

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UNA  
PLANTA TEXTIL EN GUATEMALA**

Cynthia Molina de Schloesser

Guatemala,

2007



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UNA  
PLANTA TEXTIL EN GUATEMALA**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UNA  
PLANTA TEXTIL EN GUATEMALA**

Trabajo de investigación presentado por Cynthia Molina de Schloesser para optar  
al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2007



Asesor:



---

Ing. Cristián Rossi Sosa

Terna Examinadora:



---

Ing. Gamaliel Zambrano Ruano



---

Ing. Cristián Rossi Sosa

V. Po.



---

Inga. Carmen Ortiz Pineda

Guatemala, 8 de octubre de 2007

# ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS Y GRÁFICAS	x
RESUMEN	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
A. La industria textil y sus efluentes	3
B. La industria textil en Guatemala	5
C. El proceso productivo de la planta en estudio	6
D. Sustancias presentes en los efluentes textiles	11
E. Parámetros de interés en aguas residuales textiles	12
F. Regulación sobre aguas residuales en Guatemala	25
G. Técnicas para la producción más limpia	27
H. Caracterización de efluentes	29
I. Tratamiento de efluentes	32
J. Reutilización de efluentes tratados	45
K. Evaluación económica del proyecto	46
III. JUSTIFICACIÓN	48
IV. OBJETIVOS	50
V. PROBLEMA A RESOLVER	51

VI.	METODOLOGÍA	52
VII:	RESULTADOS	54
	A. Parámetros y valores de salida seleccionados	54
	B. Caracterización	54
	1. Información general	54
	2. Características físicas del sistema de drenajes	55
	3. Corrientes individuales de efluentes	60
	4. Terreno disponible	61
	5. Potencial para reutilización de efluentes	62
	C. Tratamiento de efluentes	62
	1. Diagrama de flujo	62
	2. Descripción del sistema	63
	a. Tamizado	63
	b. Ecuación	63
	c. Neutralización	67
	d. Filtración biológica activada	67
	3. Lista de equipos	69
	4. Especificaciones para la obra civil	73
	D. Evaluación económica	74
	1. Inversión de capital	74
	2. Costo de operación	76

VIII. DISCUSIÓN	77
A. Parámetros y valores de salida	77
B. Caracterización	80
1. Drenajes	80
2. Efluentes	81
3. Terreno disponible	84
4. Oportunidades de reutilización	85
C. Diseño del tratamiento	86
1. Tamizado	87
2. Ecuación	88
3. Neutralización	91
4. Filtración biológica aireada (BAF)	93
5. Filosofía de diseño	99
6. Indicaciones para la obra civil	99
D. Evaluación económica	100
1. Inversión inicial	100
2. Costo de operación	101
IX. CONCLUSIONES	104
X. RECOMENDACIONES	107
XI. BIBLIOGRAFÍA	109
XII. ANEXOS	113

A. Legislación sobre aguas residuales en Guatemala	113
B. Análisis de laboratorio y cálculos estadísticos	121
C. Medición, análisis y cálculos de caudales	124
D. Cálculos de diseño	127
E. Hojas técnicas y folletos comerciales de equipos principales	145
F. Cálculos de la evaluación económica	158
G. Glosario	160

## LISTA DE FIGURAS

II-1	Diagrama del proceso productivo	8
II-2.	Curva carbonácea más curva de nitrificación	17
II-3.	Componentes de una caracterización de aguas residuales	29
VII-1	Efluentes de procesos, sanitarios actuales	56
VII-2	Segregación y unión de efluentes para muestreo	58
VII-3	Efluentes y ubicación de terreno disponible para la construcción	59
VII-4	Diagrama de flujo del tratamiento de efluentes	64
VII-5	Plano del tratamiento con vistas de planta y sección	65

## LISTA DE TABLAS Y GRÁFICAS

II-1	Parámetros de la calidad del agua que son alterados en el proceso	12
II-2	Parámetros y límites de empresa extranjera	26
II-3	Parámetros y límites propuestos por el Banco Mundial	27
VII-1	Parámetros seleccionados y valores de salida del tratamiento	54
VII-2	Valores de entrada al tratamiento de efluentes	61
VII-3	Caudales	61
VII-4	Datos de la ecualización	66
VII-5	Datos de la biofiltración activada	68
VII-6	Parámetros afectados en cada etapa del tratamiento	69
VII-7	Listado de equipos, ubicación, unidades y descripción	70
VII-8	Costo de obra civil y trabajos locales	74
VII-9	Costo de equipo electromecánico	75
VII-10	Costo mensual de operación	76
VIII-1	Comparación de valores para cada parámetro seleccionado	79
VIII-1	Recomendaciones para la recolección de muestras	82
XII-1	Resultados de laboratorio	122
XII-2	Valores promedio y análisis estadístico	122
XII-3	Parámetros que respetan el Acuerdo hasta mayo de 2011	123

XII-4. Medición de caudal del 20 de junio al 20 de noviembre de 2006	124
XII-5. Análisis estadístico de las mediciones de caudal	126
XII-6. Frecuencia de resultados	126
XII-7. Caudales para diseño	126
XII-8. Costo de la obra civil	158
XII-9. Consumo eléctrico	159

## RESUMEN

Este trabajo se concentró en el estudio de los efluentes en una planta textil de tejido de punto, teñido y acabados en Guatemala, para el diseño de un sistema de tratamiento. Se seleccionaron parámetros y límites, se caracterizaron los efluentes y se propuso un tratamiento. La planta produce 1,088 m<sup>3</sup>/d de efluentes con una DBO<sub>5</sub> de 250 mg/L, TSS de 110 mg/L, DQO<sub>5</sub> de 1,000 mg/L, pH de 10, con 4,312 unidades Pt-Co de color y una temperatura de 44°C. Mediante el tratamiento propuesto se podría obtener un efluente con un caudal prácticamente igual, con una DBO<sub>5</sub> de 30 mg/L, TSS de 30 mg/L, DQO<sub>5</sub> de 120 mg/L, pH entre 6 y 9, con 1,500 unidades Pt-Co a temperatura ambiente.

El tratamiento incluye tamizado, ecualización, neutralización y biofiltración activada. Se propuso la reutilización de las aguas tratadas en lavados y riegos, así como la evaluación de reutilización en el proceso para teñidos de color negro.

El proyecto tiene un costo de inversión total de Q 3, 109,407.98 y un costo de operación mensual de Q 26,801.22.

# I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, la industria textil es una de las industrias no tradicionales más importantes, siendo una gran generadora de divisas y empleo. Debido a la situación geográfica de este país y la reciente firma del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos, se espera que la industria textil siga cimentándose y creciendo en toda la región centroamericana.

La industria textil es una de las mayores generadoras de efluentes industriales. Estos se producen en sus procesos húmedos, que son básicamente de lavado, teñido y acabados. Estos efluentes son normalmente alcalinos, altos en contenido de sólidos suspendidos, materia orgánica e inorgánica, y resultan muy evidentes debido a que por lo general tienen color. Se hace necesario controlar la composición de estos efluentes y tratarlos de forma apropiada para ser reutilizados o descartados adecuadamente.

Este trabajo se concentró en el estudio de dichos efluentes en una planta textil en Guatemala, en donde los procesos que se realizan tienen por objeto la manufactura de tejido de punto, teñido y acabados. Se determinó cuáles parámetros y límites permitidos debían tomarse de referencia para el proyecto. Se hizo una caracterización de los efluentes de la planta y se utilizó la información obtenida para diseñar un tratamiento apropiado.

Esta planta produce 1,088 m<sup>3</sup>/d de efluentes con una DBO<sub>5</sub> de 250 mg/L, TSS de 110 mg/L, DQO de 1,000 mg/L, pH de 10, con 4,312 unidades Pt-Co de color y una temperatura de 44°C. Mediante el tratamiento propuesto se puede obtener un efluente de un caudal prácticamente igual, con una DBO<sub>5</sub> de 30 mg/L, TSS de 30 mg/L, DQO de 120 mg/L, pH entre 6 y 9, con 1,500 unidades Pt-Co a temperatura ambiente.

Se propuso un tratamiento que incluye un tamizado fino y ecualización como tratamientos primarios, seguidos de una biofiltración activada como tratamiento secundario, tomando en cuenta el espacio disponible. Se optó por no incluir un tratamiento terciario por no ser necesario para alcanzar los objetivos. Se propuso la reutilización de las aguas tratadas en la tintorería, para procesos de lavado y mantenimiento dentro de la planta y riego de jardines, así como la evaluación de reutilización en el proceso para teñidos de color negro.

El proyecto tiene un costo de inversión total de Q 3, 109,407.98 y un costo de operación mensual de Q 26,801.22. La recuperación de este capital es un elemento de la recuperación de la operación textil en su totalidad.

## II. ANTECEDENTES

### A. La industria textil y sus efluentes

En esta industria se utilizan fibras naturales, como el algodón y la lana, y una variedad de fibras sintéticas, así como otras materias primas auxiliares. Las etapas de producción normales en una planta de este tipo son: procesamiento de fibras, hilatura, tejeduría, blanqueo, teñido, estampado y una variedad de acabados.

Dentro de las industrias, la textil, es una de las grandes generadoras de efluentes de proceso. En una planta de este tipo, los procesos y los insumos pueden mantenerse invariables en corridas largas o cambiar con mucha frecuencia de acuerdo con los requerimientos de producción. Esto hace que los efluentes puedan ser muy heterogéneos. Los procesos húmedos de la industria textil son básicamente los siguientes:

- Tratamientos previos y lavados
- Blanqueo
- Teñido
- Estampado
- Acabados

Al escasear los recursos naturales y en la medida en que avanza la globalización y tratados comerciales, que intentan uniformizar las condiciones de producción a nivel mundial, las empresas textiles se ven confrontadas con retos en materia ambiental, que van desde la conservación de los recursos, pasando por la constante mejora de sus procesos y empleo de menos insumos, hasta llegar a descartar los desechos de acuerdo con regulaciones. Una tendencia que refleja la globalización es que las fábricas deben contar con permisos ambientales, los cuales exigen el empleo de las mejores técnicas disponibles para la manufactura, tomando en cuenta entorno y costos (Shaw, 1998:246). Por otra parte, esta industria se ve confrontada con una fuerte competencia, lo que obliga a buscar una mejor competitividad. Las soluciones a la problemática ambiental siempre deberán estar diseñadas tomando muy en cuenta el punto de vista económico.

Por diversas razones, las fábricas que no tienen estándares exigentes de fabricación, tienden a desaparecer y las empresas que son suficientemente fuertes, invierten en la mejor tecnología disponible. A pesar que la conversión a mejores y más avanzadas tecnologías puede tomar tiempo, es común encontrar técnicas muy modernas en las plantas textiles, en cualquier región del mundo.

En el campo textil, las últimas generaciones de equipos de tintorería han logrado minimizar los insumos como agua, energía y químicos, generando menor cantidad de efluentes que a su vez presentan menor carga contaminante

(Schramm, 1999:130). A pesar de existir grandes avances en este sentido, todavía hay un potencial considerable para mejorar en el futuro.

La CRIET (Organización de Empresas Europeas de Tintorería y Acabados Textiles) reporta que los costos de protección al ambiente de esta industria oscilan entre 5 y 20% de los costos de operación totales. Esto incluye medidas preventivas, mejoras en el uso de recursos, personal y costos financieros. El mayor rubro para estas industrias lo constituye la prevención de la contaminación del agua (CRIET, 1998:14). Sin embargo, estos costos son compensados al reducirse los costos de materias primas, agua, energía y manejo de desechos, permitiendo a estas empresas el seguir laborando.

## **B. La industria textil en Guatemala**

El 1 de junio de 2006 entró en vigor el Tratado de Libre Comercio entre Guatemala y Estados Unidos. Asimismo, Guatemala continúa realizando esfuerzos por colocar su producción en otros mercados internacionales. Es indudable que también las empresas textiles de nuestro país se verán cada vez más en la necesidad de operar dentro de estándares ambientales internacionales para poder participar en el comercio internacional. Asimismo, se hace necesario conservar nuestros recursos hídricos para lograr un desarrollo sostenible a largo plazo.

Esta industria se considera uno de los cuatro grandes pilares para el desarrollo de la economía guatemalteca por los expertos en desarrollo de las Naciones Unidas y es una de las principales generadoras de empleo en el sector no tradicional. Luego de la firma del tratado en mención, se están realizando importantes inversiones en el país, al igual que en toda la región centroamericana. Un alto porcentaje de la producción textil está destinada para exportación, y por lo tanto es muy importante la cantidad de divisas que genera.

Existe un componente de la industria textil guatemalteca que es artesanal y se concentra en el interior de la República. El industrializado se encuentra muy concentrado en el perímetro urbano de la Ciudad de Guatemala, aunque se ha incrementado la tendencia a ubicarse en poblados un poco más alejados, como Amatitlán o Chimaltenango (CGPL, 1999:22). Los sitios en donde se ubican las plantas deben contar con el abastecimiento necesario de agua. Los efluentes de estas plantas deben descartarse finalmente hacia ríos y lagos circundantes.

Dentro del componente industrializado, Guatemala cuenta con fábricas con tecnología de punta, las mejores prácticas de producción y con altos niveles de competitividad.

### **C. Proceso productivo de la planta en estudio**

El tejido es una estructura laminar resultante de entrelazar, de modo

ordenado, hilos, filamentos o fibras. El tejido de punto tiene una estructura de puntos o mallas producidas con agujas, con las cuales se equipan telares, por lo general, circulares o rectilíneos. El teñido es el proceso químico que consiste en darle a la tela o tejido crudo un color determinado. Una vez se tiene el tejido teñido se necesita pasar por una o más etapas que se denominan acabados. En este caso consisten en extraer agua de la tela, suavizarla, vaporizarla y compactarla. La Figura II-1 muestra el diagrama de bloques del proceso productivo.

