costoso que el sulfúrico. Por ello se limita a aplicaciones que sean más de 200 toneladas de reactivos al año o con una tasa de flujo mayor a 100 000 gpd

(AQC, 1992)

L. Floculación

Se entiende por "floculación", a los procesos que convierten los sólidos suspendidos presentes en el agua en forma coloidal, en aglomerados más importantes. En estos procesos, los "flóculos" resultantes alcanzan un estado y tamaño que los vuelve sedimentables, flotables o filtrables, permitiendo una separación casi completa de los sólidos suspendidos. (Czysz, 1991)

El proceso de floculación puede ser dividido en dos etapas subsecuentes:

Floculación = Desestabilización + Proceso de transporte.

La primera etapa que suele denominarse simplemente "coagulación", se neutralizan las fuerzas que se oponen a una combinación o unificación de las partículas coloidales suspendidas en el agua, lo cual significa que se "desestabiliza" el sistema de dispersión para permitir la aglomeración. Este proceso ocurre inmediatamente después de la mezcla del agente de coagulación adecuado y de la subsecuente mezcla rápida (en pocos segundos). Mientras que, en el siguiente proceso de transporte se forman los "flóculos" los cuales lentamente van aumentando de tamaño (esta etapa suele denominarse incorrectamente como floculación). (Czysz, 1991)

La desestabilización de un sistema coloidal se puede lograr de dos formas diferentes: por coagulación y por floculación. La coagulación comprende la adición de iones de carga opuesta para reducir la carga electrostática superficial (potencial zeta) de las partículas suspendidas, lo cual evita la aproximación física de las mismas. Así, las partículas pueden atraerse mutuamente aglomerándose (colisión) y produciéndose el crecimiento de los flóculos. (Czysz, 1991)

La suspensión coloidal se desestabiliza mediante el enlace simple y transversal de las micropartículas a través de los puentes formados por las moléculas lineales de la cadena. Estos polímeros orgánicos sintéticos, que se conocen como "agentes floculantes auxiliares", poseen una estructura tan voluminosa que permiten la combinación de las partículas más finamente dispersas en aglomerados mayores, sin una reducción considerable de un potencial zeta. (Czysz, 1991)

Después de la desestabilización del sistema, son necesarios los procesos de transporte para lograr el máximo número posible de colisiones de partículas. Esto permite la formación de aglomerados que crecen constantemente como flóculos hasta un tamaño en el cual puedan separarse fácilmente del agua residual.

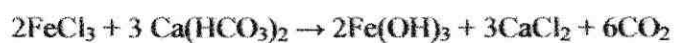
Los iones de aluminio y hierro (III) flocculan en el agua según esta ecuación general:



Mediante la reacción con los iones de bicarbonato de los agentes endurecedores de carbonatos. Este proceso convierte la dureza de carbonatos en dureza de sulfato o cloruro cuando las sales utilizadas son sulfatos o cloruros, de acuerdo a la siguiente ecuación:

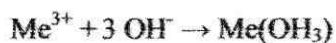


ó



(Czysz, 1991)

Cuando la dureza de carbonatos es demasiado baja, se debe añadir iones oxhidrilo, por ejemplo con hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. La reacción ocurre entonces según la ecuación general:

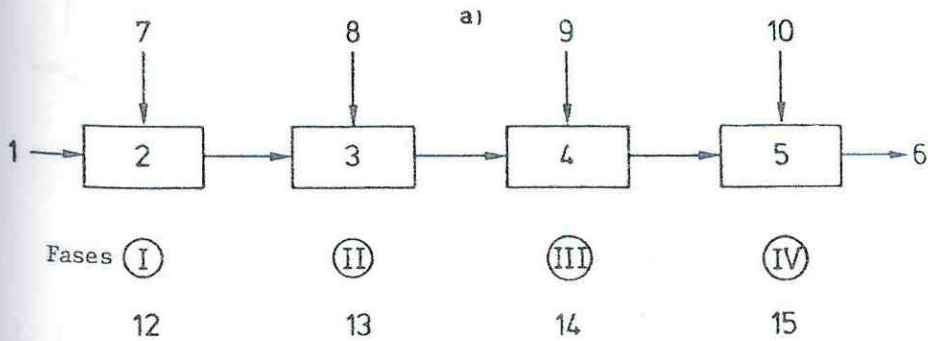


(Czysz, 1991)

Además de sus efectos electrolíticos (descarga eléctrica de partículas suspendidas con carga negativa, con la consiguiente eliminación de la repulsión de las partículas y el inicio de la coagulación), las sales metálicas muestran un fuerte efecto de adsorción sobre la materia suspendida. Este efecto es particularmente pronunciado cuando la carga de las partículas es negativa (coagulación adsorbente). El proceso de adsorción se produce en las superficies cada vez más amplias de los flóculos de hidróxido en crecimiento. (Czysz, 1991)

En la mayoría de los casos, los aglomerados ya coagulados permanecen como pequeños flocúlos, los que se agrandarán y volverán rápidamente sedimentables al agregar agentes auxiliares de floculación. (Czysz, 1991)

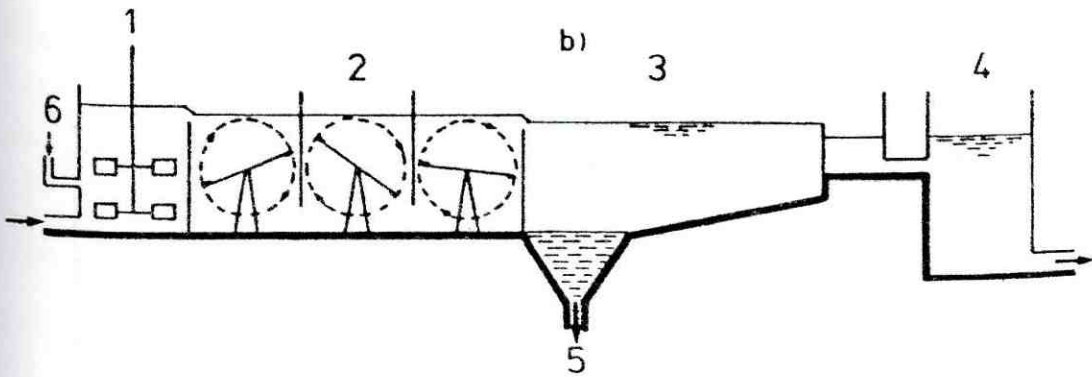
Figura No. 4: Sistema de floculación y precipitación.



1. Agua residual cruda.
2. Premezcladora.
3. Cámara de floculación.
4. Tanque de sedimentación.
5. Filtro de arena.
6. Rebose de agua residual.
7. Agente precipitante.
8. Agente floculante.
9. Acelerador de sedimentación.
10. Filtración auxiliar.
11. Fases.
12. Precipitación
13. Floculación.
14. Separación de flocúlos
15. Evacuación de sólidos suspendidos.

(Czysz, 1991)

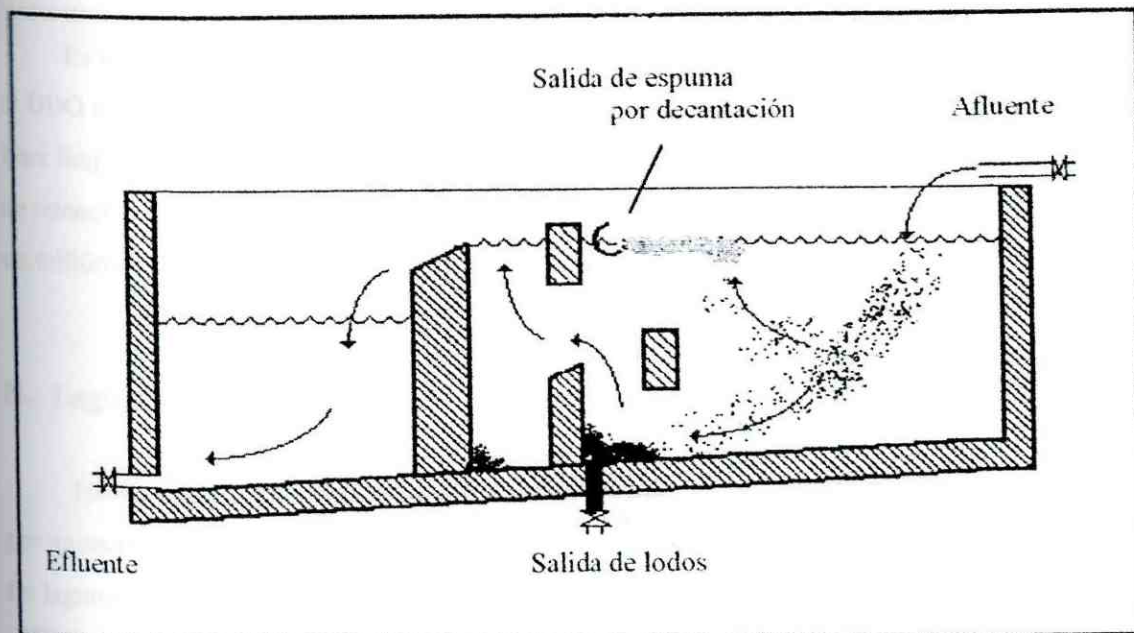
Figura No. 5: Diagrama de un sistema de floculación y precipitación.



1. Tanque mezclador.
2. Compartimento de floculación.
3. Sedimentación.
4. Filtro rápido de arena.

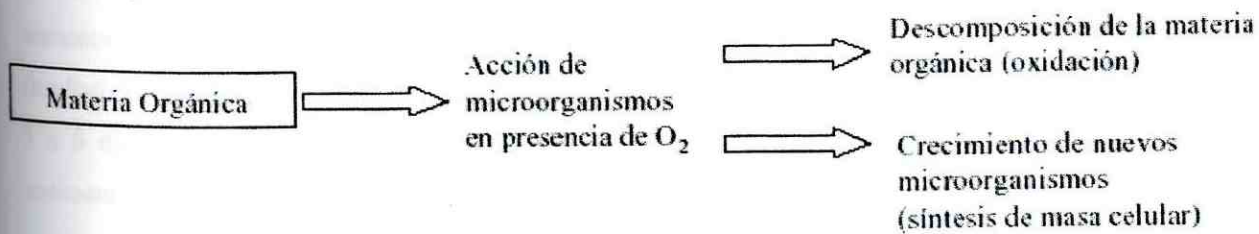
(Czysz, 1991)

Figura No. 6: Tanque de separación por flotación y sedimentación.



(Cifuentes, 2001)

Figura No. 7: Proceso de biodegradación de la materia orgánica.



(AQC, 1992)

M. Aireación extendida

Es un proceso de lodos activados operado con tiempos de retención mayores. Puede reducir el DBO a menos de 10 mg/L pero los sólidos que se acarrean pueden correr a razones de 50 mg/L. Para limpiar estos efluentes usualmente se recurre a filtración o coagulación. Debido a los tiempos de retención tan grandes (12 a 24 horas), el proceso se considera únicamente para flujos menores a un millón de galones por día. (Eckenfelder, 1985)

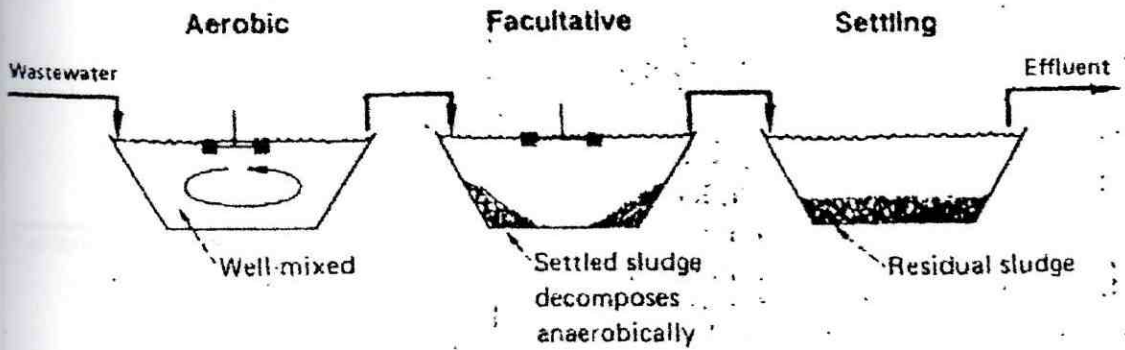
N. Lagunas aireadas

Tienen una profundidad entre 8 y 16 pies y varios acres de superficie, que son oxigenadas por agitación o por difusión para promover la biodegradación de compuestos orgánicos solubles. En lagunas aireadas, el oxígeno disuelto y los compuestos sólidos suspendidos se mezclan bien al utilizar entre 14 y 20 HP / millones de galones y los microorganismos son aeróbios. En lagunas facultativas, sólo la superficie es agitada (4-10 HP/millones de galones), y algunos de los sólidos se sedimentan en el fondo, en el cual son descompuestos por microorganismos aneróbios, el metano junto con otros compuestos formados en el fondo son oxidados por los organismos aeróbios en el agua cerca de la superficie. (Eckenfelder, 1985)

La configuración óptima de un sistema de lagunas aereadas se compone de una laguna aereada, seguida de una facultativa y luego por una laguna de sedimentación para limpiar el efluente de sólidos suspendidos. La laguna aireada degrada compuestos orgánicos solubles y aumenta la concentración de la biomasa, tiene un tiempo de retención de 1 a 3 días. La laguna facultativa remueve el DBO residual y la mayoría de los sólidos suspendidos, en una retención de 3 a 6 días. Si los sólidos suspendidos son menores a 50 mg/L, se necesita una laguna de sedimentación. (Eckenfelder, 1985)

Este sistema de lagunas es comparable en la eficiencia con los procesos de lodos activados, no utiliza recirculación de lodos, pero se necesitan grandes extensiones de terreno. Un inconveniente de este sistema es que reducen su eficiencia durante el invierno al estar al aire libre. (Eckenfelder, 1985)

Figura No. 8: Una laguna aireada es aeróbica, si es bien mezclada, facultativa si hay presencia de sólidos en descomposición en el fondo.



(Eckenfelder, 1985)

Cuadro No. 4: Tipos principales de lagunas de estabilización.