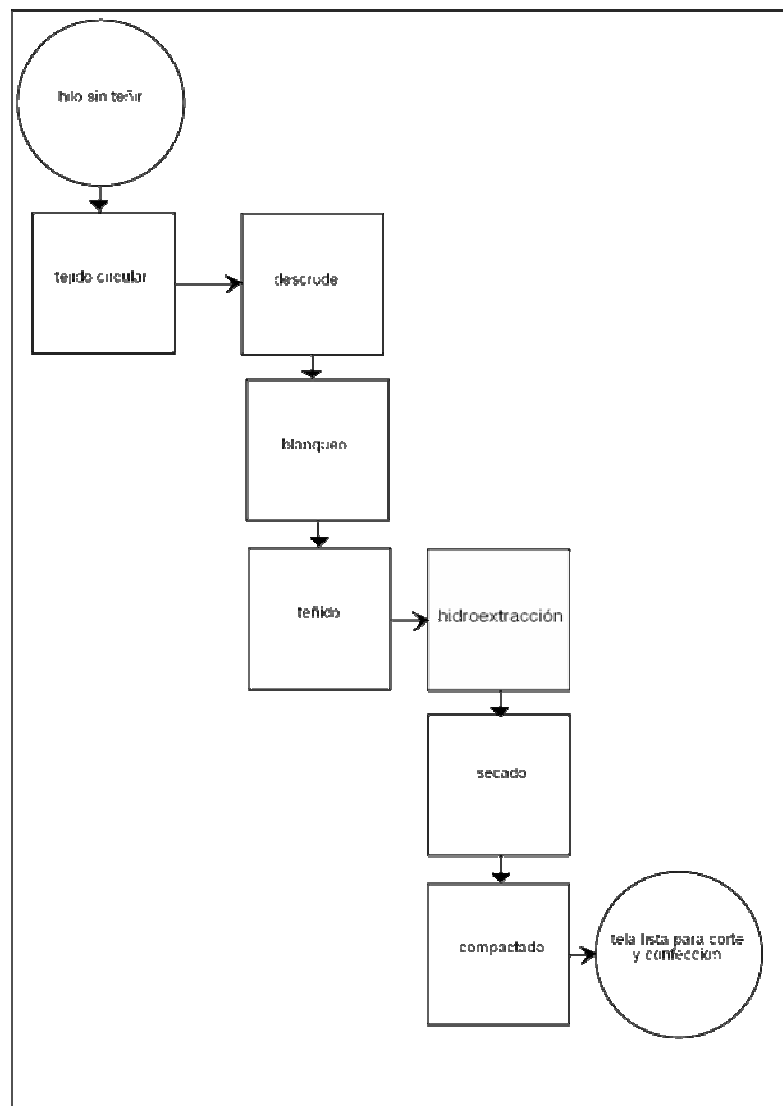
Según los requerimientos del mercado, se pueden tener a veces mezclas con pequeñas cantidades de “spandex” o fibras sintéticas. El hecho de hacer mezclas como las descritas no afecta la calidad o cantidad de efluentes, que son típicos de una planta procesadora de algodón.

El hilo es comprado sin teñir y parafinado para evitar la fricción en las cabezas de las agujas de los telares circulares. Esta parafina es biodegradable. Se procede al tejido del hilo en máquinas circulares previstas de pistas que son recorridas por agujas que toman los hilos posicionados en armazones para formar un tejido estructurado tubular.

En este punto del proceso se obtiene lo que se denomina tela cruda. Dicha tela pasa a inspección y se determina si presenta defectos. Seguidamente pasa a la tintorería, que cuenta con equipos de distintas capacidades para lotes,

que funcionan bajo el principio denominado “overflow” monocuerda, en donde la tela es transportada por el interior de la máquina de manera unidireccional y sin tensarla, asemejando una cuerda. Esta tecnología tiene la ventaja de tener una relación de baño 1:5 (usa 5 L de agua por 1 kg de tela), que es de las más ahorradoras en agua e insumos.

Figura II-1. Diagrama de bloques del proceso productivo.



En la tintorería, el proceso inicia con el descruce, que consiste en un lavado para quitar la parafina y partículas que estén presentes sobre la tela. Luego se procede al blanqueo y al teñido. La tela entra en contacto con una solución de colorante. El colorante tiene mayor afinidad con las fibras, así que migra de la solución y penetra en las mismas después de un período determinado de tiempo. El colorante se fija en la fibra utilizando una mezcla de químicos y calor por un período determinado (EPA, 1996:128). Una etapa de teñido puede durar de tres y media horas para hacer solo un descruce hasta unas siete horas para ciertos colores muy profundos.

En la planta de este estudio se utilizan únicamente colorantes reactivos que son aniónicos, solubles en agua, proveen buena fijación del color y requieren de sistemas de teñido relativamente simples. Son principalmente utilizados para teñir fibras celulósicas como el algodón. Estos colorantes han remplazado a otros tipos, como los directos, azoicos y vat. Forman enlaces químicos covalentes con la fibra y por lo tanto se convierten en parte de la fibra, por lo que se logra una excelente fijación de color. En este sistema de teñido se utilizan sales para agotar el colorante. Al final del proceso, alguna cantidad de colorante puede permanecer sin reaccionar. Luego del teñido, la tela es lavada con un surfactante aniónico para remover el colorante que no reaccionó (EPA, 1996:128).

Algunas mejoras se han logrado en la fijación de los colorantes reactivos con la introducción de reactivos bifuncionales. Al tener dos grupos reactivos se aumenta la posibilidad de lograr la fijación del colorante. Asimismo, los equipos de baja relación entre cantidad de tela y agua consumida también utilizan menores cantidades de sal. La tendencia actualmente es a utilizar colorantes reactivos en frío que no utilizan sales para la fijación (EPA, 1996:128).

Las preocupaciones ambientales relacionadas con este tipo de colorantes se concentran en el color y las sales. La decoloración de los efluentes resulta difícil debido al bajo nivel de biodegradación aeróbica y adsorción del color en los fangos activados durante el tratamiento (EPA, 1996:128). En cuanto a las sales, la remoción por medio de tratamientos convencionales no es muy efectiva (EPA, 1996:128). Esa persistencia de sales en los efluentes tratados limitan posteriormente las posibilidades de reutilización en el proceso productivo.

Al finalizar la etapa de teñido, el lote de tela es llevado a la sección de acabados. Este es introducido en un carrito con perforaciones sobre una mesa giratoria para que escurra. Seguidamente, la tela es introducida al hidroextractor a través de una cabeza destorcedora, el cual por medio de dos rodillos de presión exprime la tela. Luego se le introduce aire al tubular formando el "balón" que se pasa por una tina de suavizante. Se vuelve a exprimir la tela y entra al secador de relajamiento con una humedad relativa de 85%, aproximadamente. Se extrae del secador con una humedad aproximada de 45% y se pasa por una

calandria en donde se aplica vapor para darle estabilidad dimensional a la tela y por último se introduce a una compactadora, la cual, por medio de fieltros o zapatas de compactación, logra darle el encogimiento máximo de 2% a lo ancho y 5% a lo largo a la tela. La tela finalmente se pliega en precisión o se enrolla para luego ser entregada al proceso de corte y confección.

#### **D. Sustancias presentes en los efluentes textiles**

En los efluentes finales se tiene una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Los compuestos orgánicos pueden estar suspendidos y disueltos. Entre estos se encuentran aceites y grasas. La temperatura es elevada en comparación con el ambiente. Los efluentes, a pesar de ser muy variables, en general, son alcalinos, con una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que puede estar en el rango de 700 a 2,000 mg/L, con una demanda química de oxígeno (DQO). Normalmente se obtiene una relación de dos a cinco de DQO sobre la DBO (Cgpl, 1999:22), dependiendo de los procesos específicos. Son efluentes que tienen color, por lo que resultan muy evidentes.

La tabla II-1 muestra los parámetros de la calidad del agua que se ven afectados por las operaciones de esta planta.

Tabla II-1. Parámetros de la calidad del agua que son alterados en el proceso.

OPERACIÓN	SUSTANCIAS PRESENTES	PARÁMETROS AFECTADOS
Lavado	hidróxido de sodio, detergentes, grasas y aceites, parafina, residuos del algodón	sólidos, DBO, DQO, grasas y aceites, pH
Blanqueo	peróxido de hidrógeno, silicato de sodio o estabilizador orgánico, hidróxido de sodio, carbonato de sodio, compuestos halogenados	DBO, DQO, T, pH
Teñido	colorantes, antiespumantes, sales de sodio, agente nivelador, ácido acético, surfactantes	sólidos, DBO, DQO, color, fenol, sulfitos
Acabados	Suavizante	DBO, DQO

### E. Parámetros de interés en aguas residuales de la industria textil

Se deben establecer los parámetros de la calidad del agua que interesa controlar para poder diseñar tanto un programa en la planta para prevenir y reducir la contaminación como el tratamiento de efluentes correspondiente. Los siguientes parámetros son usualmente de interés en los efluentes de las industrias textiles:

**1. Sólidos sedimentables.** En las aguas residuales se encuentra alguna cantidad de sólidos que pueden sedimentarse por gravedad si se les da un cierto tiempo en condiciones apropiadas. Se sedimentan únicamente aquellos que tienen una gravedad específica suficientemente mayor a la del agua. Al estar acumulados en el fondo del ente receptor se forman fangos.

A estos sólidos se les denomina sólidos sedimentables y su cuantificación es importante para determinar el efecto que causarían en el caso de que el efluente en cuestión sea descartado directamente a un cuerpo de agua natural o para determinar si se hace necesaria alguna operación de remoción de estos sólidos en un tratamiento de efluentes. Asimismo, la sedimentación de sólidos ha sido una de las técnicas más empleadas para la remoción de sólidos de muchos tipos de efluentes.

**2. Sólidos totales en suspensión.** Los sólidos totales en suspensión son aquellos que quedan retenidos en un filtro de poro de un tamaño específico, después de secar la muestra a una temperatura establecida, que usualmente es 105 °C. Se debe tener especial cuidado cuando se comparan resultados de sólidos totales en suspensión, pues solo tiene sentido hacerlo cuando se ha usado el mismo tipo de filtro y parámetros en los exámenes de laboratorio.

Junto con la DBO, es un parámetro universal utilizado como estándar para determinar el rendimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales para efectos de regulación y monitoreo en muchas partes del mundo.

El impacto de los sólidos suspendidos totales es muy grande en la parte estética de los efluentes, ya que flotan y resultan muy obvios si el efluente se descarta directamente en un cuerpo de agua superficial.

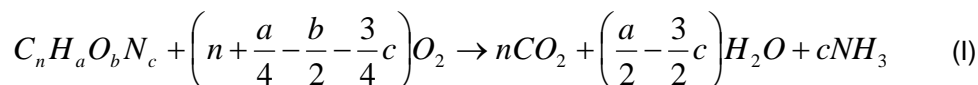
Por lo general, mientras peor sea la calidad del agua en un efluente, mayor será la cantidad de materia coloidal suspendida y de mayor tamaño. Los lodos son un caso extremo, en el que la mayoría de materia sólida se encuentra suspendida. Los sólidos suspendidos usualmente pueden contener hasta un 80 % de materia orgánica volátil (Sawyer, 2003:655).

**3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** La Demanda Bioquímica de Oxígeno, abreviada DBO, se refiere a la cantidad de oxígeno requerida por microorganismos para degradar, en condiciones aeróbicas, la materia orgánica presente en una solución, en un determinado tiempo, a 20 °C. La velocidad de esta reacción se ve afectada principalmente por la cantidad de microorganismos y la temperatura (Sawyer, 2003:604).

Los procesos textiles agregan a los efluentes importantes cantidades de materia orgánica. Cuando los efluentes entran en contacto con un cuerpo de

agua natural la materia orgánica se biodegrada. Como resultado se consume el oxígeno que está disuelto en el agua. Esta depredación del oxígeno causa un gran impacto ambiental, alterando las condiciones para la vida y desbalanceando el ecosistema. De esto se deriva que la cantidad de materia orgánica biodegradable se exprese en términos de su potencial consumo de oxígeno (Sawyer, 2003:604).

La prueba de DBO puede considerarse como un procedimiento en el cual los microorganismos sirven de medio para la oxidación húmeda de la materia orgánica en la que se produce agua, dióxido de carbono y amoníaco. La ecuación (I) muestra la relación cuantitativa entre estos compuestos y el oxígeno:

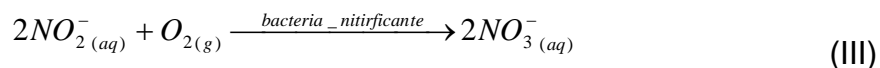
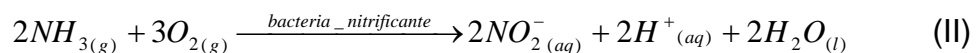


En la medida en que avanza la oxidación, cambia la concentración de las sustancias presentes y es posible cuantificar cómo el oxígeno es agotado (Sawyer, 2003:605).

Para efectos prácticos, se le considera una reacción de primer orden, es decir, la velocidad de reacción será proporcional a la cantidad de materia orgánica disponible. Al inicio del contacto con los microorganismos y el oxígeno, la reacción ocurre con mayor velocidad. Pasados veinte días se considera

completa la reacción a pesar de que en teoría el tiempo necesario para completar la oxidación es infinito.

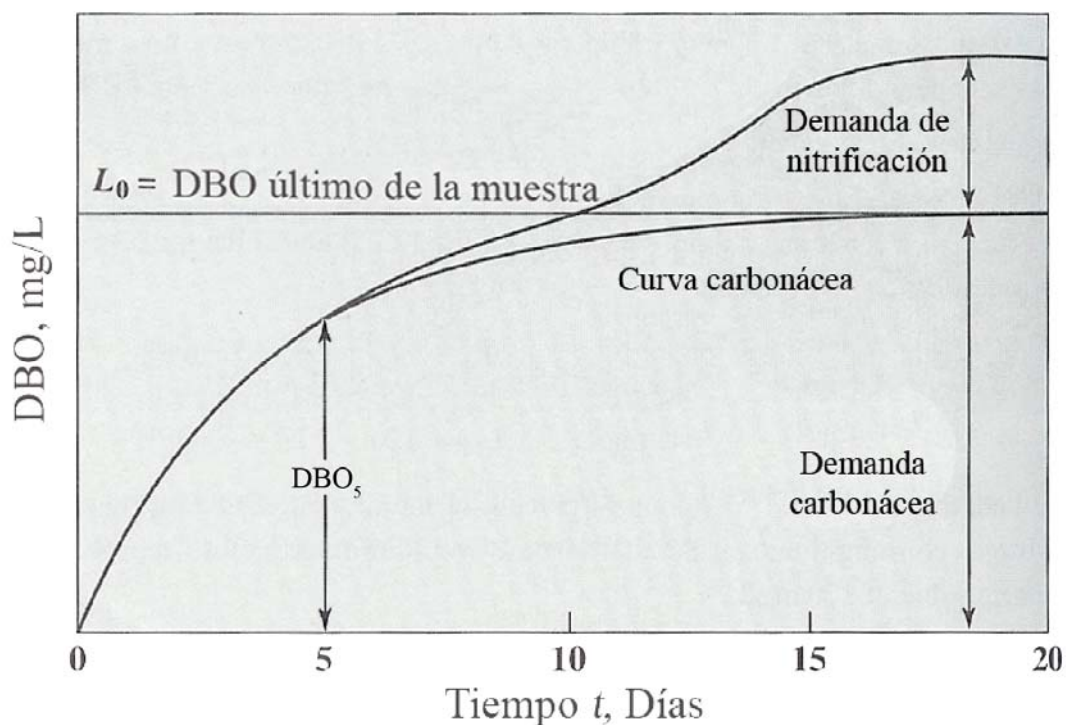
Para hacer la prueba de DBO se utilizan cultivos de organismos correspondientes a los suelos de la zona en cuestión. Estos contienen altos porcentajes de bacterias heterotróficas, que rápidamente inician a oxidar la materia carbonácea presente. Normalmente, también contienen números relativamente pequeños de bacterias autotróficas, particularmente bacterias nitrificantes, las cuales en el ambiente de 20 °C no se reproducen significativamente sino hasta pasados ocho o diez días. Cuando ya se ha establecido una población considerable, se empieza a notar el efecto de la nitrificación. El nitrógeno es oxidado de amoníaco a ácidos nitrosos y ácidos nítricos, según las siguientes ecuaciones (Sawyer, 2003:609):



En la figura II-2 se aprecia la curva resultante de un proceso de degradación que incluye la fase carbonácea y la fase de nitrificación (Sawyer, 2003:608).

La prueba de DBO se base en la oxidación de la materia orgánica biodegradable únicamente. Tomando en cuenta todo lo anterior, es típico que se utilice como prueba estándar el valor de la DBO pasados cinco días de incubación. Esta prueba se denomina  $DBO_5$ . Durante este período de incubación la reacción ha avanzado usualmente de 70 a 80 % (Sawyer, 2003:610) y la demanda de nitrificación todavía no se manifiesta.

Figura II-2. Curva carbonácea más curva de nitrificación.



La materia orgánica se usa como nutriente por los organismos, los cuales extraerán energía de ella para su crecimiento y reproducción. Por ende, parte de la materia orgánica no se transforma a  $H_2O$  y  $CO_2$ , sino a tejido celular. Esto

explica que exista una discrepancia entre los valores teóricos y reales de DBO, pues no toda la materia orgánica se oxida (Sawyer, 2003:610).

Típicamente se observa una primera fase de mucha actividad de oxidación, en la cual las bacterias se nutren y crece la población, seguida por una disminución en la velocidad de reacción, atribuible a la fase de respiración endógena del metabolismo bacteriano y luego se tiene otro incremento, reflejando un alza en la población de protozoos, quienes se alimentan de las bacterias. A pesar de todos estos sucesos, que afectan la velocidad de la reacción, se obtiene una aproximación a la curva de reacción de primer orden (Sawyer, 2003:621).

Parte de la materia orgánica presente en los efluentes textiles se encuentra en solución verdadera y otra parte se encuentra en suspensión coloidal. La parte en solución entra en contacto más rápidamente con los microorganismos, mientras que la suspendida debe esperar la acción hidrolítica para poder difundirse a las células bacterianas, en donde puede ocurrir la oxidación. La hidrólisis y la difusión serán los factores que más afectarán la velocidad de la reacción (Sawyer, 2003:604).

Algunas muestras de aguas superficiales muy limpias pueden ser analizadas en el laboratorio directamente. Al tratarse de aguas residuales,

siempre se requiere hacer diluciones en el laboratorio para la cuantificación de la DBO (Sawyer, 2003:611).

A pesar de presentar limitaciones y dificultades técnicas, la prueba de DBO es ampliamente usada. Es la prueba principal para caracterizar efluentes y cuantificar el oxígeno que se requiere para estabilizarlos. Es la única prueba que se utiliza para determinar los efectos al introducir un efluente en un cuerpo natural de agua. También se utiliza para diseñar y dimensionar tratamientos de efluentes y para monitorear su eficiencia, sobre todo en el caso de tratamientos biológicos. Asimismo, es ampliamente utilizado como parámetro en los reglamentos ambientales de muchos países (Sawyer, 2003:621).

**4. Demanda Química de Oxígeno (DQO).** La prueba de Demanda Química de Oxígeno, abreviada DQO, determina la cantidad de materia orgánica presente en una solución que es oxidada por la acción de un ácido fuerte en condiciones ácidas (Sawyer, 2003:625).

La DQO no diferencia entre materia orgánica biológicamente oxidable o inerte, pero es una prueba que se puede realizar muy rápidamente. Es usual hacer mediciones de la DBO y la DQO de un efluente y encontrar correlaciones. Luego, es posible medir únicamente la DQO para obtener información de manera fácil y práctica sobre un efluente que permita estimar su DBO. Al incluir la

materia biológicamente oxidable y la inerte, el valor de la DQO siempre es mayor al de la DBO de una solución (Sawyer, 2003:625).

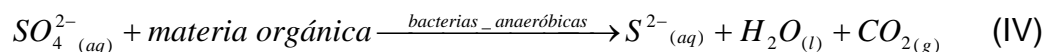
Tanto la DBO como la DQO van a medir únicamente el material oxidable, no así la materia orgánica total, pues existen ciertos compuestos orgánicos que solo pueden oxidarse en presencia de catalizadores y otros que no se oxidan bajo ninguna circunstancia (626). Sin embargo, estas mediciones tienen sentido desde el punto de vista ambiental, pues lo que interesa es el efecto que tendrá la introducción de un efluente en el cuerpo receptor, especialmente cuando se trata de un cuerpo natural de agua. Este efecto es precisamente la depredación del oxígeno presente en el cuerpo receptor.

**5. pH.** El potencial de hidrógeno, o pH, es el término utilizado universalmente para expresar la intensidad de la alcalinidad o acidez en una solución. Expresa la concentración de iones de hidrógeno, o más bien, su actividad (Sawyer, 2003:536).

En tratamientos biológicos de agua, el pH debe estar controlado en los efluentes, previo a que entren en contacto con los microorganismos para lograr las condiciones de vida que los mismos necesitan. Asimismo, el pH debe estar dentro de cierto rango en aguas que serán descartadas a un cuerpo natural para no causar alteraciones en el ecosistema.

El pH afecta también la intensidad del color en los efluentes. A mayor pH, mayor intensidad de color (Clesceri, 1998:2.2). Siendo el color uno de los factores importantes que se deben reducir en los efluentes textiles, es deseable controlar el pH y mantenerlo dentro del rango adecuado.

**6. Sulfitos.** Los sulfitos pueden ser reducidos a sulfuros en condiciones anaeróbicas, según las siguientes ecuaciones (Sawyer, 2003:670):



La presencia de ácido sulfhídrico causa los problemas de olor relacionados con procesos anaeróbicos (Sawyer, 2003:670) y también en procesos aeróbicos, si por alguna razón no se está logrando la correcta aireación en ellos y se crea un ambiente anaeróbico no deseado.

Al formar ácidos pueden ser corrosivos y dañar sistemas de alcantarillado y tubería en una planta de tratamiento (Sawyer, 2003:672).

**7. Grasas y aceites.** En los efluentes de una operación de tejido de punto pueden existir parafinas como residuos del proceso de parafinado. Actualmente se usan parafinas biodegradables y por lo tanto su remoción se realiza en la etapa biológica. En caso que existan otros aceites y grasas derivados de los procesos o de las materias primas, estos constituyen parte de la materia flotante que causa un problema de estética. Afortunadamente puede removerse fácilmente junto con los demás sólidos flotantes.

Sin embargo, su propia naturaleza de separarse de la fase acuosa, que facilita su remoción en un tratamiento, constituye un problema si no es removida, pues dificulta el transporte de los efluentes a través de tuberías (Sawyer, 2003:683).

**8. Color.** Las aguas superficiales, en muchos casos, están coloreadas en algún grado, debido a la presencia de residuos orgánicos. Este color natural existe en el agua en forma de partículas coloidales con carga negativa. Adicionalmente, las aguas pueden aparentar color debido a la presencia de materia suspendida. Se manejan los términos *color verdadero* y *color aparente* para distinguir estas dos situaciones (Sawyer, 2003:523).

Los efluentes provenientes del proceso de tintorería llaman mucho la atención debido a que presentan color, proveniente de los químicos utilizados en el proceso.

Las partículas coloidales que causan el color verdadero son removibles utilizando algún método fisicoquímico, como coagulación asistida con la presencia de una sal. El color aparente desaparece al eliminar los sólidos suspendidos. Es usual tratar primero el color aparente y luego el color verdadero.

Los tratamientos para remoción de color son costosos y por utilizarse métodos fisicoquímicos tienen también la desventaja de producir desechos sólidos, que luego deben ser descartados adecuadamente.

Para la determinación del color se utiliza un método espectrofotométrico en el cual el color es medido por comparación visual de una muestra contra estándares de platino cobalto. Una unidad de color es aquella producida por 1 mg/L de platino en la forma del ion cloroplatinado. Este método de Comparación Visual (Standard Methods, 19th Edition, 1995) (Clesceri, 1998:2.2) no es fácilmente aplicable a efluentes de tintorería. Sin embargo, muchas normativas utilizan este método para la cuantificación del color en los efluentes y lo expresan como unidades Pt-Co (unidades de color platino cobalto).

**9. Fenol.** Los fenoles son sustancias aromáticas con muchas aplicaciones en la industria. Es necesario controlar su presencia en efluentes por varias razones.

En concentraciones altas los fenoles son tóxicos para las bacterias, de manera que un tratamiento biológico resulta imposible. Además, se le ha clasificado como un químico que afecta el sistema endocrino, también expresado como *agente hormonalmente activo* (Sawyer, 2003:253).

Hasta hace pocos años no se consideraba posible un tratamiento biológico para efluentes con 25 mg/L de fenol o más. Sin embargo, la práctica ha demostrado que las bacterias pueden utilizar el fenol como nutriente sin problemas de toxicidad hasta en concentraciones de 500 mg/L. Incluso se ha demostrado que el fenol es altamente degradable. Adicionalmente, existen enzimas que se pueden utilizar para la más pronta oxidación de diversos compuestos aromáticos, incluyendo el fenol (Sawyer, 2003:252).

**10. Temperatura.** Los efluentes textiles tienen una temperatura mayor a la del medio ambiente. Si los efluentes son directamente descartados en un cuerpo de agua natural, la temperatura elevada causará efectos indeseables en el ecosistema.

En el caso que los efluentes sean tratados, la temperatura irá bajando a niveles aceptables al ambiente en las primeras etapas del tratamiento. Es importante tener una temperatura apropiada en los efluentes que entran a la etapa biológica del tratamiento para asegurar las condiciones de vida de los microorganismos.

## **F. Regulación sobre aguas residuales en Guatemala**

Los tratamientos de efluentes usualmente son diseñados para cumplir con las regulaciones existentes en la región donde se ubica la planta. Sin embargo, pueden existir otros lineamientos para determinar los valores de salida del tratamiento.

**1. Acuerdo Gubernativo Número 236-2006.** En mayo de 2006 entró en vigencia el acuerdo gubernativo número 236-2006. Dicho acuerdo establece el marco legal bajo el cual todo ente generador de efluentes puede operar en territorio guatemalteco. El Anexo 1 contiene el Acuerdo Gubernativo Número 236-2006.

En este acuerdo se exige a los entes generadores que tengan un estudio de sus efluentes, el cual debe incluir una caracterización y el plan de acción para mejorar la calidad de los mismos hasta llevarlos al cumplimiento de los límites permisibles para una lista de parámetros.

Los entes generadores deben tener listo este estudio el 16 de mayo de 2007. Asimismo, están establecidas las fechas en las cuales se deben implementar los planes de acción para cumplir con los valores permitidos para los parámetros indicados, de acuerdo con un modelo de reducción progresiva.

**2. Otras referencias de parámetros y límites permitidos.** Los parámetros y valores permisibles de descarga de los efluentes de la planta textil son mencionados en uno de los contratos internacionales que la empresa suscribió. Dichos parámetros y valores se muestran en la tabla II-2.

Tabla II-2. Parámetros y límites de empresa extranjera.

PARÁMETROS	UNID.	VALORES PERMITIDOS
Sólidos en suspensión	mg/L	30
DBO <sub>5</sub>	mg/L	30
DQO	mg/L	Monitorear resultados
pH		6 – 9
Temperatura	°C	37
Color	u Pt-Co	Monitorear resultados

Se consultaron también los lineamientos del Banco Mundial. Para esta institución los niveles de emisión debían ser establecidos según su publicación *“Manual de Prevención y Abatimiento de la Contaminación”* y las leyes del país en donde se realice el proyecto. En la tabla II-3 se presentan los parámetros y valores permitidos para proyectos financiados por ellos:

Tabla II-3. Parámetros y límites propuestos por el Banco Mundial.