Tipo	Aerobias aereadas (h:0,4 a 7,5 m)	Facultativas aereadas	Facultativas aerobias (h: 0,6 a 1,5 m)	Aerobias
Descripción	La aereación de la laguna se logra a través de difusores mecánicos de oxígeno; se requiere plantas de sedimentación	Usa solo aeradores superficiales; por te de la descomposición anaerobia ocurre en los sedimentos del fondo de la laguna	El oxígeno es suministrado en la superficie a través de algas y mezcla del viento; ocurre cierta actividad anaerobia en los sedimentos del fondo	Lagunas poco profundas donde el oxígeno llega a través de las algas para mantener las condiciones aerobias en la laguna
Ventajas	-Requiere un área de tamaño y volumen relativamente pequeño -Libre de olores -Alto grado de tratamiento	- Requiere un area de tamaño y volumen relativamente pequeño -Relativamente libre de olores -Alto grado de tratamiento	-Bajos costos de O&M -Alto grado de tratamiento	-Bajos costos de O&M
Desventajas	-Costo más elevado de O&M que cualquier otro sistema	-Costos sustanciales de O&M	-Requiere un área de gran tamaño y volumen -Posibles olores	- Requiere un área de gran tamaño y volumen -Posibles olores
Mano de obra	Mantenimiento de aeradores; remoción de lodo	Mínimo	Mínimo	Mínimo
Energía	Moderada	Poca (para los aeradores)	Ninguna	Ninguna
Grado de complejidad	Moderado; se requiere poca destreza para mantener el equipo	Simple; no requiere personal calificado	Simple; no requiere personal calificado	Simple; no requiere personal calificado
Residuos	Lodo	Remoción de lodo cada 10 a 20 años	Remoción de lodo cada 10 a 20 años	Células de algas

h: profundidad promedio

(EPA, 1992)

Cuadro No. 5: Efectos del pretratamiento y tratamiento de lodos sobre los lodos y las opciones de uso y disposición.

Definición del proceso de tratamiento	Efecto sobre los lodos	Efecto sobre las opciones de uso y disposición de lodos
Pretratamiento: Reducción de los niveles de contaminantes en la descarga de aguas residuales industriales	Reduce el nivel de metales pesados y sustancias orgánicas en la descarga de aguas residuales industriales, lo que disminuye la concentración de estos componentes en el lodo	Incrementa la viabilidad de la aplicación en el terreno, distribución, comercialización y disposición en el mar. Reduce la necesidad de dispositivos para controlar la contaminación durante la incineración y evita problemas de disposición de cenizas de incineradores
Espeamiento: Separación de baja fuerza centrífuga de agua y sólidos por gravedad o flotación	Incrementa la concentración de sólidos en el lodo mediante la remoción de agua, lo que disminuye el volumen del lodo	Reduce los costos de transporte de lodos en todas las opciones
Digestión (aerobia y anaerobia): Estabilización biológica del lodo mediante la conversión de algunas materias orgánicas en agua, dióxido de carbono y metano	Reduce el contenido de sustancias orgánicas volátiles y biodegradables del lodo al convertirlas en material soluble y gas. Reduce los niveles de agentes patógenos y controla la putrefacción	Reduce la cantidad de lodos. Es el método preferible de estabilización antes de su disposición en un relleno sanitario o aplicación en el terreno. Reduce el poder calórico para la incineración, pero la digestión anaerobia produce metano recuperable
Estabilización con cal: Estabilización de lodos mediante la adición de cal	Eleva el pH del lodo. Reduce temporalmente la actividad biológica. Disminuye los niveles de patógenos y controla la putrefacción. Incrementa la masa de sólidos secos del lodo	Puede usarse antes de su aplicación en el terreno y disposición en un relleno sanitario. El alto pH del lodo estabilizado con cal tiende a inmovilizar los metales pesados en el lodo siempre que se mantengan altos niveles de pH
Acondicionamiento: Alteración de las propiedades del lodo para facilitar la separación del agua. El acondicionamiento puede realizarse de diversas maneras, por ejemplo, mediante la adición de productos químicos inorgánicos tales como cal y cloruro férrico; de productos químicos orgánicos como polímeros; o un ligero incremento de la temperatura y presión del lodo. El acondicionamiento térmico también produce desinfección	Mejora las características de la deshidratación de lodos. El acondicionamiento puede incrementar la masa de sólidos secos que se maneja y dispone sin aumentar el contenido orgánico del lodo	Incrementa la cantidad de combustible adicional requerido en la incineración cuando se eleva la cantidad de material inerte en el lodo
Deshidratación: Separación de alta fuerza centrífuga de agua y sólidos	Incrementa la concentración de sólidos en el lodo al remover gran parte del agua retenida, lo que disminuye el volumen de lodo. El agua recupera algo de nitrógeno y otros materiales solubles	Reduce los costos de combustible para la incineración y los requerimientos de terreno y de grandes cantidades de suelo para el relleno. Disminuye los costos de transporte en todas las opciones. La deshidratación puede ser indeseable para la aplicación en el terreno en regiones donde el agua es un recurso agrícola costoso. La reducción de los niveles de nitrógeno puede o no ser ventajosa
Compostificación: Procesos aerobios que incluyen la estabilización biológica de lodo en un camellón, una pila estática aerada o recipiente	Reduce la actividad biológica. Puede destruir todos los agentes patógenos. Degrada el lodo a un material similar al humus. Incrementa la masa de lodo debido a la adición de un aglomerante	Útil antes de la aplicación en el terreno, distribución y comercialización. Generalmente, no es apropiada para otras opciones de uso o disposición debido al costo
Secado por calor: Aplicación de calor para matar agentes patógenos y eliminar la mayor cantidad de agua	Desinfecta el lodo. Reduce ligeramente los olores y la actividad biológica	Generalmente se usa antes de la distribución y comercialización

(WPCF-WEF, 1980)

III. JUSTIFICACIÓN

- A. El principal beneficio de este tratamiento es retener aceites y grasas para evitar la *contaminación del medio ambiente.*

- B. Diseñar una planta de tratamiento que se pueda utilizar en cualquier industria *alimenticia que maneje aceites y/o grasas.*

- C. Contar con un tratamiento de retención de aceites y grasas que tenga como base *los últimos y modernos dispositivos a fin de cubrir todas las necesidades ambientales para la retención de aceites y grasas.*

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Retener aceites y grasas provenientes de actividades de las industrias alimenticias, evitando la contaminación de efluentes.

B. Objetivos específicos

1. Que el tratamiento retenga la mayor cantidad posible de aceites y grasas de manera que se cumpla con el máximo de 10 mg/L en el efluente que pide el Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos del Gobierno de la República de Guatemala.
2. Que el dispositivo de retención de aceites y grasas sea de fácil limpieza.
3. Que el tamaño del dispositivo de tratamiento de retención de aceites y grasas se pueda ajustar y se pueda variar según las necesidades de retención.

V. METODOLOGÍA

La metodología del trabajo de graduación consistirá en un proceso en el que se revisará literatura relacionada con el tema de tratamiento de efluentes contaminados con grasas y aceites y documentos o literatura que contenga información de tratamiento de efluentes con alto contenido de aceites y grasas y su separación, además de sus posibles usos.

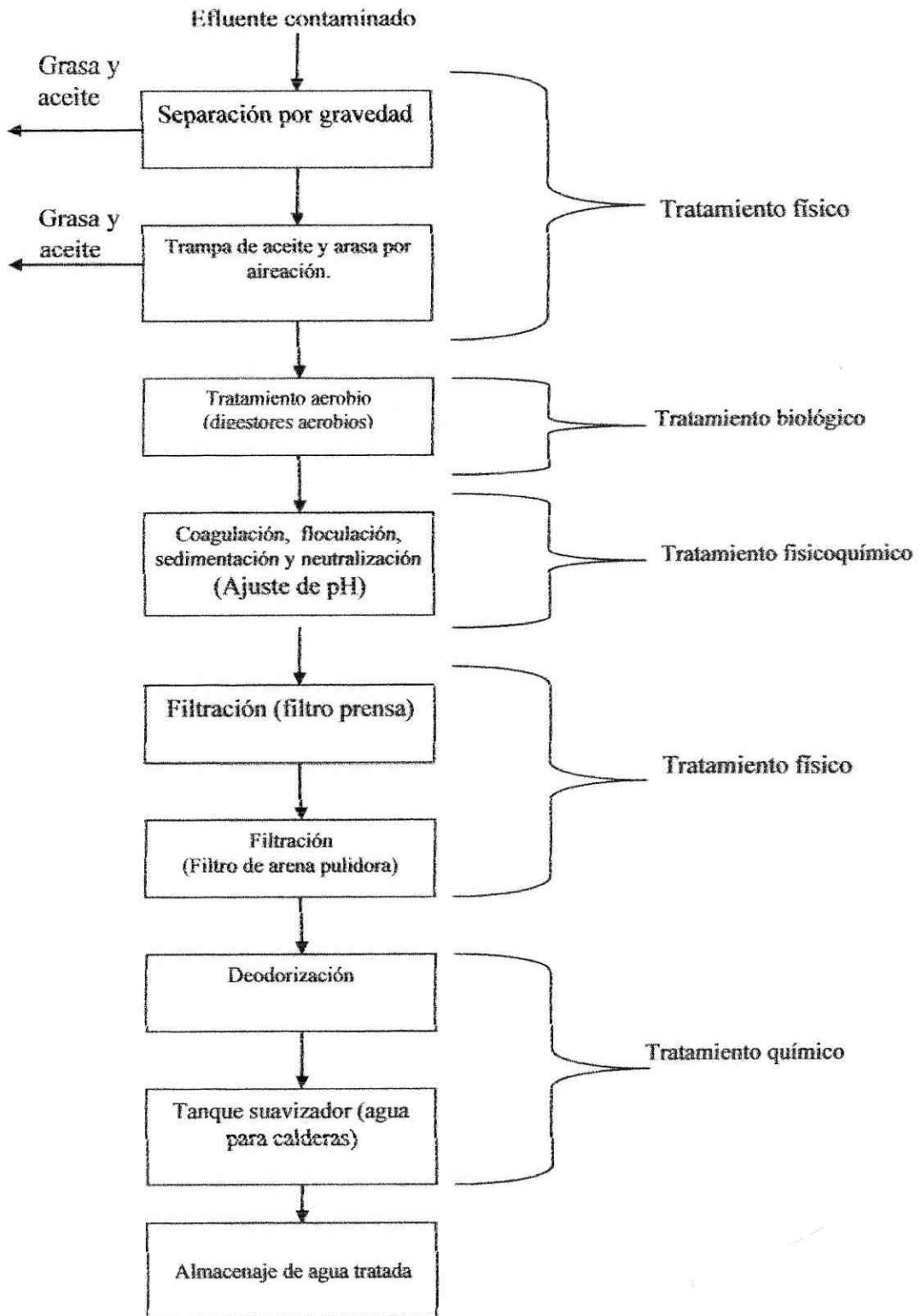
Se tienen estipulados cuatro meses para definir título del trabajo de graduación, los objetivos generales, los objetivos específicos y la justificación de trabajo fin de que al finalizar estos cuatro meses se tenga definido y claro el contenido y los ejes de investigación del trabajo de graduación.

La redacción de trabajo de graduación y el diseño de planta de tratamiento se realizará a partir del sexto mes de trabajo, teniendo esta etapa una duración de cinco meses en los cuales se realizará el trabajo de redacción de la investigación literaria en el cual se resaltarán los principales puntos de la planta de tratamiento en la que se tendrá como finalidad la remoción de las grasas y los aceites explicando cada una de las etapas de esta planta y discutiendo la secuencia de los equipos a utilizar.

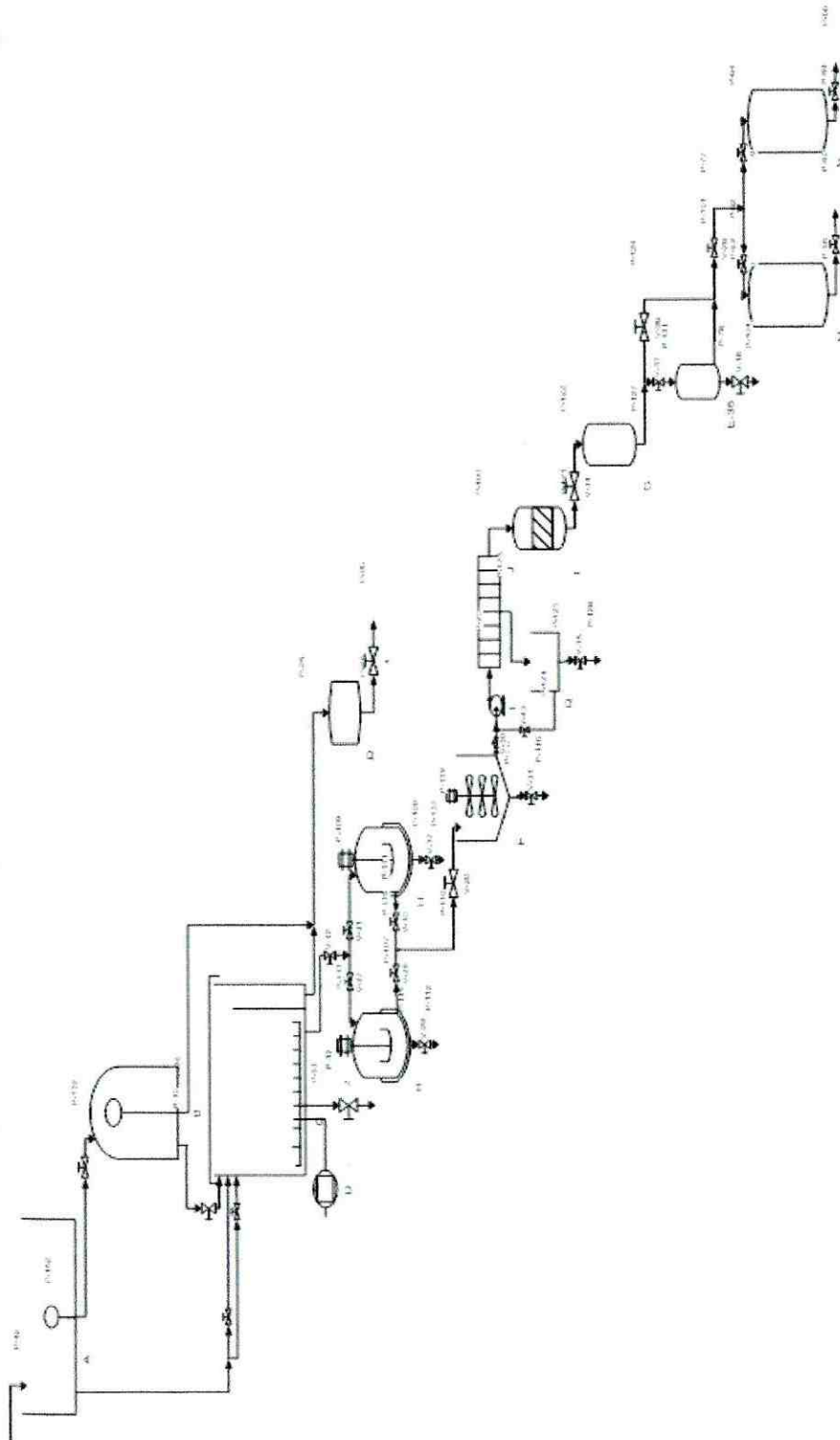
En el diseño de la planta se tiene contemplado un esquema representativo de una planta a fin que el lector tenga una mejor idea de los equipos básicos necesarios que se deben utilizar para tratar los efluentes de la industria alimenticia y los equipos necesarios para la remoción, transporte y almacenaje de las grasas y aceites producto de la separación con los métodos y equipos sugeridos.

Se tiene previsto determinar qué empresas están comprando estas grasas y aceites y poder asignarle un valor a fin de tener costos aproximados de la venta de estos productos y de recuperación de la inversión de la planta de tratamiento no así el beneficio de hacer productos amigables al medio ambiente y con el valor agregado que se respetan las normas ambientales de producción.

VI. ESQUEMA DE PROCESOS

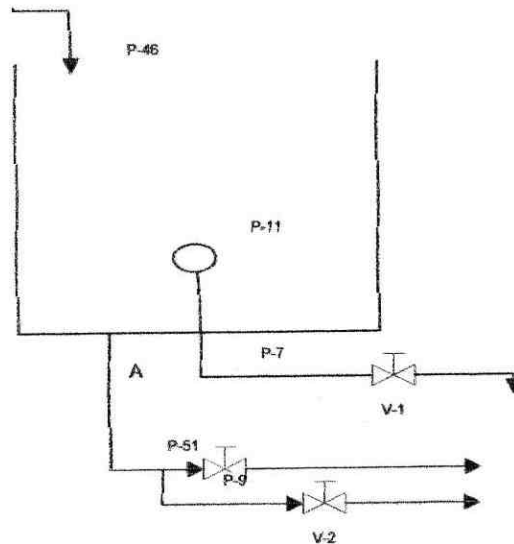


VII. DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO



1. Tanque de acondicionamiento (A)

Diagrama #1:



Dimensiones del tanque:

$$400 \text{ m}^3 + 10\% = 440 \text{ m}^3$$

$$\text{Diámetro} = 9.14 \text{ m}, \text{ Altura} = 6.71 \text{ m}$$

Dimensiones de tubería de descarga:

$$\text{Diámetro: } 12'' = 0.3048 \text{ mts}, \text{ Altura} = 3 \text{ mts}$$

Flujo de entrada:

$$200,000 \text{ L/día} \times (1/24 \text{ día}) \times (1 \text{ hora}/60 \text{ min}) = 138 \text{ L/min} \times (1 \text{ min}/60 \text{ seg}) = 2.31 \text{ L/s}$$

Grasa acumulada (1 días):

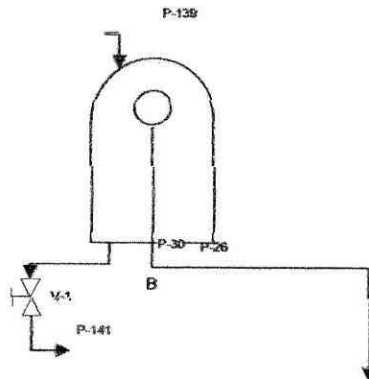
$$1500 \text{ mg/L} \times 200,000 \text{ L} \times (1 \text{ g} / 10^3 \text{ mg}) \times (1 \text{ kg} / 1000 \text{ g}) = 300 \text{ Kg}$$

Grasa acumulada (2 días):

$$1500 \text{ mg/L} \times 400,000 \text{ L} \times (1 \text{ g} / 10^3 \text{ mg}) \times (1 \text{ kg} / 1000 \text{ g}) = 600 \text{ Kg}$$

2. Separador por gravedad (B)

Diagrama #2:



Dimensiones del tanque separador por gravedad:

$$20 \text{ m}^3 + 10\% = 22 \text{ m}^3$$

$$\text{Diámetro} = 3.05 \text{ m}, \text{ Altura} = 3.02 \text{ m}$$

Flujo de entrada:

$$138 \text{ L/min} = 2.31 \text{ L/s}$$

Tiempo de descarga:

$$16.3 \text{ minutos} = 978 \text{ segundos}$$

Volumen de agua por batch:

$$17,190 \text{ L}$$

Dimensiones de tubería de descarga:

$$\text{Diámetro: } 12'' = 0.3048 \text{ mts}, \text{ Altura} = 2.38 \text{ mts}$$

Flujo de descarga:

$$1054.60 \text{ L/min} = 17.58 \text{ L/s}$$

Eficiencia del separador de grasa:

$$85 \%$$

Concentración de aceite y grasa en la entrada:

1500 mg/L

Concentración de aceite y grasa en la salida:

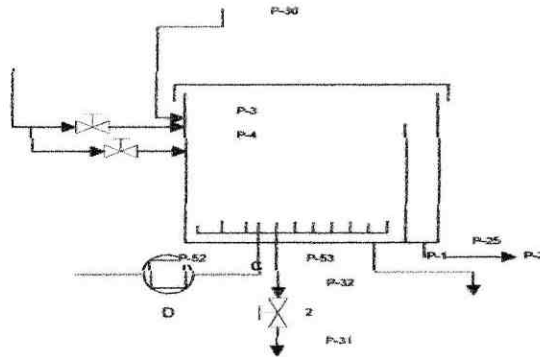
1500 mg/L - (1500 x 0.85) = 225 mg / L

Aceite y grasa recuperada por día:

300 Kg x 0.85 = 255 Kg / día

3. Trampa de aceite y grasa "aire disuelto" (C)

Diagrama #3:



Dimensiones de la trampa de grasa:

$$5.56 \text{ L/s} \times (300 \text{ s} / 5 \text{ min}) = 1668 \text{ L} = 1.668 \text{ m}^3$$

$$20 \text{ m}^3 + 1.668 \text{ m}^3 = 21.668 \text{ m}^3$$

$$21.668 \text{ m}^3 \times 1.10 = 23.83 \text{ m}^3 = 24 \text{ m}^3 = 24,000 \text{ L}$$

Largo = 4 m, Ancho = 3 m, Profundidad = 2m

Tiempo de llenado:

$$16.3 \text{ minutos} = 978 \text{ segundos}$$

Tiempo de retención:

$$20 \text{ minutos} = 1200 \text{ segundos}$$

Eficiencia del separador de grasa:

90 %

Concentración de aceite y grasa en la entrada:

225 mg/L

Concentración de aceite y grasa en la salida:

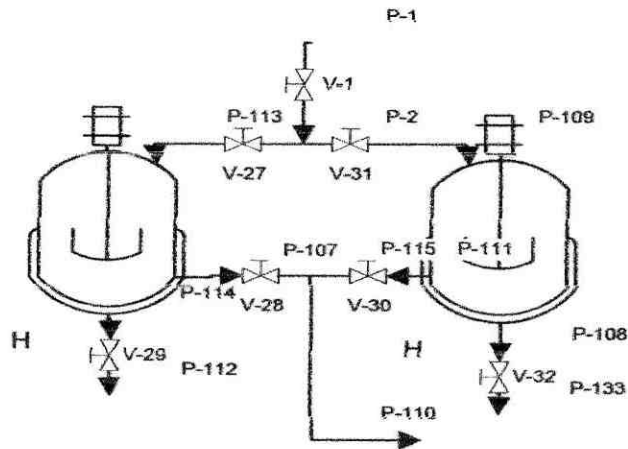
$$225 \text{ mg/L} - (225 \times 0.90) = 22.5 \text{ mg / L}$$

Aceite y grasa recuperada por día:

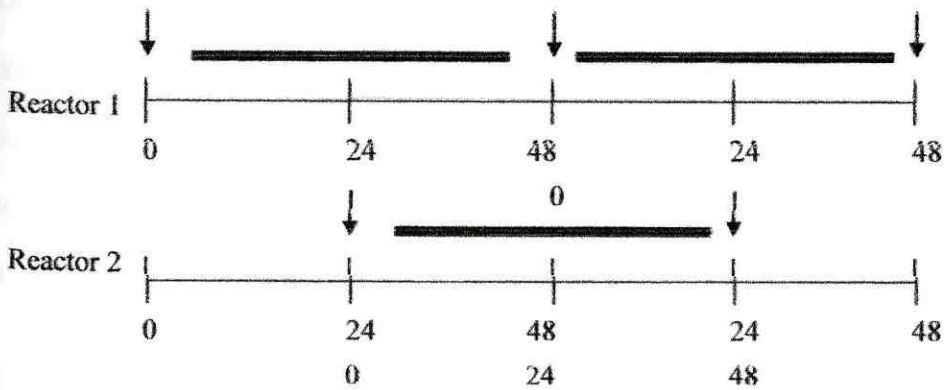
$$45 \text{ Kg} \times 0.90 = 40.5 \text{ Kg / h}$$

4. Reactores aerobios (H)

Diagrama #4:



Secuencia de operación de los reactores:



Dimensiones de cada reactor:

$$200 \text{ m}^3 + 10 \% = 220 \text{ m}^3$$

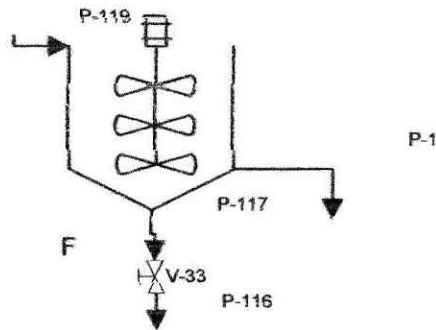
Diámetro = 8 m, Altura = 4.4 m

Tiempo de residencia de cada Batch:

2 días = 48 horas

5. Tanque sedimentador y neutralizador (F)

Diagrama #5:



Dimensiones del sedimentador:

$$200 \text{ m}^3 + 10 \% = 220 \text{ m}^3$$

Diámetro = 6 m, Altura = 7.78 m

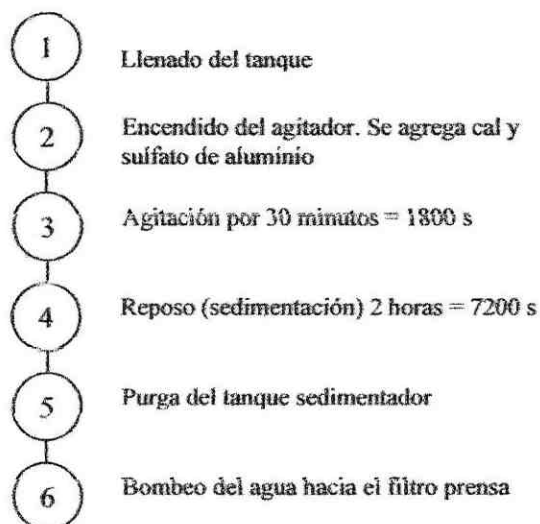
Tiempo de residencia de cada batch:

Agitación: 30 minutos

Reposo (sedimentación): 2 horas

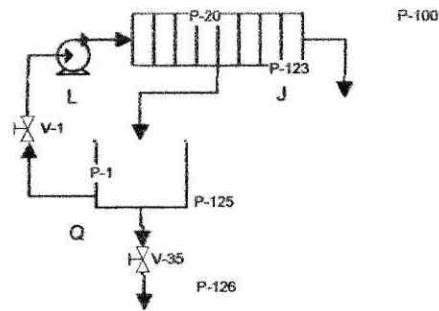
Total (tiempo de residencia por batch) = 2.5 horas

Diagrama de actividades:



6. Filtro prensa (J) y Tanque de recirculación de filtro prensa (Q)

Diagrama #6:



Dimensiones del filtro prensa:

Placas de 800 x 800 mm con presión de trabajo de 1000 a 3000 KPa

Modelo:

KE 800

Número de placas instaladas:

De 28 a 75

Dimensiones del tanque receptor de purga del filtro prensa:

$20 \text{ m}^3 + 10\% = 22 \text{ m}^3 = 22,000 \text{ L}$

Diámetro = 3.05 m, Altura = 3.02 m

Tiempo máximo de llenado del tanque receptor de purga:

1 día = 24 horas

ó su equivalente

200,000 L.

Especificación de bomba: (ver gráfica No. 6 y 7 del apéndice)

Bomba centrífuga

1 ½ x 3 – 13 MT A20

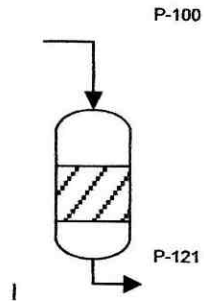
Caballaje: 50 HP

Eficiencia = 45 %

Revoluciones por minuto = 3560

7. Filtro de arena "filtro pulidor" (I)

Diagrama #7:



Dimensiones:

2.20 m x 5.30 m

Modelo:

5FAB900 + 5FY - 3 - M

Superficie filtrante:

3.18 m²

Caudal máximo:

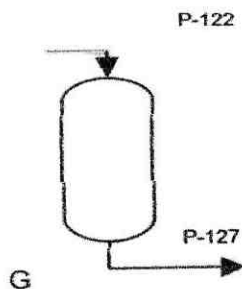
207 m²/h

Material de construcción:

Cuerpo de acero al carbón

8. Deodorizador "carbón activado" (G)

Diagrama #8:



Modelo:

NHN / 1.2 / ACF / FRP / 100

Diámetro:

1.067 m

Altura:

1.83 m

Regeneración de carbón activado:

Con vapor (revertir la adsorción).

Reducción de aceite y grasa en equipos:

$$H + F + J = 90 \%$$

$$I + G = 10 \%$$

Aceite y grasa antes de equipos H, F, J:

22.5 mg / L.

Aceite y grasa después de equipos H, F, J:

$$22.5 \text{ mg / L} - (22.5 \times 0.90) = 2.25 \text{ mg / L}$$

Aceite y grasa antes de equipos I, G:

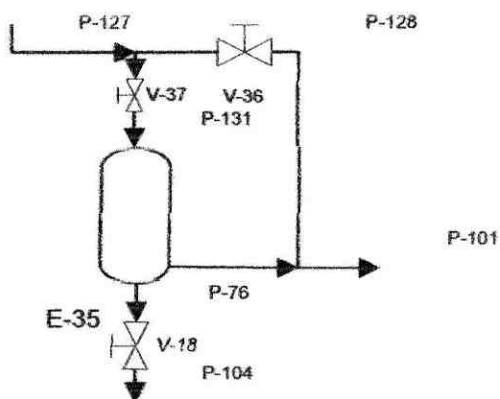
2.25 mg / L.