PARÁMETROS	UNID.	VALORES PERMITIDOS
Sólidos en suspensión	mg/L	50
DBO <sub>5</sub>	mg/L	50
DQO	mg/L	250
pH		6 – 9
Sulfitos	mg/L	1
Grasas y aceites	mg/L	10
Color	u Pt-Co	60
Fenol	mg/L	0.5
Temperatura	°C	Incremento de 3

### G. Técnicas para la producción más limpia

Cuando se analiza la problemática de los efluentes de una planta, es de suma importancia abandonar el enfoque denominado “solución al final de la tubería”, o en inglés “end of pipe solution”, por un enfoque más acorde a las nuevas tendencias, en donde el problema se debe atacar desde su origen. Idealmente, un tratamiento de efluentes debe existir en conjunto con un plan que vele por mantener las prácticas de producción más limpia dentro de la planta.

Toda planta debe tener un programa de prevención y control de la contaminación, el cual se concentra en reducir la cantidad de agua y energía que se utiliza en los procesos, optimizar el empleo de químicos y revisar los procesos y equipos.

En cuanto a aspectos que afectan la calidad y cantidad de los efluentes resultantes de esta planta, los siguientes puntos fueron incluidos dentro del plan de prevención y control:

### **1. Conservación de agua**

- a. Mejoramiento de prácticas de mantenimiento y lavados para ahorrar agua.

### **2. Optimización del uso de químicos**

- a. Utilización de parafinas biodegradables.
- b. Utilización de surfactantes biodegradables.
- c. Utilización de colorantes menos dañinos al ambiente.
- d. Utilización de blanqueadores base peróxido.

### **3. Selección y modificación de procesos y equipos**

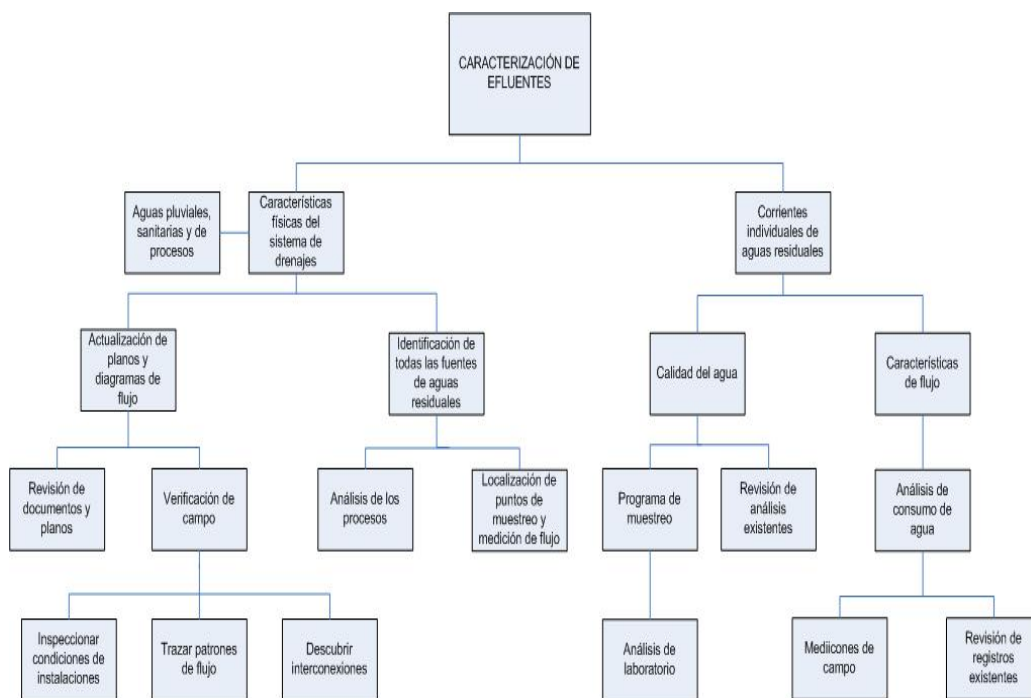
- a. Tecnología de última línea con una relación de baño 1:5 (1 kg de tela utiliza 5 L de agua), disminuyendo considerablemente el consumo de agua y la producción de efluentes.
- b. Reducción de químicos en acabados.

Existen parámetros de referencia (benchmarks) para cada proceso de la industria textil y para la calidad de agua derivada de los mismos. La planta compara sus valores contra estos para verificar que se encuentra dentro de los parámetros deseables de operación.

## H. La caracterización de los efluentes de una planta

La figura II-3 muestra los componentes de una caracterización de aguas residuales.

Figura II-3. Componentes de una caracterización de aguas residuales (Corbitt, 1990:6.27).



**1. Características físicas del sistema de drenajes.** Se deben revisar los planos existentes de la planta para identificar el sistema de drenajes. Luego se debe verificar que estos se encuentren actualizados. Asimismo, se debe analizar el uso del agua en toda la planta para identificar a cada uno de los efluentes que existan. Con esta información se pueden descubrir puntos de interconexión entre diferentes tipos de efluentes, los cuales se dividen en pluviales, de procesos y de aguas negras. Por lo general se deben segregar estos tres tipos de efluentes. Al conocer el sistema físico de drenajes de la planta se pueden escoger los mejores puntos para el muestreo de los efluentes de proceso así como las correspondientes mediciones de flujo. Asimismo, contando con esa información se pueden hacer recomendaciones en caso que se requiera segregar corrientes previo a implementar el tratamiento de efluentes o el programa de muestreo (Corbitt, 1990:6.27).

## **2. Análisis de los efluentes debidamente segregados.**

**a. Análisis de laboratorio.** Se deben consultar los datos existentes sobre la calidad de los efluentes si existen. Si no existen, se debe implementar un programa de muestreo y análisis de los efluentes en estudio (Corbitt, 1990:6.34).

Se debe asegurar que la muestra sea representativa, y en el caso de una industria textil en donde no hay un tanque de equalización los efluentes son muy variables, por lo que se recomienda muestreo compuesto simple. Este consiste

en recoger igual volumen de muestra de manera secuencial por un período de tiempo y depositarla en el mismo recipiente (Corbitt, 1990:6.34).

Es usual encargarse del programa de muestreo y delegar el análisis de los efluentes a un laboratorio capacitado y autorizado. En este caso se debe tener el cuidado de utilizar los recipientes adecuados para recolectar las muestras y preservarlas según las especificaciones de los métodos de análisis hasta entregarlas al laboratorio. La temperatura es el único parámetro que debe ser medido *in situ*.

**b. Determinación de caudales.** En cuanto al caudal de los efluentes, igualmente hay que investigar si existe información histórica sobre el mismo. Si esta información no está disponible se debe proceder a su medición mediante métodos directos y/o a través de balances de masa del agua en la planta (Corbitt, 1990:6.33).

El caudal de diseño promedio es el promedio del volumen diario generado, idealmente medido a lo largo del año de diseño. Se utiliza para estimar costos de bombeo y de insumos, generación de lodos y razones de carga orgánica.

El caudal diario máximo es el mayor caudal recibido en un período de 24 horas continuas. Se utiliza para calcular tiempos de residencia en el tanque de

ecualización. El caudal pico por hora se asume como tres veces el caudal diario promedio. Se utiliza para calcular tuberías, drenajes, tanques de sedimentación y otros.

El caudal diario mínimo es el menor caudal recibido durante un período de 24 horas continuas. Es importante conocerlo para dimensionar conductos donde se podrían depositar sólidos en momentos de poco caudal. El caudal mínimo por hora es el mínimo caudal recibido durante una hora y se usa para el dimensionamiento de medidores de flujo, sistemas de dosificación de químicos y sistemas de bombeo.

## **I. Tratamiento de efluentes**

Los cuerpos de agua naturales tienen la capacidad de asimilar desechos, logrando remover sólidos, materia orgánica e incluso químicos tóxicos que se encuentran en efluentes que entran en contacto con ellos. Sin embargo, esta capacidad es limitada y el proceso requiere tiempo. Las plantas de tratamiento de aguas residuales están diseñadas para reproducir el proceso natural de depuración de agua en mucho menor tiempo y así remover sustancias que podrían interferir con los procesos naturales de los cuerpos receptores.

En referencia únicamente a los efluentes industriales, se debe analizar si es conveniente hacer un tratamiento centralizado o si algunas corrientes

requieren un tratamiento separado, previo a unificarse al resto de efluentes de procesos. Esto se justifica cuando se tiene alguna corriente con carga muy diferente o de otro orden en comparación a los demás efluentes.

Los niveles de tratamiento de efluentes se clasifican de la siguiente manera (Metcalf, 2003: 11):

- Preliminar: incluye remoción de sólidos gruesos, arena, trituración, y remoción de grasa; su objetivo es evitar problemas de mantenimiento y operacionales en el resto de las etapas de tratamiento.
- Primario: alguna remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica, equalización.
- Secundario: procesos biológicos para la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos suspendidos, sedimentación posterior.
- Terciario y avanzado: remoción de sólidos suspendidos y disueltos remanentes, control de nitrógeno y fósforo, remoción de metales, color, remoción de orgánicos e inorgánicos, desinfección.

En general, los efluentes textiles incluyen las siguientes operaciones y procesos: tamizado y otros tipos de remoción de sólidos, equalización, neutralización, tratamiento biológico y en ocasiones tratamientos fisicoquímicos (World Bank Environment Department, 1996:505). Posterior al tratamiento, los

efluentes pueden ser descartados a un cuerpo de agua superficial o al drenaje municipal. Alternativamente, pueden ser reutilizados en la planta para aplicaciones como riego, lavados, y dependiendo del nivel de tratamiento, pueden incluso ser reutilizados en ciertas partes del proceso de teñido, si se mezclan con agua fresca en determinadas proporciones.

Se pueden lograr eficiencias de hasta 95 % en la remoción de la  $DBO_5$  (World Bank Environment Department, 1996:508). En el tratamiento de efluentes se generan fangos, los cuales deben ser desechados adecuadamente. Para limitar la producción de fangos, se prefieren tratamientos biológicos a los fisicoquímicos cuando se tiene la opción, ya que estos transforman a los contaminantes, mientras que los tratamientos fisicoquímicos separan los contaminantes del efluente, por lo que producen grandes cantidades de fango, que luego se convierten en desechos sólidos que hay que descartar adecuadamente.

**1. Sistemas preliminares de remoción de sólidos.** Los efluentes fluyen hacia el sistema de tratamiento por gravedad o por bombeo. El cribado o tamizado es usualmente la primera operación unitaria del tratamiento de efluentes. Para remover objetos de mayor tamaño se usan bastidores y mallas. Se usan también mallas finas para remoción de sólidos menos voluminosos, con barras espaciadas entre 1.5 mm y 6.4 mm. Estas mallas pueden ser rotativas o estáticas. Las pérdidas de cabeza de los efluentes al pasar por una pantalla fina

dependen del método y frecuencia de limpieza, el tamaño y cantidad de los sólidos suspendidos en el efluente y el tamaño de los orificios (Lin, 2001: 529).

Para caudales menores de  $0.13 \text{ m}^3/\text{s}$  se puede utilizar el tamizado fino para remplazar el tratamiento primario. Se logra reducir de manera considerable la DBO (de 25 a 50 %) y los SST (de 25 a 45 %) en sistemas de tamizado de rejillas rotativas. Se usan pantallas de acero inoxidable como medio tamizador. Se diseñan de forma que sean autolimpiantes, a manera de mantener el medio tamizador sin obstrucciones y no perder funcionalidad. Las rejillas rotativas clasificadas como de tamaño medio tienen una superficie de tamizado con orificios de 0.25 a 2.5 mm (Metcalf, 2003: 323).

**2. Ecuación de flujo.** La ecuación de flujo se utiliza para resolver problemas operativos causados por variaciones en la razón de flujo y en la calidad del agua a tratar. Su objetivo es mejorar el rendimiento de los procesos subsiguientes, así como reducir el tamaño y disminuir el costo de sus instalaciones.

Al haber ecuación previa, el tratamiento biológico se ve favorecido debido a que se eliminan o por lo menos minimizan los choques de carga orgánica y el pH se puede estabilizar previamente con facilidad. La calidad de los efluentes y el rendimiento en espesamiento de tanques de sedimentación secundarios posteriores al tratamiento biológico son mejorados al existir una

mejor consistencia en la carga de sólidos. Los requerimientos de superficie de filtración se reducen, el rendimiento del proceso de filtración mejora, se pueden tener ciclos de retrolavado en filtros más uniformes. Asimismo, se facilita la dosificación de químicos en los procesos.

Se debe tomar en cuenta que la ecualización de flujo requiere de áreas relativamente grandes, se necesitan de ciertos procesos de mantenimiento para evitar malos olores o acumulación de sólidos y tiene un costo de capital (Metcalf, 1991:335).

La ecualización se puede hacer en línea, cuando se desea que todo el caudal de entrada pase por la ecualización, o fuera de línea, cuando se desea desviar parte del caudal y almacenarlo debido a que se tiene un caudal o carga orgánica por encima de la capacidad del sistema. Este caudal es luego reintroducido al sistema cuando se tiene un caudal o carga inferior a la capacidad del sistema (Corbitt, 1990:6.149).

La técnica empleada para diseñar los tanques de ecualización se selecciona dependiendo de si las variaciones más importantes en los efluentes son de caudal, composición o una combinación de ambos (Corbitt, 1990:150).

Según Corbitt, se requieren entre 3 y 8 kW de potencia para mezclar aguas municipales de carga media por cada 1000 m<sup>3</sup> y mayores niveles de

potencia cuando se tienen sólidos con una gravedad específica significativamente mayor a 1.0 que deben mantenerse en suspensión.

Según Metcalf se requieren entre 0.004 y 0.008 kW/m<sup>3</sup> de potencia para mantener en suspensión los sólidos de un efluente con sólidos suspendidos de 210 mg/L.

Para prevenir condiciones sépticas y malos olores se utiliza aireación en los tanques de ecualización. Se recomiendan entre 0.001 y 0.015 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·min para mantener condiciones aeróbicas, aunque algunos sistemas con tiempo de residencia igual o menor a 24 horas funcionan bien sin necesidad de aireación (Metcalf, 2003: 344).

Se utilizan correlaciones empíricas para estimar los requerimientos de potencia (Geankoplis, 1986: 125) En ellas se relaciona la densidad del fluido, su viscosidad, la velocidad rotacional y el diámetro del impulsor por medio de gráficas de número de potencia.