Aceite y grasa después de equipos I, G:

$$2.25 \text{ mg / L} - (2.25 \times 0.10) = 2.025 \text{ mg / L}$$

9. Tanque suavizador de agua para caldera "Tanque con resinas" (E)

Diagrama #9:



Dimensiones del tanque suavizador:

Volumen del tanque:

16.58 m³

Volumen de resina:

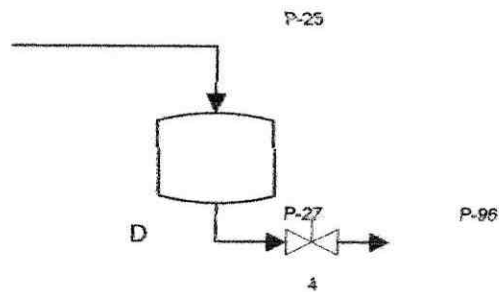
11.04 m³

Regeneración de resina:

Solución salina (salmuera)

10. Tanque de almacenamiento de aceite y grasa recuperada (D1)

Diagrama #10:



Dimensiones del tanque de almacenamiento de aceite y grasa:

$$5 \text{ m}^3 + 10 \% = 5.5 \text{ m}^3 = 5,500 \text{ L}$$

Diámetro = 1.5 m, Altura = 2.83 m

Flujo de entrada de aceite y grasa por día:

295.5 Kg/día

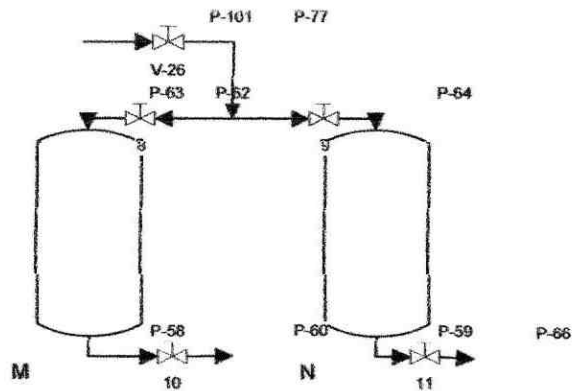
Flujo de entrada de aceite y grasa cada 15 día:

$$295.5 \text{ Kg} \times 15 = 4432.5 \text{ Kg} = 4450 \text{ Kg/ 15 días}$$

$$4450 \text{ Kg/ 15 días} \times (1000 \text{ g} / 1 \text{ Kg}) \times (1 \text{ mL} / 0.91 \text{ g}) \times (1 \text{ L} / 1000 \text{ mL}) = 4890.11 \text{ L} / 15 \text{ días}$$

11. Tanques de almacenamiento de agua tratada (M, N)

Diagrama #11:



Dimensiones de cada tanque de almacenamiento de agua (2 tanques):

$$200 \text{ m}^3 + 10 \% = 220 \text{ m}^3 = 220,000 \text{ L}$$

Diámetro = 6.2 m, Altura = 7.3 m

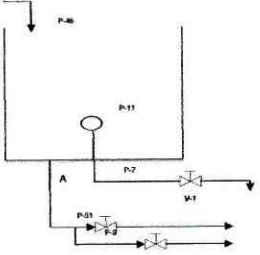
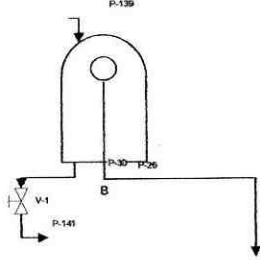
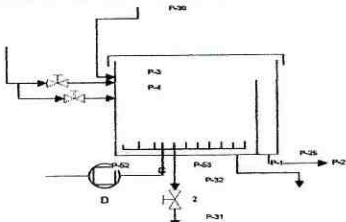
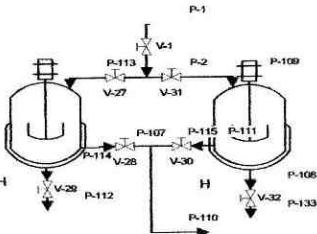
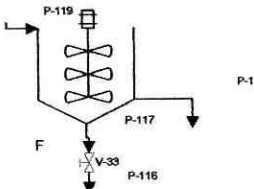
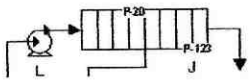
Opción de flujo de entrada (Tanques de almacenamiento de agua):

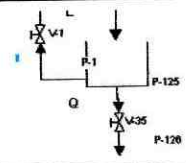
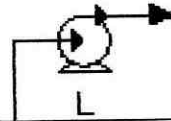
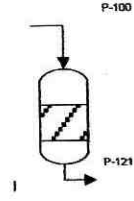
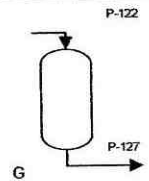
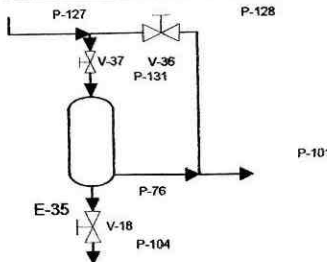
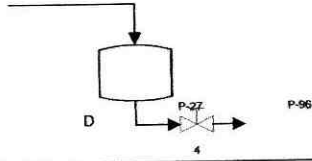
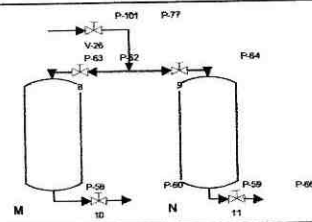
- Flujo del suavizador:
- Flujo del deodorizador (Bypass):

12. Equipos de planta de tratamiento

	Equipo
A	Tanque de acondicionamiento
B	Separador por gravedad
C	Trampa de aceite y grasa "aire disuelto"
D ₁	Tanque de almacenamiento de aceite y grasa recuperada.
D ₂	Compresor de aire
E	Tanque suavizador de agua para caldera "Tanque con resinas"
F	Tanque sedimentador
G	Deodorizador "carbón activado"
H ₁	Reactor aerobio
H ₂	Reactor aerobio
I	Filtro de arena "filtro pulidor"
J	Filtro prensa
L	Bomba centrífuga
M	Tanque de almacenamiento de agua tratada
N	Tanque de almacenamiento de agua tratada
Q	Tanque de recirculación de filtro prensa
Accesorios	
	3 Motores
	28 Codos de 45°
	26 Válvulas de compuerta
	3 Válvulas solenoides
	6 "T"
	1000 pies de tubería de acero al carbón, cédula 40
	3 Propelas para agitación.

RESUMEN DE EQUIPOS

	Equipo	Diagrama	Especificaciones
1	Tanque de acondicionamiento.		Capacidad 440 m ³ $\varnothing = 9.14 \text{ m}$, $h = 6.71 \text{ m}$
2	Separador por gravedad.		Capacidad 22 m ³ $\varnothing = 3.05 \text{ m}$, $h = 3.02 \text{ m}$
3	Trampa de aceite y grasa "aire disuelto".		Capacidad 24 m ³ Longitud = 4 m, Ancho = 3 m, Profundidad = 2 m
4	Reactores aerobios.		Capacidad 22 m ³ cada reactor. $\varnothing = 8 \text{ m}$, $h = 4.4 \text{ m}$
5	Tanque sedimentador y neutralizador.		Capacidad = 220 m ³ $\varnothing = 6 \text{ m}$, $h = 7.78 \text{ m}$
6	Filtro prensa.		Placas de 800 x 800 mm Presión de trabajo de 1,000 a 3,000 Kpa. Número de placas: De 28 a 75. Modelo Ke 800

CONTINUACIÓN DE RESUMEN DE EQUIPOS			
	Equipo	Diagrama	Especificación
7	Tanque de recirculación del filtro prensa.		Capacidad = 22 m ³ Ø = 3.05 m, h= 3.02 m
8	Bomba centrífuga		1 ½ x 3 – 13 MTA20 Caballaje = 50 HP Eficiencia = 45 % RPM = 3,560
9	Filtro de arena "filtro pulidor"		Material: Cuerpo de acero al carbón. Ancho = 2.20 m, Altura = 5.30 m Superficie filtrante 3.18m ² Modelo 5FA13900+5fy-3-M
10	Deodorizador "carbón activado".		Ø = 1.067 m, h= 1.83 m Modelo NHN/1.2/ACF/FRP/100
11	Tanque suavizador de agua para caldera "tanque con resinas"		Volumen del tanque = 16.58 m ³ Volumen de Resina = 11.04 m ³
12	Tanque de almacenamiento de aceite y grasa recuperada.		Capacidad = 5.5 m ³ Ø = 1.5 m, h= 2.83 m
13	Tanque de almacenamiento de agua tratada.		Capacidad = 220 m ³ Ø = 6.2 m, h= 7.3 m

VIII. COSTOS

Estimado de inversión inicial		
Rubro	Porcentaje asignado	Valor en quetzales
Equipos (tanques, reactores, filtro prensa, filtro pulidos, deodorizador, suavizador)	37.9 %	848,746.49
Instalación de equipos	12.6 %	282,169.01
Tubería, accesorios y válvulas	7.9 %	179,154.93
Instrumentos (sensores de nivel)	5.6 %	125,408.45
Preparación del terreno	3.5 %	78,380.28
Auxiliares (bomba, compresor, motores, propelas)	14.2 %	318,000
Ingeniería	9.1 %	203,788.73
Imprevistos (varios)	9.2 %	206,028.17
TOTAL		2,241,675.46

IX. DISCUSIÓN

Este trabajo de graduación consistente en el diseño de una planta de tratamiento de efluentes con alto contenido de aceites y grasas en la industria de alimentos surge como una alternativa para el tratamiento de efluentes contaminados con aceites y grasas. Esta investigación tiene como finalidad proteger los recursos hídricos del planeta de la contaminación proveniente de empresas que utilicen aceites y grasas como es el caso de las industrias de alimentos.

En esta investigación se utilizan dispositivos de retención, degradación y tratamiento de aceites y grasas, los cuales se pueden diseñar acorde a las necesidades de tratamiento de efluentes de cada industria en particular. Estos dispositivos son de fácil limpieza ya que por ser un proceso semi-continuo se tiene el tiempo necesario para darle la limpieza necesaria y el mantenimiento necesario a los equipos.

La importancia de diseñar plantas de tratamiento de efluentes contaminados con grasas y aceites radica en que las plantas actuales de tratamiento de efluentes que se tienen para tratar agua de procesos industriales procedentes de industrias en donde el principal contaminante son los aceites y las grasas es que estas plantas son multifuncionales y su función es retener sólidos contaminantes y mejorar las condiciones del agua ajustando los parámetros de de DBO y DQO, pero el problema es que no se le da énfasis al principal contaminante, que en este caso es el contenido de aceites y grasas en el efluente. En este trabajo se muestra un diseño de una planta de tratamiento de aceites y grasas en la cual se cumplen con los requisitos para descargas de agua de tipo industrial a los efluentes.

Para el diseño, la elección de los equipos y la secuencia del tratamiento se realizó un trabajo de investigación exhaustivo en el cual se investigó desde libros de ingeniería sanitaria hasta artículos publicados por empresas refinadoras de aceites y grasas en los cuales se describe la finalidad y la tendencia de las plantas de tratamiento especializadas en mejorar la calidad de los efluentes contaminados con aceites y grasas.

Se tiene el problema que hay muy pocas plantas especializadas en el tratamiento de efluentes de industrias de alimentos con alto contenido de aceites y grasas y muy pocos

estudios relacionados con el tema, por lo que ha sido muy difícil encontrar alternativas y se pretende que con este estudio se conozca y se tenga más información e ideas de cómo pueden diseñarse estas plantas y como pueden estructurarse las etapas de tratamiento a fin de lograr la mayor eficiencia para que las industrias que produzcan o que utilicen aceites y grasas no contaminen el medio ambiente.

Malasia es de los principales productores y exportadores de aceite y grasa en el mundo por lo que se investigó acerca de los procesos y las etapas de tratamiento usadas en sus plantas, para tener referencias de diseños y modelos a seguir en el diseño de nuevas plantas de tratamiento en Guatemala dado a la cantidad de alternativas y procesos usados en ese país a fin de lograr el mejoramiento de la calidad del agua contaminada con grasas y aceites.

El diseño de la planta de tratamiento de este trabajo de investigación va enfocado en las tendencias de reutilización de los efluentes tratados en procesos de producción de la misma industria u otros usos en poblaciones aledañas antes de tirar el agua a los ríos a fin de obtener el máximo provecho de los recursos hídricos teniendo el cuidado de no contaminar el medio ambiente y no hacer usos irracionales de este líquido tan valioso y que cada vez es más escaso.

En Guatemala, según el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de las disposición de lodos se tienen requisitos parámetros y etapas proyectadas hasta el año 2024 en los cuales se le exige a las industrias que sus descargas deben cumplir con estos requisitos y parámetros por lo que si no se cumplen, se puede llegar a tener multas por contaminación al medio ambiente o incluso el cierre de la planta.

El Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de las disposición de lodos tiene como requisito que para el año 2,024 el contenido de grasas y aceites en los efluentes sea menor de 10 mg/L de aceite y grasa por lo que se ha determinado teóricamente que la planta de tratamiento que se presenta en esta investigación tiene como máximo 2.025 mg/L de grasa y aceite, teniendo en cuenta que se subestimó la capacidad de retención de algunos equipos.

Como se mencionó anteriormente el futuro ambientalista de estas plantas está en la reutilización de los productos obtenidos del tratamiento de efluentes contaminados. En este caso en particular se obtiene como producto para su reutilización aceite y agua, que en el caso

del aceite puede servir para hacer jabón o biodiesel y el agua puede servir para procesos industriales, para construcciones, para agua de lavado en comunidades que carecen de este líquido, para riego de cultivos agrícolas y demás utilidades que pueda tener por la calidad que se logra con el tratamiento, y por último, si no se le encuentra uso, se entuba hacia el río sin el peligro que el agua de este se contamine con la descarga de la planta.

Actualmente no están de moda lo que son las plantas de tratamiento especializadas al tipo de necesidad de tratamiento del efluente, por lo que en conjunto con las nuevas regulaciones que vendrán con El Reglamento de Aguas, próximo a tomar vigencia, se tendrá que regular el consumo de agua en los procesos y se tendrá que reutilizar la mayor cantidad de este líquido para lograr la eficiencia tanto de la planta, como del recurso ambiental.

Se tiene como dato inicial que el flujo de agua que debe tratarse de la industria para la que se diseñó esta planta de tratamiento es de 200,000L/día, y que el contenido de aceites y grasas es de 1500 mg/L y que ni el agua y ni el aceite y grasa que sale de planta se reutiliza. Con estas condiciones de operación se tiene una oportunidad significativa de mejora, tanto en el aspecto ambiental, que en este caso es el que tienen que solucionar debido a las multas que esta forma de operar les pueda ocasionar, como en el aspecto de reutilización e imagen ambientalista hacia el consumidor, lo cual podría generarle un valor agregado a sus productos.

El terreno destinado para la construcción tiene una pendiente de entre 20 a 25 grados por lo que al diseñar la planta se tomó en cuenta que algunos de los tratamientos, como lo son las lagunas de estabilización o lagunas de aireación no se podían construir tanto por los costos elevados del movimiento de tierra, como por el desnivel que se tiene ya que en tiempo de invierno pueden haber corrientes de agua, debido a la pendiente del terreno, que saturan la capacidad de las lagunas y que éstas se rebalsen y se de una mayor contaminación.

El esquema de procesos está dividido en tres tipos de tratamiento para que éste sea más efectivo, teniendo tratamiento físico, químico y biológico distribuido a través de los procesos de la planta, el tratamiento físico consiste en remover tanto el aceite como la grasa que este flotando, se realiza esta separación por flotación debido a que los aceites y grasas tienen una densidad aproximada de 0.91 g/mL, también se separan las partículas de aceite y grasa distribuidas en el flujo de agua. El tratamiento químico consiste una separación de los aceites y

las grasas por medio de la adición de sustancias que permitan que se de la floculación y precipitación, así mismo se regula el pH para tener agua que se pueda reutilizar en otros procesos. Por último, el tratamiento biológico consiste en degradar el aceite y la grasa del agua por medio de microorganismos que trabajan por degradación aerobia, teniendo un tiempo de retención para permitir que se de la degradación de las sustancias orgánicas presentes en el agua.

Los equipos que se sugiere que se utilicen en el diseño de la planta de tratamiento son: *Tanque de acondicionamiento, separador por gravedad, trampa de grasa y aceite con aire disuelto, tanque sedimentador y de neutralización, filtro prensa, filtro de arena o filtro pulidor, deodorizador de carbón activado, y tanque suavizador de agua por medio de resinas.* Estos equipos se eligieron con base a su alta capacidad de retención de aceites y grasas y su capacidad de proveer al final de una secuencia de procesos agua de muy buena calidad, la cual es posible reutilizarla.

Para el almacenamiento del agua tratada se sugieren dos tanques ya que da la alternativa de tener agua de distinta calidad acorde al uso posterior que se le pueda dar, ya sea para alimentar las calderas, que sería agua tratada con el suavizador o agua para lavado, riego, venta o retorno al río que sería agua que no tiene necesidad de pasar por la operación de suavizado. Para el almacenamiento de aceite y grasa se tiene un tanque el cual tiene la capacidad de almacenar por 15 días el aceite y la grasa recuperada.

El primer equipo de la planta de tratamiento es el tanque acondicionador, el cual es de 440 m³ ya que se necesita que tenga la capacidad de almacenar el flujo equivalente a dos días de operación de la planta, teniendo un flujo diario de 200,000 L, lo que nos da un acumulado de 400,000 L en este tanque de acondicionamiento, teniendo en cuenta que se da un 10 % de en exceso a las dimensiones del tanque como factor de seguridad. La importancia de utilizar un tanque de acondicionamiento está en homogenizar lo más posible el flujo para que la operación en los diferentes equipos de retención de aceites y grasas sea continua, teniendo en cuenta que el flujo volumen máximo que puede tratar diariamente la planta es de 200,000 L. El propósito de este tanque de acondicionamiento es homogenizar lo más posible el flujo de agua a tratar. El sistema de acondicionamiento tiene como finalidad ser un tanque pulmón, de manera que se puede almacenar en este tanque el flujo proveniente de un día de operación de la fábrica y se le

puede dar limpieza a los equipos posteriores o por algún inconveniente en la secuencia de *tratamiento*. Con este tanque de acondicionamiento se pretende que se le de prioridad de salida al aceite y a la grasa para que los equipos que siguen en la planta de tratamiento tengan un flujo homogéneo y operen de forma adecuada.

El agua proveniente de procesos de lavado en el área de producción entra al tanque de acondicionamiento con una concentración de grasa y aceite de 1500 mg/L lo cual está muy por arriba de los parámetros mínimos permitidos por el Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, el cual tiene como parámetro máximo de concentración de 10 mg/L aceite y grasa para el año 2,024. El aceite y la grasa acumulada en el tanque de acondicionamiento es de 600 Kg ya que se tiene la carga acumulada de dos días de operación de la planta.

El segundo equipo de la planta de tratamiento es el separador por gravedad, el cual es de 22 m³ ya que se necesita que tenga la capacidad de almacenar el flujo equivalente a un día de operación de la planta, para un flujo diario de 200,000 L, teniendo en cuenta que las dimensiones del equipo tienen un 10 % en exceso como factor de seguridad. El nivel de agua en estos tanques se controlará con válvulas solenoides y con sensores de nivel para evitar que pase agua al tanque de almacenamiento de grasa y aceite todo esto controlado con un PLC o algún equipo que mantenga la secuencia de abertura y cierre de las válvulas solenoides. La importancia de usar este separador de aceite y grasa por gravedad es que se necesita como etapa primaria del proceso remover la mayor cantidad de aceite y grasa que por ser menos densa que el agua, flota y es posible separar fácilmente las dos fases de manera que el flujo de entrada hace que la grasa se separé continuamente y se asegura que se dé una separación completa. Debido a que estos equipos no operan las 24 horas es posible darle mantenimiento y con esto asegurarse que no se tenga taponamientos de aceite y grasa. La eficiencia de remoción de aceites y grasas de este equipo es del 85 % lo cual es un factor muy importante ya que es un equipo del que se puede recuperar un producto que se puede reutilizar. La concentración de aceite y grasa en la entrada del equipo es de 1500 mg/L y la concentración en la salida es 225 mg/L para tener una reducción del 85 %. Es necesario mencionar que estos equipos son muy eficientes, pero para fines de cálculo se está usando el valor inferior del rango de eficiencia para darle más tolerancia a la operación del equipo. Con este equipo se recuperan 255 Kg/ día de aceite y grasa. Para operar este equipo se necesita de la supervisión continua de un operario,

ya que es necesario que por batch se nivele el volumen almacenado, por lo que el operario asignado a este equipo tiene la responsabilidad de rebalsar el volumen para que la grasa y el aceite que estén flotando pase la compuerta y en el momento que deje de pasar aceite y grasa debe cerrar la válvula. Se tiene una tubería y válvula de 2 pulgadas la cual sale de la tubería principal del tanque de acondicionamiento y va hacia la trampa de grasa para tener una tubería que pueda ser manipulada a fin de regular el flujo y el nivel de agua en el tanque. Se recomienda que se automatice este procedimiento a fin de lograr un control automático que esté en secuencia de las válvulas solenoides. Para lograr la aereación de la trampa de grasa y que se de la flotación del aceite y la grasa disuelta se va a utilizar un compresor de aire de pistón modelo L20, velocidad 950 rpm, capacidad de caudal de aire de 14 m^3 por minuto, con peso de 120 Kg. Este compresor cumple con el requerimiento necesario de 0.3 a 0.6 m^3 de aire por minuto por metro cúbico de agua a tratar, por lo que el compresor seleccionado provee del aire suficiente para tratar como máximo 24 m^3 de agua y además se le dio un 10 % de capacidad extra por cualquier requerimiento mayor.

El tercer equipo de la planta de tratamiento es la trampa de grasa utilizando aire disuelto, la cual es de 24 m^3 ya que se necesita que tenga la capacidad de tener el flujo por un tiempo de residencia de 5 minutos, para un flujo diario de 200,000 L, teniendo en cuenta que las dimensiones del equipo tienen un 10 % en exceso como factor de seguridad. Se utilizarán dos válvulas solenoides y sensores de nivel para controlar el volumen de agua en el tanque y evitar que pase agua al tanque de almacenamiento de aceite y grasa. La importancia de esta trampa de aceite y grasa es que tiene la capacidad de separar eficientemente el aceite y la grasa que no pudo separar el equipo anterior y que sirve como complemento para retener el mayor porcentaje de aceite y grasa reutilizable. Debido a que este equipo no opera las 24 horas es posible darle mantenimiento y con esto asegurarse que no se tenga taponamientos de aceite y grasa. La eficiencia de remoción de aceites y grasas de este equipo es del 90 % lo cual es un factor muy importante ya que es un equipo del que se puede recuperar un producto que se puede reutilizar. La concentración de aceite y grasa en la entrada del equipo es de 225 mg/L y la concentración en la salida es de 22.5 mg/L para tener una reducción del 90 %. Estos equipos son muy eficientes por lo que un 90 % de eficiencia es un parámetro que está considerado en rango inferior de operación de estos equipos, pero para fines de cálculo se está usando para tener cierta tolerancia en el funcionamiento del equipo. La recuperación de aceite y grasa con este equipo es de 40.5 Kg/día.

El cuarto equipo de la planta de tratamiento son los reactores aerobios, los cuales son de 220 m^3 cada uno ya que se necesita que cada reactor tenga la capacidad de retener un flujo de 200,000 L, teniendo en cuenta que las dimensiones del equipo tienen un 10 % en exceso como factor de seguridad. Para que los reactores cumplan con su papel de degradar materia orgánica, en nuestro caso aceite y grasa, se recomienda que se tenga un tiempo de residencia de uno a tres días, por lo que se propone que se tenga un tiempo de residencia de dos días. Para el diseño de esta planta de tratamiento se optó por un reactor aerobio, ya que los tiempos de residencia para que se degrade la materia orgánica son menores que el tiempo que necesita un reactor anaerobio. Como parámetro de comparación se tiene que un reactor anaerobio necesita de 4 a 6 días para lograr degradar la misma cantidad de materia orgánica que en un reactor aerobio como el que se propone para esta planta de tratamiento. Para realizar el efecto de aireación se van a utilizar agitadores mecánicos. Los reactores tienen un tiempo de operación de dos días con una secuencia de operación de en la que cada reactor va a llenarse o a descargarse cada vez que el otro reactor lleve un día de operación. La secuencia de operación de los reactores es alterna ya que el primer reactor empieza a trabajar en el tiempo cero, mientras que el segundo reactor empieza a trabajar a las 24 horas de que el primero empezó a trabajar a fin de que para cuando el segundo reactor llegue a 24 horas de operación, se debe descargar el primer reactor. Se determinó que se instalaran dos reactores de la misma capacidad para lograr un proceso semicontinuo ya que si sólo se tenía un reactor se tenía el problema que cada dos días se iba a tratar el agua de un día de producción y que se iba a tener un cuello de botella en el tratamiento, recargando el factor de operación en los primeros tres equipos y se dejaba sin operar el resto de los equipos. Por otra parte se tiene la posibilidad de trabajar con un reactor y no parar por completo el proceso. La importancia de darle un tratamiento biológico a los efluentes con aceite y grasa, es que los microorganismos degradan materia orgánica que no se podría degradar si no se tratará biológicamente, esto con el fin de lograr agua de buena calidad para reutilizarla en otras actividades o recircularla para vuelva a servir como agua para procesos en la planta de producción.

El quinto equipo en la planta de tratamiento es un tanque sedimentador, en el cual también se va a ajustar el pH. El tanque sedimentador es de 220 m^3 ya que se necesita que tenga la capacidad de retener un flujo de 200,000 L, teniendo en cuenta que las dimensiones del equipo tienen un 10 % en exceso como factor de seguridad. El tanque de sedimentación va a funcionar de manera que además que se sedimente el aceite y la grasa presente en los 200,000

L de agua a tratar por batch, mediante la adición de un agente floculante y uno para precipitar se logra ajustar el pH lo más posible a 7 y 8 para tener un volumen de agua lo más cercano a los parámetros de agua que no a sido contaminada ni usada. La secuencia de actividades de operación empieza con el llenado, el cual va a ser de cuatro horas, al tener el tanque lleno se enciende el agitador y se agrega cal para ajustar el pH de agua contenido en el tanque, se recomienda que se agregue de 100 a 200 gramos de cal por cada metro cúbico de agua a neutralizar, manteniendo la agitación para que se homogenice el agua, teniendo en cuenta que esta agitación no debe ser brusca, ya se rompe el efecto de la coagulación floculación. Después de haber agregado cal al tanque sedimentador para ajustar el pH, se agrega aproximadamente 60 kg Sulfato de Aluminio por cada 20 m^3 de agua a tratar y se mantienen la agitación por 30 minutos, de manera que después de este tiempo de agitación presentan aglutinaciones o coágulos, se deja en reposo por 2 horas mientras se da la precipitación para formar los lodos que posteriormente serán sacados mediante una purga al tanque. Los sólidos que no hayan precipitado servirán para llenar los marcos del filtro prensa y servirán como agentes filtrantes para obtener la calidad del agua deseada. Finalmente se bombeará el agua hacia el filtro prensa. Después de haber bombeado el agua del tanque se realizará la purga del tanque y se retiran los lodos para su disposición posterior.

El sexto equipo en la planta de tratamiento es un filtro presa con placas de $800 \times 800 \text{ mm}$ con presión de trabajo de 1000 a 3000 KPa, el cual tiene la función de retener las partículas de sólidos provenientes del tanque sedimentador, para introducir el agua al filtro prensa se va a utilizar una bomba centrífuga. El tiempo de filtrado es variable, teniendo en cuenta que la presión de filtrado es variable entre 689.48 a 1378.96 KPa y es necesario controlar que al subir la presión se debe parar de bombear para limpiar los marcos del filtro prensa o si fuera necesario cambiar el material filtrante. Según datos teóricos se tiene que el filtro prensa pierde entre 2.5 % y 5% del flujo, por lo que se tiene un tanque de almacenamiento de 22 m^3 para almacenar el equivalente al flujo recuperado de 200,000 L o de un día de tratamiento. Cada día se debe recircular el contenido del tanque de almacenamiento del agua recuperada del filtrado. La bomba que se va a utilizar es una bomba centrífuga $1 \frac{1}{2} \times 3-13 \text{ MT A20}$ de 50 HP con eficiencia del 45%, 3560 rpm y un motor con 0.8333 HP de potencia. Es conveniente evaluar la posibilidad de sustituir la bomba por varias bombas más pequeñas en serie, para evitar depender de sólo una bomba para la operación y con esto evaluar la posible reducción de costos y el tener bombas auxiliares en caso que fallara esta bomba.

El séptimo equipo en la planta de tratamiento es un filtro de arena o filtro pulidor el cual es un filtro de arena de sílice. Se eligió un filtro de arena de sílice ya que este es un material que se encuentra con facilidad. El filtro de arena recomendado es del modelo 5FAB 900+5FY-3-M, con una superficie filtrante de 3.18 m^2 y con dimensiones de $2.20 \text{ m} \times 5.30 \text{ m}$ de acero al carbón. Se determinó que es necesario que la planta tenga este filtro de arena ya que mejoran las características físicas del agua por haber sido pulida, además de filtrada.

El octavo equipo en la planta de tratamiento es un deodorizador por carbón activado. El deodorizador sugerido para para la planta de tratamiento es del modelo NHN/1.2/ACF/FRP/100, con diámetro de 1.067 m y altura de 1.83 m . Se eligió el equipo de carbón activado, ya que es una tecnología de tratamiento para la remoción de contaminantes de aguas residuales, que para fines de la planta de tratamiento se utilizará carbón granulado. Esta etapa sirve para terminar de pulir el agua en donde por adsorción retiene compuestos orgánicos, olores y sabores que pueda llevar el agua debido a que mediante la adsorción se da una serie de interacciones físicas, químicas y electroestáticas entre el carbón activado y el material adsorbido. El carbón activado para este proceso se puede obtener de muchas fuentes de carbono, incluyendo el carbón, coque, turba, madera y cáscaras de coco. Al agotarse el carbón se debe remover o regenerar, para lo cual se puede usar calor o vapor para revertir el proceso de adsorción que se llevó a cabo. La eficiencia de remoción del carbón activado va de 30% a 90% y este equipo permite reducir la demanda química de oxígeno (DQO) a menos de 10 mg/L y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) a menos de 2 mg/L teniendo con estos parámetros agua que cumpla por mucho más de los límites permitidos.