Es importante tomar en cuenta en el diseño la altura mínima del agua que debe existir tomando en cuenta los equipos de aireación y mezclado. El volumen bajo este límite se vuelve muerto a menos que se apaguen los equipos. Asimismo, se debe prever el régimen de mantenimiento del tanque, si es

necesario hacer un sistema para remoción de lodos y grasa, espuma y malos olores.

En la etapa de equalización también se da un cambio importante en la temperatura de los efluentes. Cuando se justifica una recuperación de energía se utilizan intercambiadores de calor previos a la equalización. En casos en que el calor simplemente será perdido, como cuando la carga de temperatura es baja, tratándose de un caudal pequeño, durante el proceso de equalización de 24 horas la temperatura se baja a los niveles del ambiente.

**3. Neutralización.** La neutralización es uno de los requerimientos más comunes en tratamiento de efluentes. Se utiliza un potenciómetro para medir la alcalinidad o acidez de los efluentes, así como un sistema de dosificación de reactivos y sensor en línea. El tipo de instrumentación y control empleado para realizarla de forma automática depende de los requerimientos en el rango de descarga, el tiempo de retención en los tanques del sistema, si existe mezclado, el tiempo de reacción en distintos procesos del sistema, y otros factores más. Por lo general en un tanque de equalización en donde se tuvo mezclado completo, se recomienda ubicar el sensor de pH cercano a la salida de las aguas hacia la siguiente operación unitaria. Esto provee una medición de una muestra más representativa. Para la neutralización comúnmente se utiliza soda cáustica, carbonato de calcio o carbonato de sodio y otras sustancias alcalinas cuando se tienen efluentes ácidos; se utiliza ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y ácido nítrico

cuando los efluentes son alcalinos. La selección de agente neutralizante depende de la disponibilidad, costo y formación de subproductos que luego se encuentran en los fangos de desecho.

Los sistemas de medición de pH son altamente dependientes de un adecuado mantenimiento, sobre todo en los elementos principales como sensores y otros instrumentos.

Los aspectos a tomar en cuenta para el diseño de un sistema de neutralización son la selección de agente neutralizante, la selección del concepto de control y el correcto posicionamiento del sensor. Se logran mejores resultados en la neutralización cuando se tiene una ecualización efectiva.

**4. Tecnologías biológicas de crecimiento adherido.** Los tratamientos secundarios usualmente emplean algún tipo de tecnología biológica. Existen distintos tipos, así que para escoger el tratamiento biológico adecuado se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos (Schulz, Chemical Engineering, oct. 2005):

- Conocer la naturaleza de los efluentes y si existen componentes que puedan afectar a los microorganismos.
- Reconocer si hace falta tratamientos previos para la protección adecuada del tratamiento biológico.

- Entender si el tratamiento es adecuado para el clima en que va a operar.
- Ver si tolera las fluctuaciones de temperatura que pueden existir.
- Tomar en cuenta cuántos lodos de desecho produce.
- El costo del tratamiento, tanto de capital como de operación y mantenimiento.
- Conocer el nivel de supervisión y horas hombre de operación que requiere.
- El espacio que ocupa.

Una de estas tecnologías es la de crecimiento adherido y se ha utilizado desde hace más de cien años para depurar aguas residuales. Se trata de un reactor biológico con lecho empacado sobre el cual se distribuye el agua a tratar. El tratamiento se da en la medida en que el líquido fluye sobre una película de biomasa adherida al material de empaque.

El primer modelo de esta tecnología fue el filtro de goteo (trickling filter) y fue ampliamente utilizado, ya que se lograba un tratamiento secundario con poco consumo de energía. La tecnología fue evolucionando al utilizar diferentes materiales de relleno naturales. Entre 1965 y 1975 perdió popularidad ante la aparición de los contactores biológicos rotatorios (RBC). Estos consisten en discos circulares plásticos estrechamente colocados que rotan alrededor de un eje. El sistema de discos está sumergido parcialmente en los efluentes a tratar.

La biomasa crece sobre la superficie de los discos, y es oxigenada al rotar pues parte del tiempo se encuentran en contacto con el aire (Lin, 2001:642).

En los siguientes años volvieron a ganar preferencia los filtros por goteo al introducirse mejores tecnologías de empaque al utilizar empaques plásticos especialmente diseñados para aumentar la superficie de contacto y establecer espacios de vacío y flujo de aire. Muchos de los problemas operativos de los filtros de goteo se resolvieron al utilizar plástico y la eficiencia aumentó considerablemente (Lin, 2001:642).

El plástico es 30% más ligero que la piedra y esto permite mayor altura del lecho empacado. Actualmente se tienen columnas de lecho empacado con alturas entre 4 y 12 m. Se utilizan columnas para distribución de aire (air lift) en las cuales se tienen difusores en la parte inferior para alimentar el aire de abajo hacia arriba. Se deja un espacio libre, usualmente de 0.3 m entre la región empacada y los brazos de distribución de aire (Lin, 2001:642).

Los filtros de goteo se clasifican según la razón de carga hidráulica y orgánica de entrada, así como el medio de empaque utilizado. El plástico se utiliza principalmente en aplicaciones de razón de carga alta, aunque también han tenido buenos resultados con razones de carga menores. Se ha obtenido eficiencias de hasta 90 % en la remoción de la DBO con estos sistemas (Metcalf, 2003: 893).

La biofiltración activada es una tecnología de crecimiento adherido y de película fija (fixed film). Se ha utilizado ampliamente en Europa con muy buenos resultados, reportándose concentraciones muy bajas de sólidos suspendidos en el agua de salida y remoción de la carga orgánica mayor a la que se obtiene con otras versiones de tratamientos biológicos aeróbicas con crecimiento adherido.

Sus principales ventajas incluyen el menor espacio requerido, mucho menor cantidad de lodos producidos, ausencia de problemas inherentes a la sedimentación secundaria, ya que este sistema no necesita sedimentador secundario. La biomasa en exceso, consecuencia del crecimiento bacteriano y de los sólidos en suspensión de los efluentes a tratar, es retenida en el interior del sistema. Se ha desarrollado una variedad de tipos de biofiltración activada, utilizando diferentes regímenes de flujo y materiales de empaque patentados, así como variando la técnica de aireación.

Las dimensiones de la planta se calculan haciendo referencia tanto a la carga orgánica como a la hidráulica. Dada la complejidad del proceso y de los factores que afectan la superficie de la película de biomasa y su actividad, el dimensionamiento se realiza con base en datos empíricos obtenidos de biofiltros en funcionamiento y/o de plantas piloto (Metcalf, 2003) (Corbitt, 1990) (Lin, 2001).

Por ser un sistema de película fija se logra reducir el tiempo de residencia hidráulica en comparación con otros sistemas, calculado sobre volumen de

tanque vacío. Se tienen tres fases: el material de empaque, la película de biomasa y el líquido. La carga orgánica se remueve del líquido por oxidación al entrar en contacto con la biomasa.

La tecnología biológica de crecimiento adherido se ha desarrollado mucho en forma de equipos que se pueden adquirir como unidades comerciales. Asimismo, con frecuencia los tratamientos para efluentes con todas sus operaciones unitarias son comercializados como plantas llave en mano. Se tiene la alternativa de diseñar el proceso o bien adquirir todo un proceso unitario dentro de un producto hecho por un especialista. Otra posibilidad es adquirir únicamente como producto terminado la parte medular del tratamiento y el resto implementarlo localmente.

En una tecnología específica de biofiltración activada, el oxígeno es provisto por un sistema de aireación por difusores en columnas de aire, lo cual permite altos rendimientos de transferencia de oxígeno con reducidos consumos energéticos. El movimiento del líquido es de tipo descendente. El sistema de oxigenación empleado permite recircular las aguas residuales para que pasen innumerables veces a través de los empaques con biomasa adherida antes de ser descargados. Ese movimiento favorece el contacto con los microorganismos, donde las sustancias orgánicas se metabolizan. El aire es introducido desde el fondo del reactor. Este diseño específico tiene un diseño y operación bastante simples y permite eliminar el tanque de sedimentación.

Para llevar a cabo la remoción periódica de la biomasa en exceso se utiliza un sistema de retrolavado con aire. Los lodos se dispersan en el líquido y este es enviado a un sedimentador-espesador de lodos. Aquí los lodos son separados del líquido y recogidos en el fondo. El tipo de lodo producido es fácilmente deshidratado y con buenas características de estabilización. Esta producción de lodos es extremadamente baja en comparación con otras tecnologías biológicas. En cambio, la cantidad de biomasa por unidad de volumen del reactor es de las más elevadas.

Se trata de uno de los sistemas más compactos que se encuentran comercialmente disponibles.

**5. Instrumentación y control.** El grado de automatización que la tecnología actual brinda hace posible que una planta de tratamiento de efluentes industriales requiera de mínima mano de obra para ser operada. Esta opción hace que el nivel de eficiencia se eleve a niveles máximos, haciendo uso de medidores de variables como el oxígeno disuelto o el pH, para luego activar las acciones apropiadas para mantener la estabilidad del sistema.

En un tanque de ecualización es necesario controlar los niveles máximo y mínimo del agua para la correcta operación y protección de los equipos. Se requiere también la medición del pH del líquido antes de pasar al tratamiento biológico. Asimismo, se controla la temperatura de los motores de los equipos

para su correcta operación y se cuenta con alarmas para proteger los equipos. En los tratamientos biológicos es necesario monitorear el nivel de oxígeno disuelto y poder ajustar la aireación.

## **J. Reutilización de efluentes tratados**

La reutilización de aguas industriales es una práctica cada vez más necesaria debido a la creciente escasez de agua fresca. Se hace más interesante en industrias como la textil, que consumen grandes cantidades de agua. Sin embargo, incluso en los países industrializados la reutilización de aguas tratadas es aún limitada. Esta se ha podido desarrollar más en países en donde se tienen exigencias muy estrictas para la descarga de aguas residuales, ya que económicamente se convierte en una alternativa viable. Las aplicaciones en la industria para la reutilización de aguas tratadas incluyen lavados, agua para torres de enfriamiento y calderas, y agua para los procesos industriales (Metcalf, 2003:1347).

En Dinamarca se han desarrollado sistemas que han permitido la reutilización del agua en los procesos textiles hasta en un 40%, con una recuperación de la inversión en períodos de 2 ó 3 años. Sin embargo, esto se debe a la legislación estricta que hace oneroso el descartar los efluentes tratados (Wenzel, 2003: 5).

## **K. Evaluación económica del proyecto**

Es esencial aplicar correctamente los principios económicos en los problemas ambientales para implementar las soluciones más efectivas en términos de costos. En la mayoría de proyectos industriales se analiza la tasa interna de retorno de la inversión para determinar la viabilidad de una propuesta. Sin embargo, en el caso de los proyectos ambientales, es muy difícil cuantificar una tasa de retorno de la inversión (Corbitt, 1990:1.39). Muchas veces dicha inversión representa un costo en el que se debe incurrir para cumplir con requisitos legales o contractuales, y simplemente debe verse como un costo más de la operación industrial, el cual hace posible la misma.

Para llevara cabo un proyecto ambiental es de interés conocer el costo de la inversión y el costo de operación y mantenimiento. Cuando se evalúan varias propuestas es muy importante tomar en cuenta ambos factores para determinar cuál es mejor desde el punto de vista económico, pues muchas veces las propuestas con mayor inversión tienen un menor costo de operación y mantenimiento, y pueden resultar más económicos a lo largo del tiempo de vida útil de la planta.

Los costos de operación y mantenimiento incluyen los siguientes elementos:

1. mano de obra

2. energía
3. insumos
4. costos de disposición o descarga de desechos
5. renovación de equipo

Existen fuentes de financiamiento para proyectos ambientales industriales para países en vías de desarrollo. En el momento de implementar un proyecto de este tipo es recomendable informarse sobre las posibles fuentes de financiamiento y de las condiciones blandas que puedan tener para incentivar la inversión. Algunos ejemplos de agencias de este tipo son el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud y la Agencia Internacional de Desarrollo, AID (Corbitt, 1990:1.50).

### **III. JUSTIFICACIÓN**

Una planta textil en Guatemala se dedica a la fabricación de tejido de punto, el cual es luego teñido y acabado, produciendo efluentes que contienen sustancias que deberían ser removidas antes de la descarga. Estos efluentes se mezclan con las aguas pluviales de la planta y luego son descartados. Anteriormente, la descarga era directamente a un riachuelo cercano y actualmente es a un sistema de alcantarillado público.

Se han tenido problemas con el vecindario, debido a que dichos efluentes tienen color y los vecinos han identificado a la planta textil como responsable de ensuciar los alrededores. Se han hecho reclamos a las autoridades respectivas del Ministerio del Medio Ambiente (MARN) en años anteriores. El Ministerio está en pláticas con la planta textil, quien debe cumplir con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Por otra parte, la compañía propietaria de la planta textil adquirió compromisos contractuales con clientes en el extranjero, los cuales la obligan a cumplir con estándares de tipo ambiental.

Todo lo anterior hace necesaria la implementación de un sistema de tratamiento de efluentes, el cual permitiría la descarga apropiada de los mismos según la legislación vigente y el cumplimiento de los estándares ambientales que

exige el mercado internacional. Asimismo, se puede iniciar un programa de reutilización parcial del agua tratada, con lo cual se reduciría en alguna medida la demanda de agua fresca.

Esta planta textil genera alrededor de 488 m<sup>3</sup>/día de efluentes. Con los contratos recientemente adquiridos trabajarán a su más alta capacidad, por lo que se proyecta generar un promedio de 1,088 m<sup>3</sup>/día en los próximos años.

## **IV. OBJETIVOS**

### **A. GENERAL**

Diseñar un tratamiento para los efluentes de una planta textil de manera que se puedan descartar cumpliendo con la reglamentación local y se cumpla con compromisos contractuales contraídos de tipo ambiental.

### **B. ESPECÍFICOS**

1. Establecer los parámetros y valores de salida con los cuales se debe cumplir.
2. Segregar las corrientes en el sistema de drenajes de acuerdo con su naturaleza previo a caracterizar los efluentes.
3. Caracterizar los efluentes de las corrientes individuales que requieren de tratamiento.
4. Identificar el terreno disponible para la construcción del sistema de tratamiento.
5. Establecer las posibilidades de reutilización de los efluentes tratados.
6. Proponer el tratamiento diseñado a través de un diagrama de flujo del sistema con base en los procesos que lo conforman, los equipos necesarios para el mismo y la instrumentación y control.
7. Presentar información conceptual para la obra civil.
8. Determinar la inversión y el costo de operación del proyecto.

## **V. PROBLEMA A RESOLVER**

Los efluentes de la planta textil en cuestión se descargan directamente al alcantarillado público, portando sustancias a niveles de carga que rebasan los límites permitidos por la legislación vigente en Guatemala.

Asimismo, rebasa los límites establecidos en un contrato que la planta textil adquirió con una empresa extranjera.

Se tienen confrontaciones con el vecindario por haber descargado efluentes que llevan color.

## VI. METODOLOGÍA

### A. Determinación de parámetros

1. Parámetros de interés para la caracterización de efluentes de la industria textil	Investigación en Internet Consulta Cámara de Industria, CPL Investigación bibliográfica
2. Reglamentación para la industria textil, año 2006, año 2007 y a futuro	Investigación en Internet Consulta MARN Consulta Cámara de Industria, CPL Investigación bibliográfica
3. Otras referencias	Investigación en Internet Investigación bibliográfica Entrevista con Cámara de Industria, CPL Entrevista con gerente de la planta textil Documentación contractual con empresas extranjeras

### B. Caracterización.

1. Condiciones del proyecto	Cuestionario Observación de campo Entrevista a encargado Recolección de documentos
2. Drenajes	Observación de campo Entrevista a encargado Recolección de documentos
3. Efluentes	Investigación bibliográfica Entrevista a encargado Recolección de documentos Trabajo de campo Trabajo de laboratorio Análisis estadístico
4. Terreno disponible	Observación de campo Entrevista a encargado Recolección de documentos
5. Potencial para reutilización de efluentes tratados	Observación de campo Entrevista a encargado Investigación bibliográfica Examen crítico

## C. Diseño

1. Evaluación de tecnologías	Investigación bibliográfica y en internet Consulta a fabricantes Examen crítico
2. Diagrama de flujo del proceso	Examen crítico Determinación de sistemas principales y auxiliares Realización de balance de masa y energía
3. Diseño, dimensionamiento y selección de equipos	Investigación bibliográfica y en internet Consulta a fabricantes Examen crítico
4. Diseño conceptual de la obra civil	Examen crítico Consulta a fabricantes Realización del plano
5. Determinación de instrumentación y control.	Consulta a fabricantes Examen crítico Selección del equipo

## D. Evaluación económica

1. Estimación de la inversión inicial.	Examen crítico Cotización con fabricantes y proveedores Consulta de índices Selección del equipo a adquirir
2. Estimación de costos de operación.	Examen crítico Consulta a proveedores Consulta de índices

## VII. RESULTADOS

### A. Parámetros y valores de salida seleccionados.

Con base en los resultados de la caracterización de los efluentes y en los objetivos del proyecto se determinaron los parámetros y sus valores de salida para el diseño del tratamiento. Se puede consultar estos resultados en el Anexo XII.B (p.129) y la legislación en vigor en el apéndice XII.A (p.121), así como otras referencias en los antecedentes (p. 32 y 33).

Tabla VII-1. Parámetros seleccionados y valores de salida del tratamiento.

PARÁMETROS	UNIDADES	SALIDA
Temperatura	°C	< 37
pH	-	6-9
DBO <sub>5</sub>	mg/L	30
DQO	mg/L	120
SST	mg/L	30
Color	unidades Pt-Co	1,500

### B. Caracterización

#### 1. Información general

##### a. Tipo de efluentes:

PROCESOS PRINCIPALES: tejido de punto, teñido, hidroextracción,

secado.

NECESIDADES DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES, ESPECIFICAR SI INCLUYE AGUAS NEGRAS: efluentes de procesos únicamente.

**b. Características del lugar:**

LOCALIDAD: perímetro urbano de la Ciudad de Guatemala.

ALTITUD: 1,458 metros sobre el nivel del mar

**c. Disponibilidad, calidad y manejo del agua:**

FUENTE UTILIZADA: Pozos propios.

COSTO DEL AGUA: Q 4.75/m<sup>3</sup> (\$0.62/m<sup>3</sup>)

CONSUMO DIARIO PREVISTO: 1,088 m<sup>3</sup>

**d. Electricidad:**

Frecuencia: 60 Hz

Baja tensión: 220 V y 440 V

Costo de energía: Q 0.92/kWh (\$0.12/m<sup>3</sup>)

**e. Legislación sobre aguas residuales que aplica:**

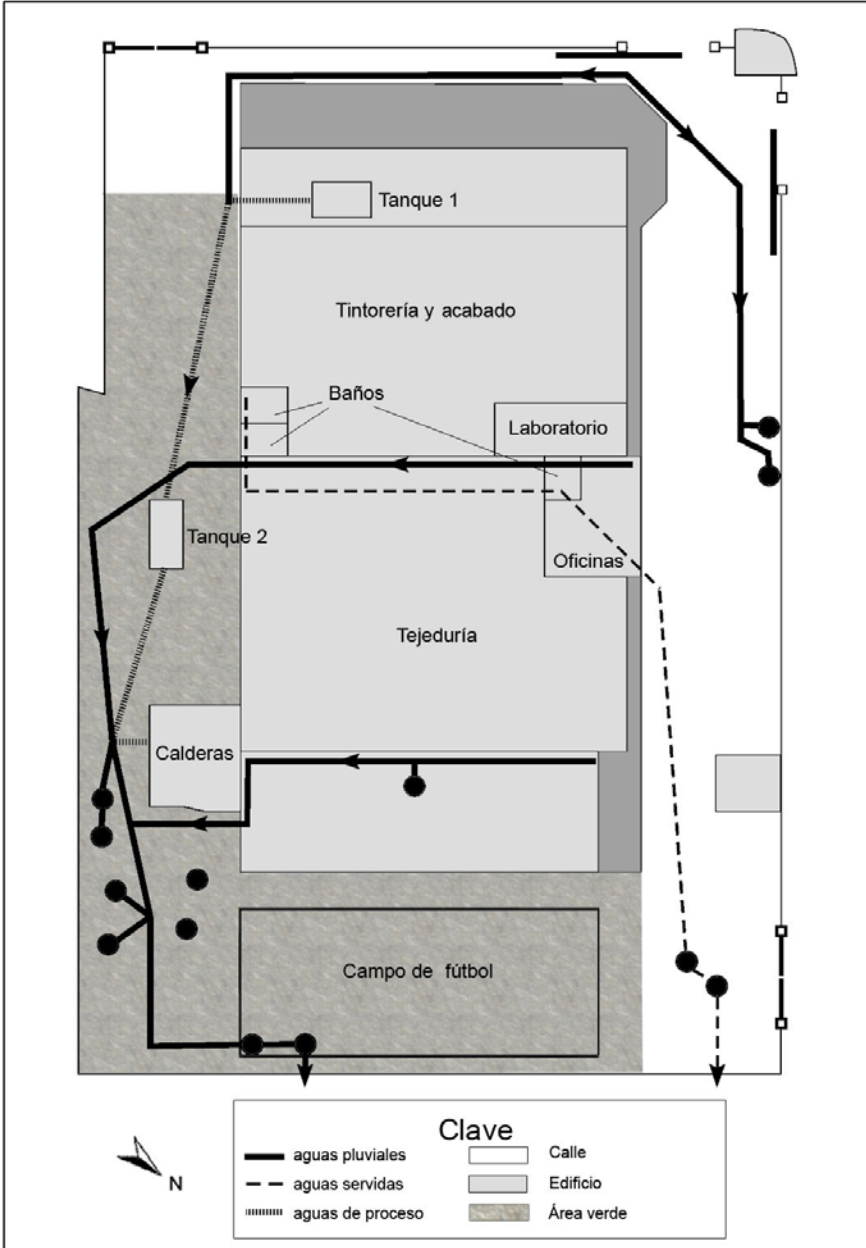
Acuerdo Gubernativo 236-2006 (ver anexo XII.A, p.121).

**2. Características físicas del sistema de drenajes**

**a. Verificación del sistema físico de drenajes.** Ver figura VII-1.

**b. Condiciones de las instalaciones.** Se verificó que la infraestructura actual de drenajes en el área de tintorería se encontraba en buenas condiciones. Se compone de canales de desfogue que pasan por debajo de cada máquina. En los canales donde evacuan el agua las máquinas se encuentran trampas de

Figura VII-1. Esquema de distribución de efluentes de procesos, sanitarios y pluviales actuales.



sólidos. Estas son cajas de 0.80 m x 0.60 m con 1.00 m de profundidad. En estas cajas quedan atrapados los sólidos más pesados. Los mismos son

removidos y trasladados a un depósito donde son recolectados por un vehículo de basura.

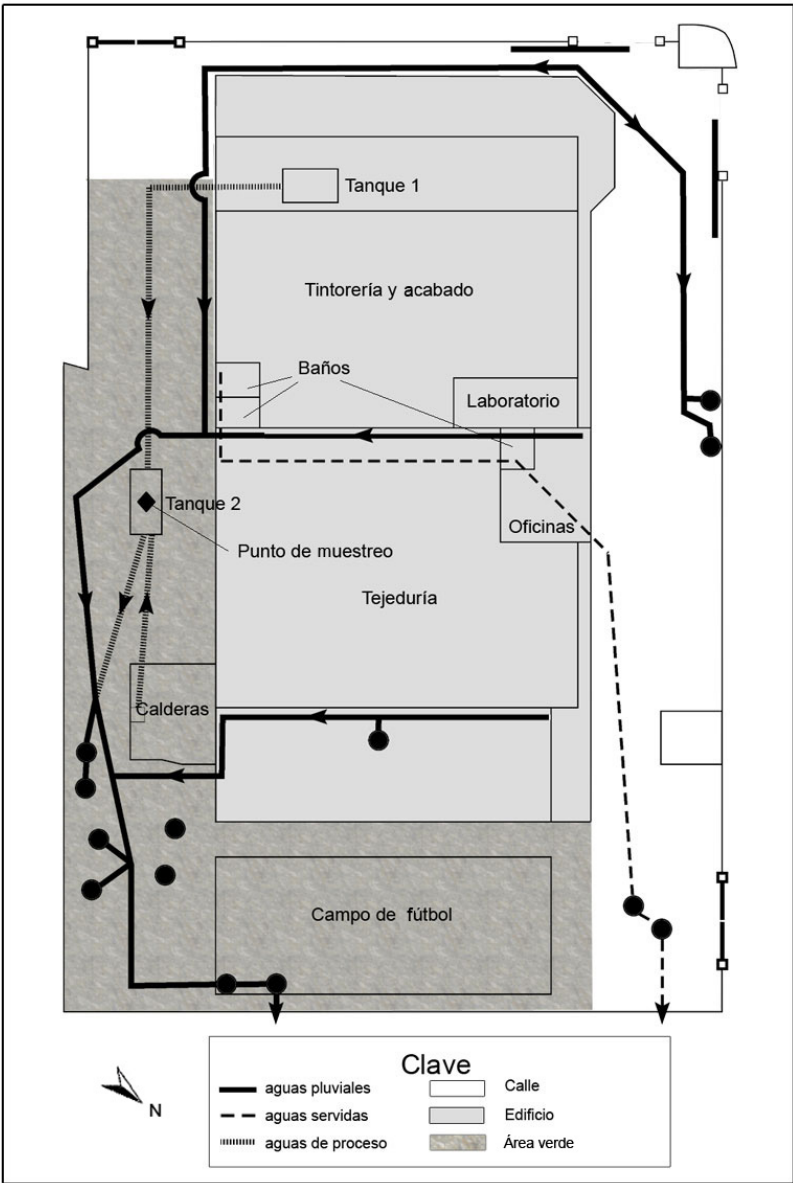
**c. Interconexiones.** Las aguas sanitarias están separadas de otros efluentes por todo su recorrido dentro de la planta. Van dirigidas independientemente a una fosa séptica en un extremo del terreno.

Las aguas de proceso se mezclan al final de los canales de desfogue y se dirigen al tanque 1. Luego son conducidas hacia el tanque 2, de donde salen y se unen a las aguas de calderas y a las aguas pluviales, produciendo una interconexión que debe eliminarse entre aguas pluviales y de procesos.

**d. Identificación de todas las fuentes de aguas de procesos.** Las aguas de procesos provienen de los procesos de teñido e hidroextracción. Estos procesos se dan en el área de tintorería y secado, en donde se cuenta con los canales de desfogue anteriormente descritos para drenar. Existe una pequeña cantidad de aguas residuales provenientes del laboratorio, de calidad similar a las aguas de tintorería, las cuales se unen con las aguas de tintorería a través del sistema de canales en el tanque 1. Adicionalmente se generan aguas residuales en el cuarto de calderas, las cuales posteriormente se unen a la corriente de efluentes de procesos que proviene de la tintorería.