Se tiene por teoría que, los reactore aeróbios, el sedimentador y el filtro prensa, tienen más de 90% de efectividad retirando aceite y grasa y el filtro de arena y el desodorizador tienen como mínimo de eficiencia un 10% con respecto a la remoción de aceite y grasa, pero de un 30% a un 90% de eficiencia de pulido del agua por lo que se el flujo de la entrada a los reactores llega con 22.5 mg/L de aceite y grasa, y al salir del deodorizador sale con 2.025 mg/L de aceite y grasa o menos por lo que la planta de tratamiento cumple ampliamente con la expectativa de cumplir con los requisitos establecidos de aceite y grasa en el agua para el año 2,024 por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), teniendo con esto la certeza que la planta no contamina el medio ambiente con sus efluentes.

El noveno equipo de la planta de tratamiento de agua es un tanque suavizador de agua por medio de resinas para uso calderas o equipos de transferencia de calor. Este equipo funciona acorde a las necesidades de la planta ya que este equipo vendría a ser periférico ya que para reutilizar el agua habría que trabajar con un bypass ya que normalmente el agua pasaría del desodorizador a los tanques de almacenamiento de agua, pero si se requiere agua para las calderas o para equipos de transferencia de calor se debe pasar el flujo de agua por el suavizador dando la opción de mantener uno de los tanques de almacenamiento de agua para varios usos en la planta y el otro como agua para la caldera o para equipos de transferencia de calor.

El volumen del tanque suavizador es de 16.58 m^3 y el volumen de resina a utilizar es de 11.04 m^3 . Al disminuir la capacidad de suavizado del agua de las resinas se pueden regenerar o cambiar.

En la planta de tratamiento de efluentes con alto grado de aceite y grasa se utilizará tubería, válvulas y accesorios de 4 pulgadas debido a que es la tubería seleccionada para manejar el flujo que se va a tratar diariamente. La tubería seleccionada para el rebalse del tanque de acondicionamiento y del separador por gravedad es de 12 pulgadas ya que se necesita que se tenga un diseño similar a un embudo. Se seleccionó tubería, válvula y accesorios de 2 pulgadas para la descarga de agua del tanque de acondicionamiento para nivelar y rebalsar el nivel de la trampa de grasa.

Para almacenar el aceite y la grasa recuperada, se tiene un tanque de almacenamiento de aceite y grasa recuperada de 5.5 m^3 con una capacidad de retener 5500 L de aceite y grasa, teniendo en cuenta que las dimensiones del equipo tienen un 10 % en exceso como factor de seguridad. El flujo de entrada de aceite y grasa por día es de 295.5 Kg por día, por lo que se dimensionó un tanque de almacenamiento para el flujo recuperado de 15 días de producción, que equivale a 4900 L de aceite y grasa.

Para almacenar el agua tratada del proceso se tienen dos tanques de almacenamiento de agua recuperada, cada uno de 220 m^3 o su equivalente de 220,000 L, con un flujo de entrada, ya sea del suavizador o del desodorizador, esto con el fin de reutilizar el agua para diferentes procesos o incluso para su venta ya que es un líquido vital que en muchas poblaciones o

colonias les hace falta y que puede ser de utilidad ya sea para riego, construcciones, lavado de procesos, lavado en general o para uso no alimenticio en las colonias. También se tiene la opción de almacenar agua para caldera o para equipos de intercambio de calor. La última opción es descargar el agua al río más próximo y obtener el máximo aprovechamiento de esta como sucede en países industrializados al reutilizarla, pero se tiene la garantía que el agua que se está regresando río es agua que cumple con los parámetros ambientales y que no va a afectar al ecosistema.

La planta de tratamiento de efluentes con alto grado de aceite y grasa tiene un costo estimado de Q. 2,241,675.46 que incluye equipos (tanques, reactores, filtro prensa, filtro pulidos, deodorizador, suavizador), instalación de equipos, tubería, accesorios, válvulas, instrumentos (sensores de nivel), preparación del terreno, auxiliares (bomba, compresor, motores, propelas), costos de ingeniería e imprevistos (varios). Esta estimación se determinó en base a los factores sugeridos de estimación de costos del capítulo nueve del Manual de Ingeniero Químico (Perry, 1997).

X. CONCLUSIONES

1. La planta de tratamiento de efluentes propuesta tiene una eficiencia del 99.87 %.
2. La planta de tratamiento de efluentes con alto contenido de aceites y grasas cumple con el requisito de un máximo de 10 mg/L, para el año 2,024, de aceite y grasa en el agua emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.
3. La planta tiene capacidad para tratar 200,000 L de agua por día.
4. La planta de tratamiento recupera 295.5 Kg de aceite y grasa por día.
5. El efluente tratado sale con una concentración máxima de 2.025 mg / L.
6. Las empresas interesadas en la compra del aceite y la grasa son empresas dedicadas a la producción de Biodiesel, Jabón y comida de animales.
7. El agua tratada puede ser vendida como mínimo a 200.00 quetzales la cisterna de 18,927 L ó 5,000 galones, con lo que se generaría como mínimo 63,400 quetzales mensuales de la venta de agua tratada, si se vendieran los 200,000 L que se tratan por día.
8. La planta de tratamiento de efluentes con alto grado de aceite y grasa tiene un costo estimado de Q. 2,241,675.46.

XI. RECOMENDACIONES

- A. Evaluar la posibilidad de montar una planta piloto para pruebas preliminares.
- B. Diseñar o utilizar programas de simulación para obtener un análisis más detallado de la operación y desempeño de la planta de tratamiento.
- C. Evaluar la calidad del agua en la salida del tratamiento.
- D. Evaluar si la calidad del agua puede ser utilizada para consumo o para preparar alimentos.
- E. Automatizar la planta de tratamiento.
- F. Utilizar un tercer reactor si fuera necesario aumentar el flujo o se tuvieran problemas por *suciedad de los dos existentes*.
- G. Evaluar la posibilidad de utilizar membranas de ultrafiltración en lugar del filtro prensa y *el filtro de arena*.
- H. Evaluar si es conveniente realizar una pre-separación de aceite y grasa en el tanque de *acondicionamiento*.
- I. Evaluar el ahorro de producción con la recirculación del agua y el aprovechamiento de esta *en la caldera y los equipos de transferencia de calor*.
- J. Evaluar otras posibilidades para la reutilización del aceite y la grasa recuperada, como del *agua tratada*.
- K. Evaluar sustituir la bomba de 50 HP por varias bombas más pequeñas en serie, para evitar *depender de sólo una bomba para la operación y con esto evaluar la posible reducción de costos y el tener bombas auxiliares en caso que fallara esta bomba*.

XII. BIBLIOGRAFÍA

1. Activated Sludge 1987. *Water Pollution Control Federation; Water Environment Federation (WPCF-WEF)*. Virginia. WPCF-WEF.MOP OM-9
2. Adams, V. 1991. *Water & Wastewater Examination Manual*. 2da. Edición, Editorial Lewis, USA.
3. Biocombustibles. <http://www.econosur.com/notas/Biodiesel2.htm>
4. Compresores de aire: <http://www.relacind.com.ar/airproductsapiston.htm#30bar>
5. Czysz, W; Schneider W. 1991. *Manual de Disposición de Aguas Residuales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) / Organización Panamericana de la Salud (OPS) / Organización Mundial de la Salud., Tomo I y Tomo II, Lima, Perú
6. Calidad y tratamiento del agua. *Manual de suministros de agua comunitaria*. 2002. American Water Works Association (AWWA). 5ª. Ed. Madrid, McGraw-Hill.1231 páginas.
7. Cifuentes, A. 2001. <<Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, para un beneficio húmedo de café>>. Trabajo de Graduación Universidad del Valle de Guatemala. 73 páginas.
8. Deodorizadores: <http://nhnwater.com/water-treatment.asp>
9. Eckenfelder Jr., W., J. Patoczka & A. Watkin. 1985. <<Wastewater treatment>>. a. Chemical Engineering. 2 (64): 60 – 74
10. Fair G; Geyer J; et al. 1968. *Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal*., 2da. Edición, Editorial Wiley. USA. Volumen 2
11. Fair G; Geyer J; et al.1971. *Elements of water supply and waste water disposal*. 2da. Edición. Editorial Wiley. USA.
12. Filtros de arena: http://stf-filtros.com/index.php?pag=riego_arenacabezales
13. Filtros prensa: <http://www.diemme-spa.com/filtration/>
14. Green M; 1978; *Eating Oil, Energy Use in Food Production*, Editorial Westview Press. USA.
15. Goulds Puma Manual GPM5. 1988. Fifth Edition. Internacional Edition. Goulds Pumps, Inc.
16. http://www.iespana.es/natureduca/energy_biocombust.htm

17. Luarca, J. 2004. <<Manual de Operación para una planta de tratamiento de aguas residuales en una fábrica de productos químicos auxiliares para industria textil>>. Trabajo de Graduación Universidad del Valle de Guatemala. 97 páginas.
18. Manual: tratamiento y disposición de aguas residuales para pequeñas comunidades. 1992. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Washington. EPA-625-R92-005
19. Metcalf & Eddy, 2003, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4ta. Edición, Editorial TaTa McGraw-Hill, India.
20. Muñiz, R. 2003. <<Obtención de Biodiesel a partir del aceite de higuerillo (*Ricinus Communis L.*) a nivel de planta piloto>>. Trabajo de Graduación Universidad del Valle de Guatemala. 105 páginas.
21. Nicaragua: Biodiesel-production from *Jatropha curacas* as feedstock. <http://www.Biodiesel.at/references.html>
22. Oil fox. EL BIODIESEL. <http://www.oilfox.com.ar/b11.htm>
23. Perry, R. H. *et al.*, 1997. *Chemical Engineers' Handbook*. Mc Graw Hill. Seventh Edition. 30 Chapters.
24. Preliminary treatment for wastewater facilities. 1980. Water Pollution Control Federation; Water Environment Federation (WPCF-WEF). Virginia. WPCF-WEF.MOP OM-2
25. Solucion partners, Consultoría Integral. Biodiesel: Aire de Campo. <http://www.Biodiesel.com.ar/home.htm>
26. Suavizadores de agua: <http://www.ciberteca.net/productos.htm>
27. Utilización de Biodiesel. <http://www.iel-ideies.com.br/artigo-utilibi.htm>
28. Weiss T; 1983; *Food oils and their uses*. Segunda Edición, Editorial AVI, USA.
29. White J. McGrew W; 1976. *Clean Fuels from Biomass, Sewage, Urban Refuse and Agricultural Wastes*. Sponsored by Institute of Gas Technology. Orlando, Florida, USA.
30. Wong, P.W. *et. al.* 2002. *Pre-treatment and membrane ultrafiltration using palm oil mill effluent (POME)* Songklanakarin *J.Sci.Technol*, 24 (Suppl): 891 – 898.

XIII. APÉNDICE

Volumen de fluido por batch en el separador por gravedad:

$$\text{Volumen del tanque} = \frac{\pi * d^2 * h}{4}$$

$$\text{Volumen de tubería} = \frac{\pi * d^2 * h}{4}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen total de fluido por batch} &= \frac{\pi * d_{\text{tanque}}^2 * h_{\text{tanque}}}{4} - \frac{\pi * d_{\text{tubería}}^2 * h_{\text{tubería}}}{4} \\ &= \frac{\pi * (3.05)^2 * (2.4)}{4} - \frac{\pi * (0.305)^2 * (2.4)}{4} \\ &= \frac{\pi * (2.4)}{4} [(3.05)^2 - (0.305)^2] \\ &= 17.19 \text{ m}^3 = 17,190 \text{ L} \end{aligned}$$

Tiempo de descarga de separador por gravedad:

$$t = \frac{D^2}{d^2} \sqrt{H}$$

donde :

t = tiempo en minutos

D = Diámetro del tanque (pies)

d = Diámetro de tubería de descarga (pulgadas)

H = altura de nivel del fluido

Tiempo de descarga :

$$t = \frac{10^2}{4^2} \sqrt{6.8} = 16.3 \text{ minutos}$$

Cálculo de la cabeza de la bomba:

$$15 \text{ atm} \times \left(\frac{14.7 \text{ psig}}{1 \text{ atm}} \right) = 220.5 \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2}$$

$$220.5 \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \times \left(\frac{(12)^2 \text{ in}^2}{1 \text{ ft}^2} \right) = 31,752 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2}$$

$$31,752 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2} \times \left(\frac{1 \text{ ft}^3}{62.4 \text{ lb}_m} \right) = 508.85 \frac{\text{lb}_f \cdot \text{ft}}{\text{lb}_m}$$

Cabeza necesaria de la bomba = 508.85 ft

Requerimiento de aire para trapa de aceite y grasa por aire disuelto:

Requerimiento : De 0.3 a 0.6 m³ de aire por m³ de agua a tratar

0.5 m³ de aire x 24 m³ de agua a tratar = 12 m³ de aire

$$120 \text{ m}^3 \times \left(\frac{(3.28)^3 \text{ ft}^3}{1^3 \text{ m}^3} \right) = 4,234,51 \text{ ft}^3 / \text{min de aire}$$

Gráfica No. 2: Comparación de la eficiencia de utilizar los métodos de filtración y ultrafiltración en el tratamiento.