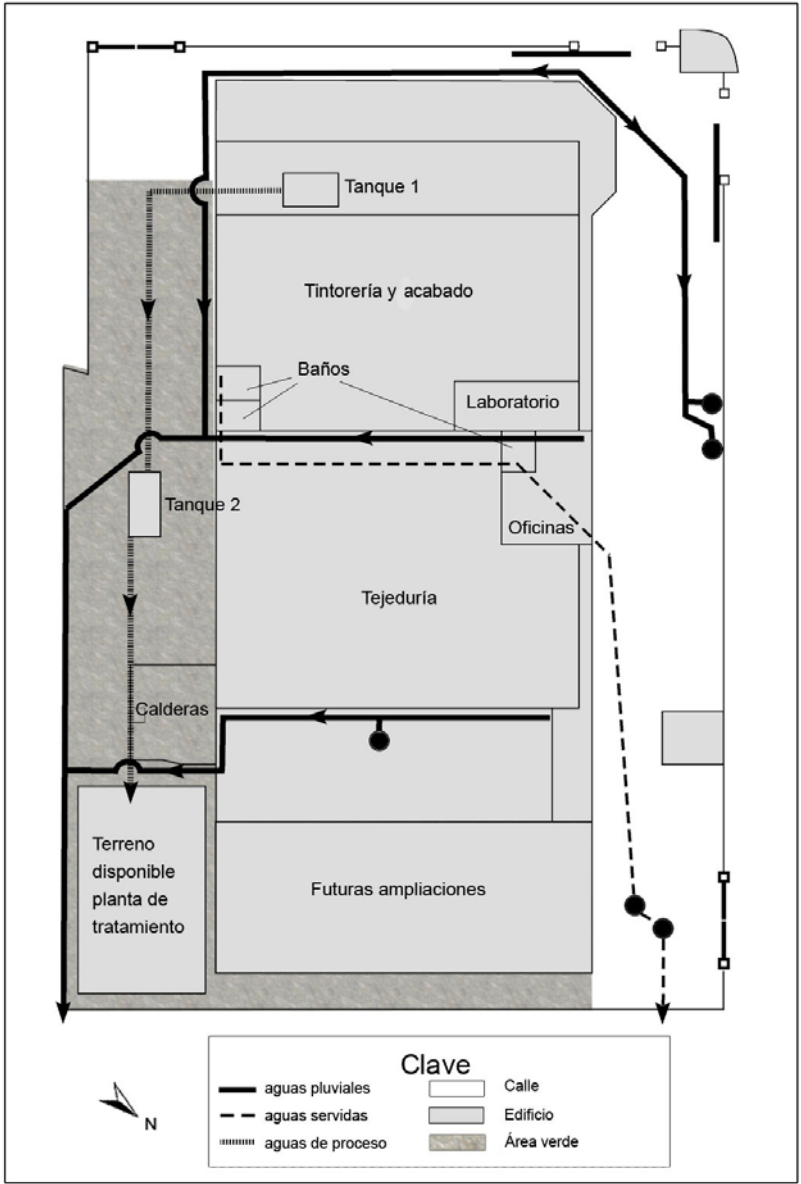
**e. Puntos de muestreo.** Se escogió un único punto de muestreo, el cual está identificado en la Figura VII-2. Para conducir el programa de muestreo se unificaron las aguas de procesos y las de calderas en el tanque 2, y se segregaron de las aguas pluviales.

Figura VII-2. Segregación y unión de efluentes para muestreo de aguas de procesos.



Una vez realizada la segregación descrita, el tanque 2 se convirtió en el único punto de fácil acceso a la corriente segregada que contiene la totalidad de los efluentes de proceso, y por ello el único punto de muestreo necesario.

Figura VII-3. Efluentes de procesos, sanitarios y pluviales finales y ubicación de terreno disponible para la construcción del tratamiento de efluentes.



En la figura VII-3 se muestra el diagrama de flujo de efluentes final, luego de segregar efluentes de procesos y aguas pluviales, así como de dirigir los efluentes de procesos hacia la planta de tratamiento.

Asimismo, se observa el terreno disponible para la construcción de la planta de tratamiento. Se habla más específicamente del terreno en el punto VII.B.4 (p.68).

### **3. Corrientes individuales de efluentes**

#### **a. Calidad del agua.** No existe información previa disponible.

Se implementó un programa de muestreo y análisis de laboratorio, el cual se llevó dentro de un período de cuatro meses. En el anexo XII.B (p.129) se encuentran los datos y análisis estadístico de la calidad del agua. Los resultados se muestran en la Tabla VII-2.

#### **b. Características de flujo.** No se contó con registros anteriores.

Se implementó un programa de medición de consumo de agua, el cual se llevó a cabo por un período de cuatro meses. En el Anexo XII.C (p.131) se encuentran los datos de medición, análisis y cálculos de caudales. Los resultados se muestran en la Tabla VII-3.

Tabla VII-2. Valores de entrada al tratamiento de efluentes para los parámetros de diseño.

PARÁMETROS	UNIDADES	ENTRADA
Temperatura	°C	44
pH		10
DBO <sub>5</sub>	mg/L	250
DQO	mg/L	1,000
SST	mg/L	110
Color	unidades Pt-Co	4,312

Tabla VII-3. Caudales

Caudales	Unidades	Valor
Caudal promedio	m <sup>3</sup> /d	488
Caudal diario máximo	m <sup>3</sup> /d	1,088
Caudal diario mínimo	m <sup>3</sup> /d	0

MÉTODO DE DESCARGA: Directa al alcantarillado público, sin tratamiento.

**4. Terreno disponible.** La ubicación del terreno disponible para la construcción de la planta se muestra en la figura VII-3.

DIMENSIONES- 12 m x 32 m de terreno para uso exclusivo de la planta de tratamiento, es decir 384 m<sup>2</sup>.

Adicionalmente se cuenta con 20 m x 12 m, o sea 240 m<sup>2</sup> de terreno que se puede utilizar para construir por abajo del nivel de la tierra, contiguo al terreno de 384 m<sup>2</sup>, en el área destinada a futuras ampliaciones.

TOPOGRAFÍA- El terreno es prácticamente plano y existe un diferencial de altura de aproximadamente 2.5 m desde la salida de los efluentes de procesos hacia esta área.

#### **5. Potencial para reutilización o reciclaje de agua tratada:**

Riego de jardines

Lavado de pisos

Reutilización en el proceso para teñido de color negro

### **C. TRATAMIENTO DE EFLUENTES**

**1. Diagrama de flujo.** La figura VII-4 muestra el diagrama de flujo del tratamiento. El plano correspondiente se encuentra en la figura VII-5.

Las operaciones y procesos unitarios seleccionados para conformar el tratamiento de efluentes son los siguientes:

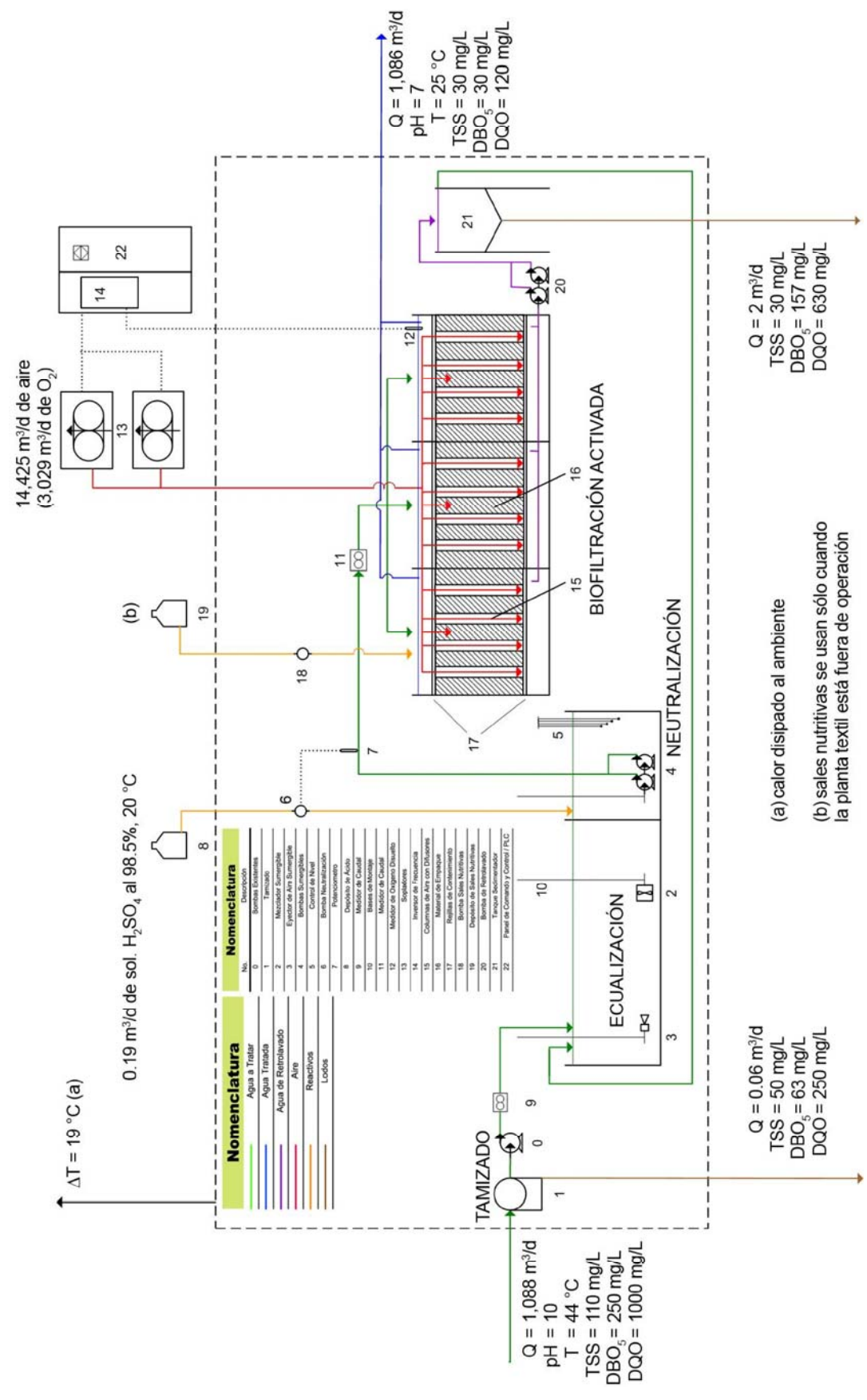
- Tamizado fino
- Ecuación
- Neutralización
- Biofiltración activada

## 2. Descripción del Sistema

**a. Tamizado fino.** Su finalidad es la de separar tanto los sólidos gruesos como parte de los sólidos suspendidos finos que se encuentran en los efluentes, incluyendo todas las partículas superiores en tamaño a la apertura de los orificios, los cuales se fijan entre un rango de 0.25 y 2.5 mm. Se logra la protección de los equipos de bombeo en las operaciones subsiguientes y se mejora la calidad de los efluentes en términos de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y color. La temperatura empieza también a descender a medida que los efluentes pasan a través de esta etapa.

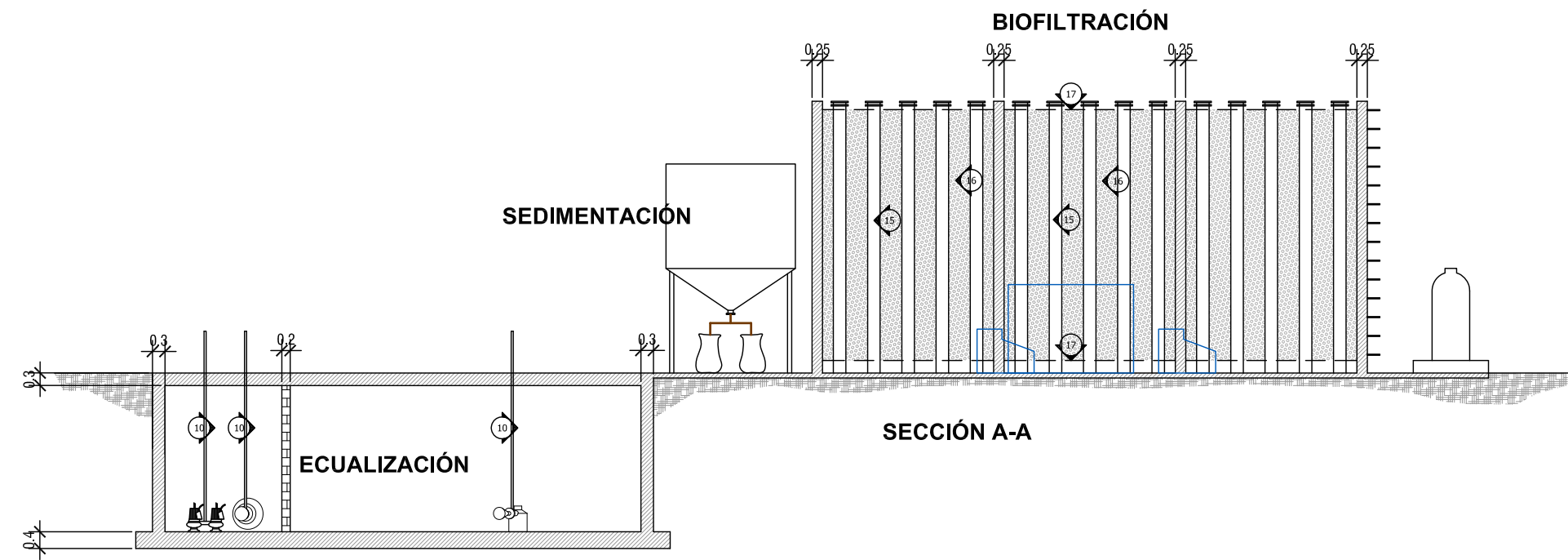
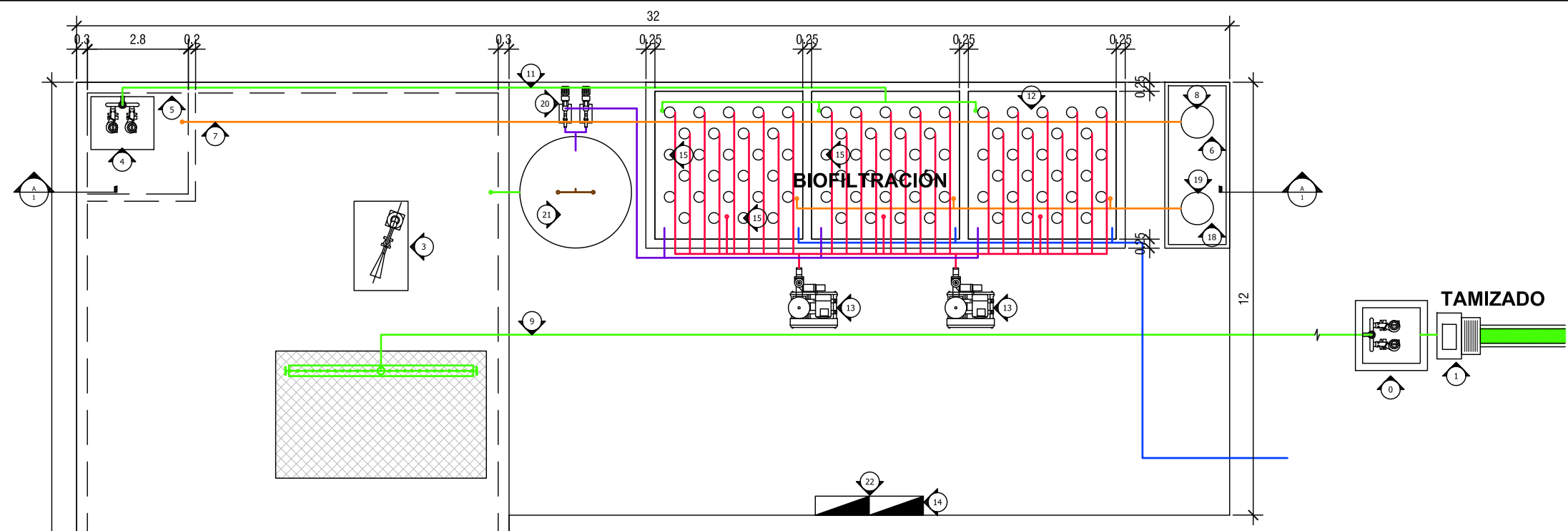
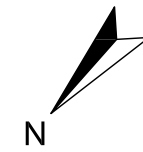
**b. Ecuación.** Su finalidad es homogenizar los efluentes, tanto en términos de carga hidráulica como carga orgánica, para lograr mejores resultados en la etapa de biofiltración. Se mezcla los efluentes de un día completo de operaciones de forma completa y continua utilizando en evector de aire y un mezclador ubicados en extremos opuestos del tanque, manteniendo los sólidos en suspensión y condiciones aeróbicas.