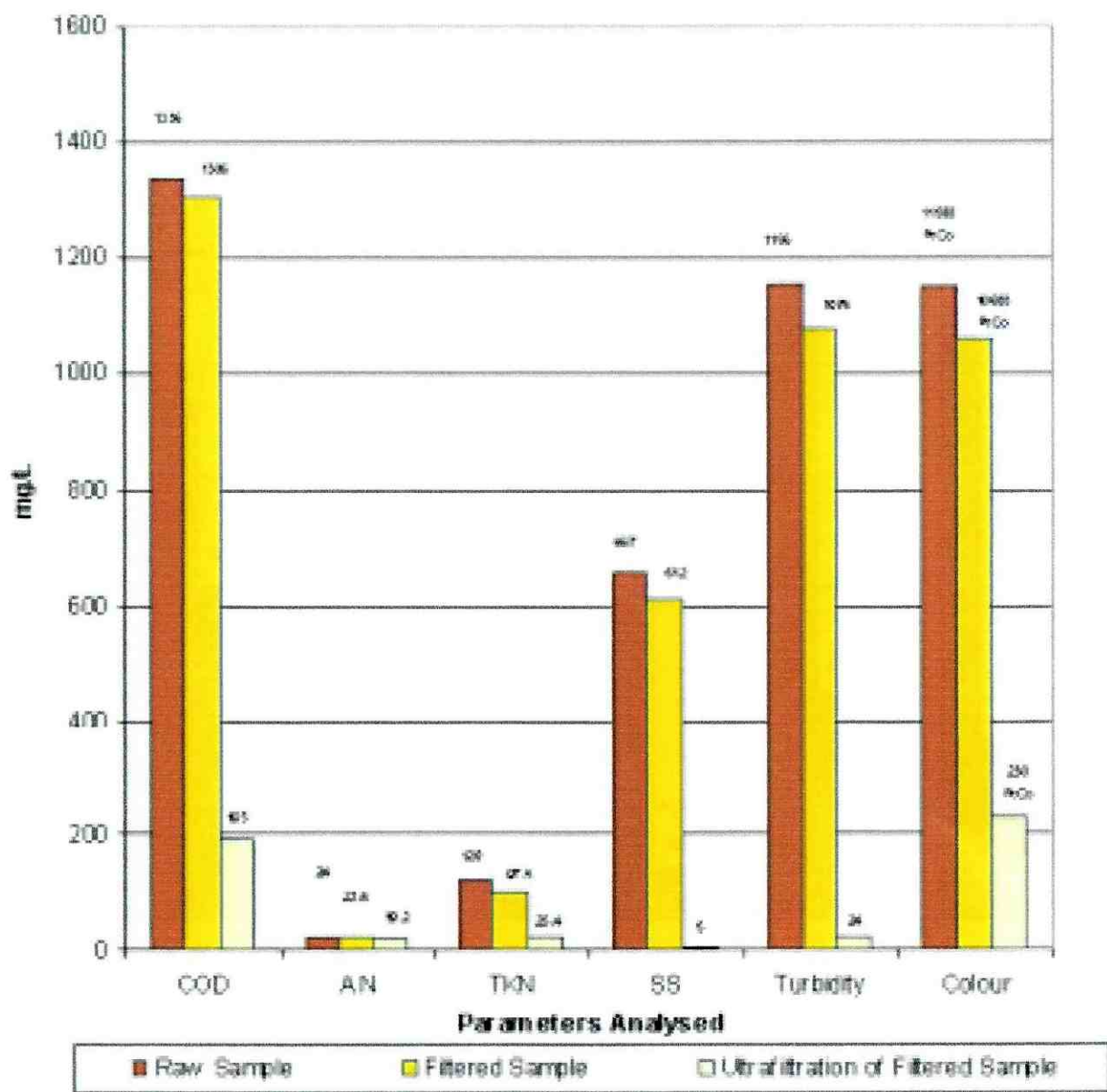


Figure 1. Characteristics of raw, filtered and ultrafiltered filtered sample

(Wong, 2002)

Gráfica No. 3: Comparación de la eficiencia de utilizar los métodos de centrifugación y ultrafiltración en el tratamiento.

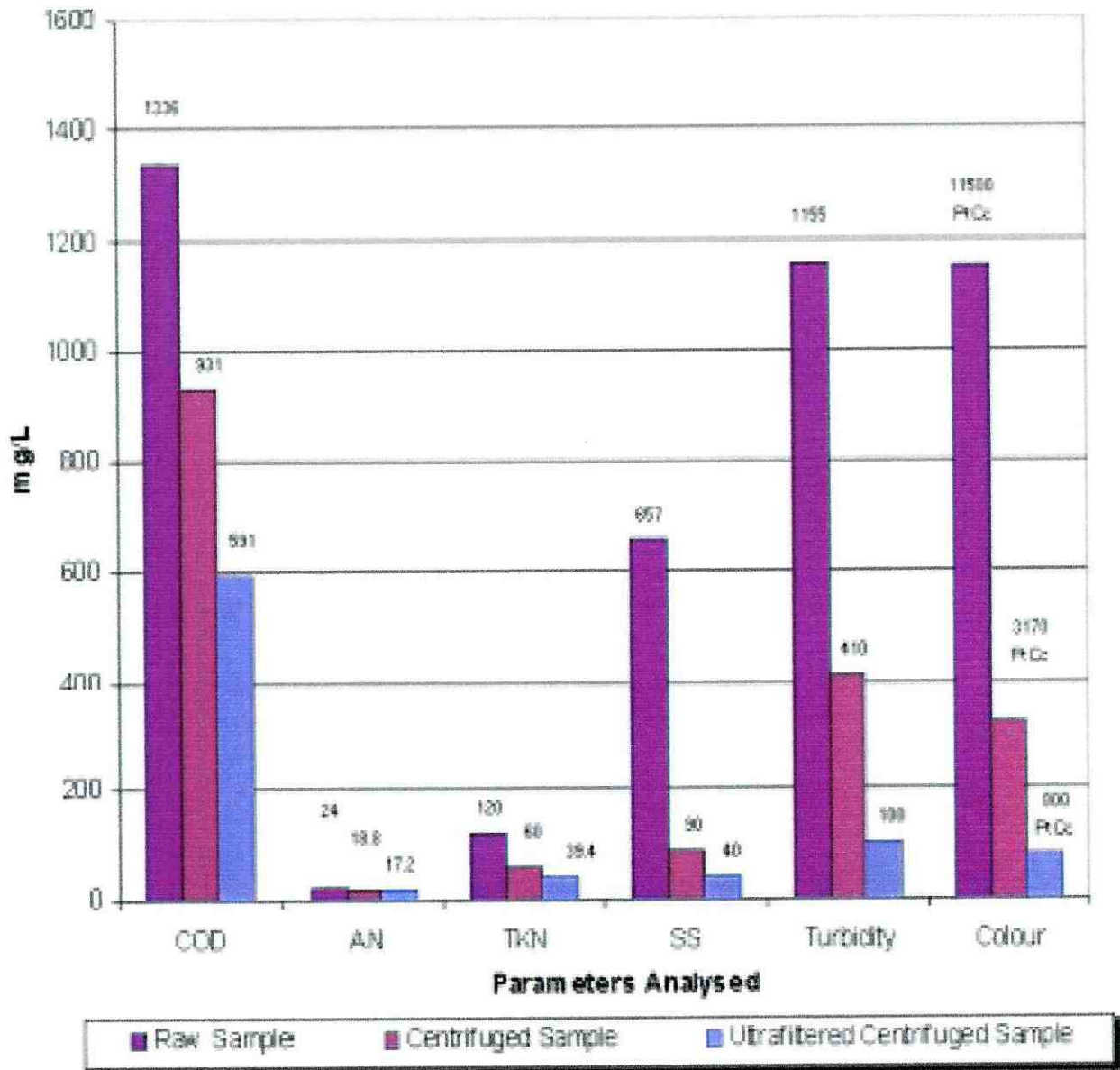


Figure 2. Characteristics of raw, centrifuged and ultrafiltered centrifuged sample

(Wong, 2002)

Gráfica No. 4: Comparación de la eficiencia de utilizar los métodos de coagulación y ultrafiltración en el tratamiento.

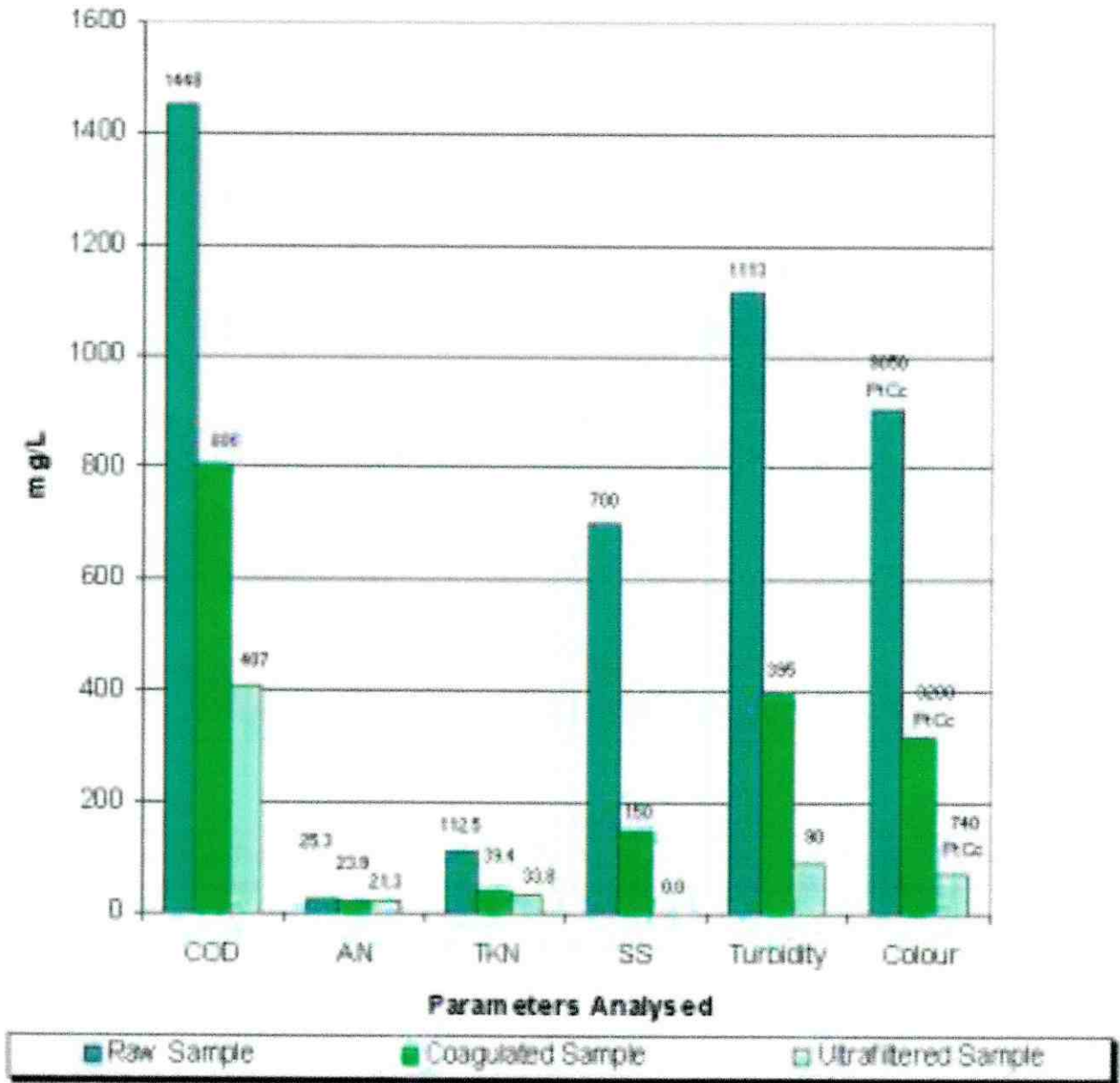


Figure 3. Characteristics of raw, coagulated and ultrafiltered coagulated sample

(Wong, 2002)

Gráfica No. 5: Comparación de la eficiencia de utilizar diferentes métodos de pretratamiento y ultrafiltración en el tratamiento.

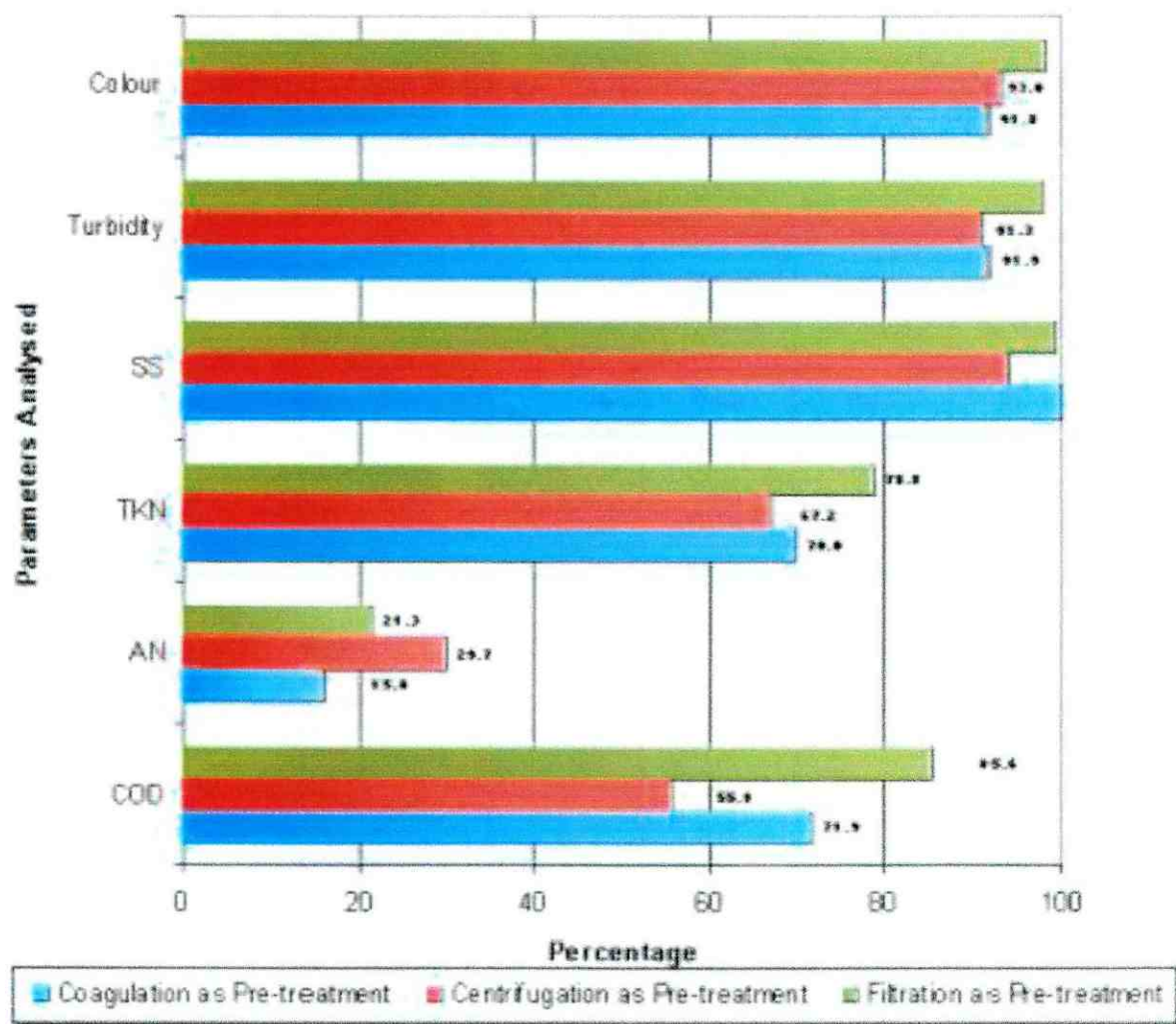


Figure 4. Overall treatment efficiency of ultrafiltration with different pre-treatments

(Wong, 2002)

Tabla No. 1: Parámetros para la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores según el REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS.

Artículo 20. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES. Los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores son:

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/Presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes focales	Numero mas probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^3$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^5$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Niquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

(MARN, 5 de Mayo del 2006)

Tabla No. 2: Detalle de Filtros Prensa.

Modelo	Tamaño de placas mm	Presión de trabajo bar		N. de placas instaladas		Volumen de torta [l]		Superficie filtrante [m ²]		Longitud [mm]		Peso en vacío [Kg]	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
KE 500	500 x 500	12	30	15	60	60	250	6	22	1560	3770	850	1422
KE 630	630 x 630	12	30	32	84	200	540	18	46	3800	6200	1500	2200
KE 800	800 x 800	17	30	78	75	460	882	28	71	4515	6965	2890	4140

(Dieme Filtration, 2006)

Tabla No. 3: Detalle de suavizadores.

Tanque	Pies2 Area	Pies3 Tanque	Pies3 Resina	Capacidad						Flujo de Servicio				Retrolavado	
				Económica		Normal		Máxima		Normal		Pico			
				Cap. (gr.)	Cap. (Gramos)	Cap. (gr.)	Cap. (Gramos)	Cap. (gr.)	Cap. (Gramos)	gr/s	l/s	gr/s	l/s	gr/s	l/s
8' x 4'	0.35	1.18	0.75	989	15000	1288	19300	1385	21000	2.25	8.52	3.75	14.19	1.92	7.27
9' x 4'	0.44	1.58	1.00	1319	20000	1715	26000	1979	30000	3.00	11.38	5.00	18.93	2.43	9.20
10' x 5'	0.54	2.19	1.50	1979	30000	2573	39000	2968	45000	4.50	17.03	7.50	28.29	2.97	11.24
12' x 5'	0.78	3.00	2.00	2839	40000	3430	52000	3958	60000	6.00	22.71	10.00	37.85	4.29	16.24
13' x 5'	0.92	3.68	2.50	3298	50000	4288	65000	4947	75000	7.50	28.39	12.50	47.31	5.08	19.15
14' x 6'	1.07	5.10	3.00	3958	60000	5145	78000	5937	90000	15.20	57.91	15.00	58.78	5.88	22.25
16' x 6'	1.39	6.60	4.00	5937	90000	7718	117000	8905	135000	19.80	74.94	20.00	75.70	7.65	28.94
18' x 6'	1.77	8.20	5.00	7258	110000	9432	142000	10884	165000	24.90	94.25	25.00	94.83	9.72	36.79
21' x 6'	2.41	11.00	7.00	9235	140000	12005	182000	13852	210000	33.00	124.91	35.00	132.48	13.23	50.07
24' x 6'	3.14	13.40	10.00	13193	200000	17150	260000	19789	300000	40.20	152.18	50.00	189.25	17.28	65.40
30' x 7'	4.91	25.00	15.00	19789	300000	25728	390000	29683	450000	75.00	283.88	75.00	283.88	27.00	102.18
36' x 7'	7.07	35.20	20.00	28385	400000	34301	520000	39578	600000	105.90	400.83	100.00	378.50	38.89	147.18
42' x 7'	9.82	46.10	30.00	39578	600000	51451	780000	59387	900000	90.00	340.65	150.00	587.75	52.91	200.28
48' x 7'	12.57	61.90	40.00	52770	800000	68802	1040000	79158	1200000	120.00	454.20	200.00	757.00	69.14	261.68
60' x 8'	21.85	80.20	55.00	72589	1100000	94327	1420000	108809	1650000	165.00	624.53	275.00	1040.88	119.08	450.84
66' x 8'	23.78	118.80	80.00	105520	1600000	137200	2080000	158311	2400000	240.00	908.80	240.00	908.40	285.12	1079.18
72' x 8'	28.27	141.35	95.00	125305	1900000	162925	2470000	187995	2850000	285.00	1079.20	285.00	1078.73	339.24	1284.02
78' x 8'	33.18	185.90	110.00	149390	2200000	188850	2880000	217878	3300000	330.00	1249.60	330.00	1249.05	398.18	1507.04
84' x 8'	38.48	192.40	130.00	171470	2600000	222950	3380000	257258	3900000	390.00	1478.80	390.00	1478.15	461.78	1747.78
90' x 8'	44.18	220.90	150.00	197850	3000000	257250	3900000	296834	4500000	450.00	1704.00	450.00	1703.25	530.18	2008.88
96' x 8'	50.27	251.35	170.00	224230	3400000	291550	4420000	338412	5100000	510.00	1931.20	510.00	1930.35	603.24	2280.28
102' x 8'	56.75	283.75	190.00	250810	3800000	323850	4940000	373989	5700000	570.00	2158.40	570.00	2157.45	681.00	2577.59
108' x 8'	63.82	318.10	215.00	283585	4300000	368725	5590000	425462	6450000	645.00	2442.40	645.00	2441.30	763.44	2889.82
114' x 8'	70.88	354.40	240.00	316580	4900000	411800	6240000	474934	7200000	720.00	2728.40	720.00	2725.20	850.58	3219.37
120' x 8'	78.54	392.70	280.00	342940	5200000	443900	6780000	514512	7800000	780.00	2953.80	780.00	2952.30	942.48	3587.29
126' x 8'	86.59	432.95	300.00	395700	6000000	514500	7800000	593888	9000000	900.00	3408.00	900.00	3408.50	1039.08	3932.92
132' x 8'	95.03	475.15	315.00	415485	6300000	540225	8190000	623351	9450000	945.00	3578.40	945.00	3578.83	1140.38	4218.28
138' x 8'	103.87	519.35	350.00	481850	7000000	600250	9100000	692812	10500000	1050.00	3978.00	1050.00	3974.25	1246.44	4717.78
144' x 8'	113.10	585.50	380.00	501220	7600000	651700	9880000	751979	11400000	1140.00	4318.80	1140.00	4314.90	1357.20	5137.00

(nhnwater, 2000)

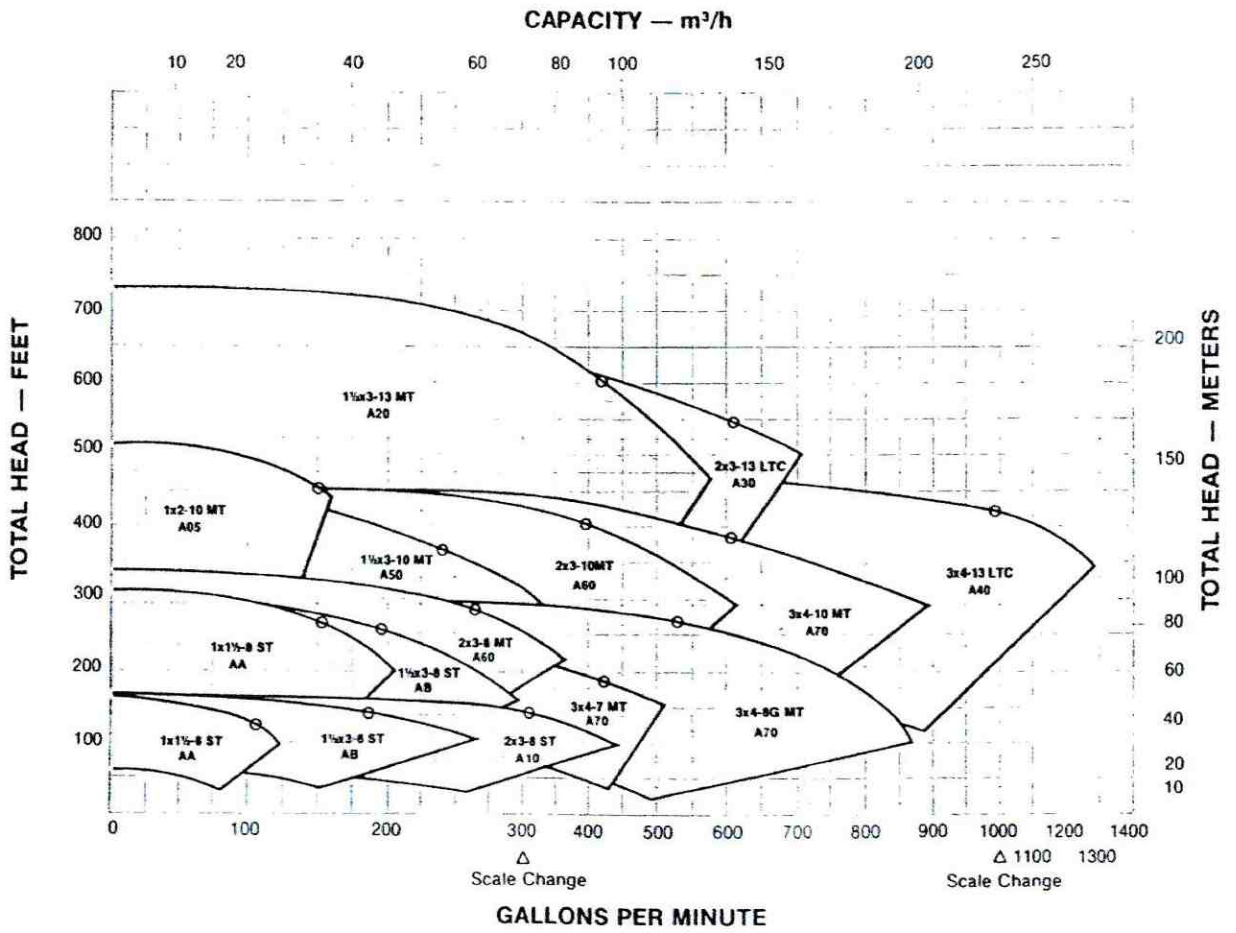
Tabla No. 4: Factores usados para estimación de costos.

TABLE 9-53 Estimate Using Factors from Table 9-51

Details (solids-fluid, grass-roots plant)	Factor assumed	Cost, \$	Percentage of total
Equipment, delivered	1.00	1,000,000	23.4
Installed	0.41	410,000	9.6
Piping	0.34	340,000	8.0
Electrical	0.13	130,000	3.0
Instruments	0.13	130,000	3.0
Battery-limit building and service	0.30	300,000	7.0
Excavation and site preparation	0.15	150,000	3.5
Auxiliaries	0.52	520,000	12.2
Total physical plant	2.98	2,980,000	69.7
Field expense	0.39	390,000	9.1
Engineering	0.39	390,000	9.1
Direct plant costs	3.76	3,760,000	87.9
Contractor's fees, overhead, profit	0.13	130,000	3.0
Contingency	0.39	390,000	9.1
Total fixed-capital investment	4.28	4,280,000	100.0

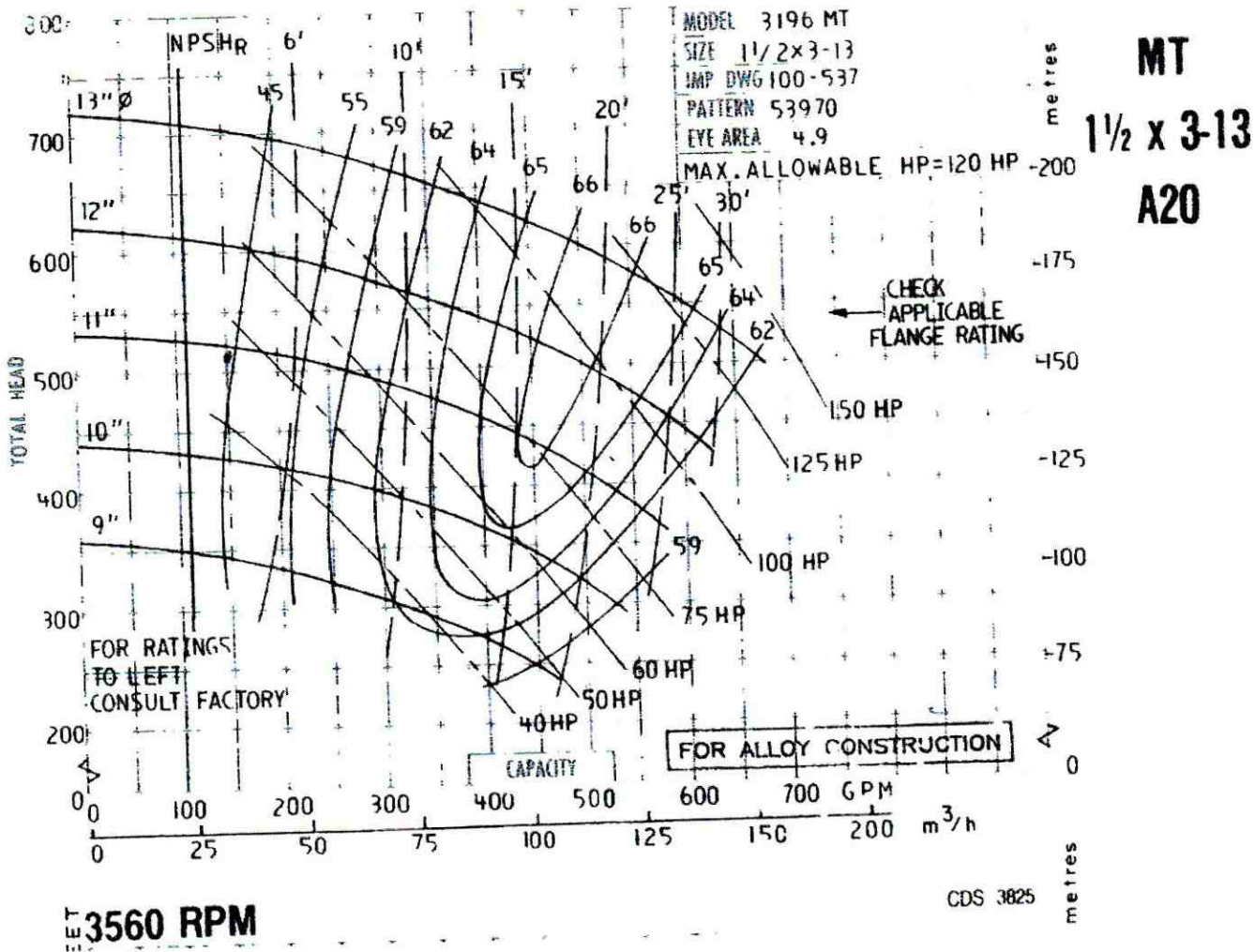
(Perry, 1997)

Gráfica No. 6: Gráfica de Cabeza de presión versus Flujo volumétrico para seleccionar bombas.



(Goulds, Pump Manual, 1988)

Gráfica No. 7: Gráfica de Cabeza de presión versus Flujo volumétrico para determinar los HP de la bomba, rpm, eficiencia y potencia del motor.



(Goulds, Pump Manual, 1988).

Tabla No. 5: Modelos de compresores.

Modelos de Compresores				
MODELO	VELOCIDAD (R.P.M.)	CAUDAL 30 BAR (MT3/MIN)	POTENCIA 30 BAR (KW)	PESO (KG)
L15	950 1150 1450	10,0 12,0 15,0	2,5 3,0 3,8	120
L20	950 1150 1450	14,0 17,0 21,0	2,7 3,4 4,5	120
L35	950 1150 1450	30,5 37,5 48,5	3,8 4,8 6,3	125
L50	950 1150 1450	30,5 37,5 48,5	6,2 7,6 9,8	215
L80	950 1150 1450	47,0 57,0 73,0	9,0 11,5 15,0	150

(Relacind, 2000)