Figura VII-4. Diagrama de flujo del tratamiento de efluentes



### Nomenclatura

No.	Descripción
0	Bombas centrífugas existentes
1	Tamizado
2	Mezclador sumergible
3	Eyector de aire sumergible
4	Bombas centrífugas sumergibles
5	Control de nivel
6	Bomba dosificadora para neutralización
7	Potenciometro
8	Depósito de ácido
9	Medidor de caudal
10	Bases de montaje
11	Medidor de caudal
12	Medidor de oxígeno disuelto
13	Sopladores
14	Inversor de frecuencia
15	Columnas de aire con difusores
16	Material de empaque
17	Rejillas de contenimiento
18	Bomba dosificadora de sales nutritivas
19	Depósito de sales nutritivas
20	Bomba de retrolavado
21	Tanque sedimentador
22	Panel de comando y control / PLC



Nomenclatura	
<span style="color: green;">—</span>	Agua a tratar
<span style="color: blue;">—</span>	Agua tratada
<span style="color: purple;">—</span>	Agua de retrolavado
<span style="color: red;">—</span>	Aire
<span style="color: orange;">—</span>	Reactivos
<span style="color: brown;">—</span>	Lodos

PROYECTO:		
TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE UNA PLANTA TEXTIL		
CONTENIDO:		
ESQUEMA PLANTA / PERFIL		
CÓDIGO HOJA:	CATEGORÍA:	ESCALA:
1	ÚNICA	1:150
FIGURA No.	DIBUJO:	
VII - 5	CYNTHIA MOLINA	
CAUDAL:	FECHA:	
1088 m3/d	Agosto 07 de 2007	

PLANTA

SECCIÓN A-A

En esta etapa se mejora la calidad de los efluentes al lograrse la reducción de hasta un 50% de la DBO<sub>5</sub> y DQO, hasta un 45% de los SST y hasta un 25% del color. La temperatura de disipa al llevarse a cabo el mezclado y aireación, al darse el contacto de los efluentes con la temperatura ambiente, y posterior a las 24 horas de retención, esta se encuentra a niveles adecuados para la introducción al tratamiento biológico, cerca de los 25 °C.

Los datos de la equalización se pueden ver en la tabla VII-4 y los cálculos respectivos en el Anexo XII.D (p.134).

Tabla VII.4. Datos de la equalización.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
TIEMPO DE RETENCIÓN	24 horas
UBICACIÓN	previo al tratamiento biológico
FLUJO	en línea
TIPO DE TANQUE	mezclado completo y flujo continuo
MEZCLADO	turbina sumergible horizontal
AIREACIÓN	eyector de aire sumergible
GEOMETRÍA	tanque rectangular
Ancho	11.4 m
Largo	31.4 m
Altura	3.5 m
NIVEL MÁXIMO DE AGUA	3.04 m
VOLUMEN MÁXIMO RETENIDO	1,088 m <sup>3</sup>
MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN	obra civil de tipo asísmico hierro y concreto

**c. Neutralización.** Se lleva a cabo la neutralización de los efluentes para que estos ingresen de la forma más constante posible al tratamiento biológico, con un valor de pH entre 7 y 8. Se construye un apartado en un extremo del tanque de ecualización, opuesto al extremo de ingreso. Dentro de este se encuentran las bombas de elevación y una sonda que detecta el valor de pH de los efluentes. A través de un sistema automatizado de dosificación se aplica la cantidad adecuada de ácido para neutralizarlos y luego estos son bombeados hacia la etapa de biofiltración.

Esta etapa corrige el valor de pH y reduce también en alguna medida el color de los efluentes.

**d. Biofiltración activada.** Su finalidad es la de reducir la carga orgánica en los efluentes a través del contacto con microorganismos, capaces de transformarla en presencia de oxígeno, utilizando el menor espacio posible. Para ello se usa este particular diseño patentado, el cual consiste en introducir los efluentes de forma descendente a un lecho empacado con discos plásticos especialmente diseñados para soportar una película de biomasa, la cual debe entrar en contacto con el líquido y con el oxígeno proveniente de columnas de aire distribuidas por el lecho empacado. El sistema de aireación proporciona el oxígeno y a la vez produce un movimiento de circulación de los efluentes ya oxigenados, de tal manera que estos atraviesen muchísimas veces el lecho empacado, previo a salir de esta etapa.

Se optó por tener tres módulos de biofiltración. El diseño de este biofiltro permite prescindir de un decantador secundario. Se producen excesos mínimos de lodos, los cuales son descartados diariamente del sistema luego de retrolavar un módulo a la vez. Estos lodos son enviados a un tanque separador y espesador, del cual se retiran para ser deshidratados.

Tabla VII-5. Datos de la biofiltración activada.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
TIPO	Filtración biológica activada
TIEMPO DE RETENCIÓN	8 a 9 horas
UBICACIÓN	Posterior a la ecualización/neutralización
TIPO DE TANQUE	lecho empacado
GEOMETRÍA	Tanque prisma rectangular
ALTURA	6 m
ÁREA TOTAL	63 m <sup>2</sup>
VOLUMEN DE LECHO EMPACADO	378 m <sup>3</sup>
CANTIDAD DE MÓDULOS	3
ÁREA DE SUPERFICIE POR MÓDULO	21.16 m <sup>2</sup> (4.6 m x 4.6 m)
CARGA ORGÁNICA	0.36 kg/m <sup>3</sup> ·día
CARGA HIDRÁULICA	17.26 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·día
RETROLAVADO	por aireación
CLARIFICACIÓN	Incorporada en el biofiltro
MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN	obra civil de tipo asísmico hierro y concreto

Se logra la reducción de la DBO<sub>5</sub> y DQO por metabolización y la reducción de los SST y el color por medio de adsorción a los lodos, hasta alcanzar niveles de descarga aceptables. El color se reduce hasta en un 50%.

La tabla VII-5 muestra los datos de la biofiltración activada y la en la tabla VII-6 hay un resumen de los parámetros que son afectados en cada una de las operaciones y procesos que conforman el tratamiento de efluentes. En el anexo XII.D (p.134) están los cálculos de la biofiltración activada.

Tabla VII-6. Parámetros afectados en cada etapa del tratamiento.

Parámetro	Tamizado	Ecuilización	Neutralización	Biofiltración
SST	✓			✓
DBO	✓	✓		✓
DQO	✓	✓		✓
T	✓	✓		
pH			✓	
Color	✓	✓	✓	✓

**3. Lista de equipos.** En la figura VII-7 se muestra el listado de equipos para cada etapa de tratamiento, cuántas unidades hay de cada uno y la descripción de los mismos. En el anexo XII.E (p.150) se encuentran los folletos y hojas técnicas de los equipos principales.

Tabla VII-7. Listado de equipos, ubicación, unidades y descripción.

No. de ref.	UBICACIÓN	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
1	TAMIZADO	1	<b>Rejilla rotativa autolimpiante COSME R20 (Italia)</b> material: acero inoxidable AISI 304 orificios: 0.25 a 2.5 mm caudal: 1100 m <sup>3</sup> /d potencia instalada: 0.18 kW alimentación: 440V, trifásico, 60Hz
2	ECUALIZACIÓN	1	<b>Mezclador sumergible con turbina horizontal FLYGT ITT modelo 4640 (Suecia)</b> material: acero inoxidable AISI 304 Diámetro: 390 Potencia instalada: 2.5 kW alimentación: 440 V, trifásico, 60 Hz
3	ECUALIZACIÓN	1	<b>Eyector de aire sumergible FLYGT ITT modelo JA 112-X6-3085-462 (Suecia)</b> material: acero inoxidable AISI 304 oxígeno transferido: 4.9 lb. O <sub>2</sub> /h velocidad de rotación: 1700 rpm potencia instalada: 2.9 kW alimentación: 440 V, trifásico, 60 Hz
4	ECUALIZACIÓN	2	<b>Bomba de levantamiento a biofiltración, centrífuga sumergible FLYGT ITT modelo CP 3068 HT</b> material: acero inoxidable AISI 304 caudal: 1100 m <sup>3</sup> /d elevación: 10 m potencia instalada: 2.8 kW alimentación: 440 V, trifásico, 60 Hz
5	ECUALIZACIÓN	4	<b>Controles de nivel FLYGT ITT</b> Tipo: sumergible, medición por flotación Resistente a la humedad y condensación Autolimpiante 10 a 250 V
6	ECUALIZACIÓN	1	<b>Bomba dosificadora neutralización electromecánica Dosapro-Milton Roy</b> material: acero inoxidable AISI 304 caudal: 50 L/h elevación: 0 m potencia instalada: 0.2 kW alimentación: 220 V, trifásico, 60 Hz

Tabla VII-7. (continuación)

No. de ref.	UBICACIÓN	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
7	ECUALIZACIÓN	1	<b>Potenciómetro</b> electrodo de pH y de referencia relé configurado para regular valor límite interfaz serial para integración con el sistema de control por PLC. rango de medición: -1 a 14 pH
8	ECUALIZACIÓN	1	<b>Depósito para neutralizante</b> volumen: 1,000 L material: polietileno de alta densidad geometría: tanque cilíndrico
9	ECUALIZACIÓN	1	<b>Medidor de caudal Euromag MC 106</b> Tipo: medición electromagnética diámetro: DN 200 salida: 4.20 mA protección: IP54 visualización: local
10	ECUALIZACIÓN	3	<b>Bases de montaje para equipos sumergibles FLYGT ITT</b> Con sistema de grúa  material:acero inoxidable AISI 304
11	BIOFILTRACIÓN	1	<b>Medidor de caudal Euromag MC 106</b> Tipo: medición electromagnética diámetro: DN 200 salida: 4.20 mA protección: IP54 visualización: local
12	BIOFILTRACIÓN	1	<b>Medidor de oxígeno disuelto</b> Tipo: portátil, de baterías rango de medición: 0-10 ppm O <sub>2</sub> visualización: local
13	BIOFILTRACIÓN	2	<b>Sopladores ROBUSCHI (Italia)</b> Tipo: volumétrico caudal: 3,000 m <sup>3</sup> /h elevación: 6 m velocidad de rotación: 3,000 rpm potencia instalada: 75 kW alimentación: 440 V, trifásico, 60 Hz

Tabla VII-7. (continuación)

No. de ref.	UBICACIÓN	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
14	BIOFILTRACIÓN	2	<p><b>Inversor de frecuencia 8220 LENZE</b>            Tipo: digital, control desde PLC            Software: Global Drive Control            Rango: de 15 a 90 kW</p>
15	BIOFILTRACIÓN	27	<p><b>Columna de aire con difusores</b>            27 columnas de aire (air lift) para cada módulo de biofiltración            diámetro de cada columna: 440 mm            Número de difusores pos columna: 3</p>
16	BIOFILTRACIÓN	378 m <sup>3</sup>	<p><b>Material de empaque patentado</b>            126 m<sup>3</sup> para cada módulo de biofiltración (volumen de tanque vacío)            material: poliuretano</p>
17	BIOFILTRACIÓN	6	<p><b>Rejillas de contenimiento</b>            material: acero inoxidable AISI 304            1 superior y 1 inferior para cada módulo de biofiltración, 4 x 4 m</p>
18	BIOFILTRACIÓN	1	<p><b>Bomba dosificadora sales nutritivas electromecánica Dosapro-Milton Roy</b>            material: acero inoxidable AISI 304            caudal: 50 L/h            elevación: 6 m            potencia instalada: 0.2 kW            alimentación: 220V</p>
19	BIOFILTRACIÓN	1	<p><b>Depósito para sales nutritivas</b>            volumen: 1,000 L            material: polietileno de alta densidad            geometría: tanque cilíndrico</p>

Tabla VII-7. (continuación)

No. De ref.	UBICACIÓN	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
20	SEDIMENTACIÓN	2	<b>Bomba de levantamiento a sedimentador externa GOULDS ITT 3196 STX 1.5-6</b> material:acero inoxidable AISI 304 caudal:20 m <sup>3</sup> /h elevación:0.8 m potencia instalada: 1kW Alimentación: 440 V Tipo: centrífuga, para líquidos que contienen sólidos y fibras o lodos
21	SEDIMENTACIÓN	1	<b>Tanque sedimentador</b> material: fibra de vidrio Geometría: tanque cilíndrico con fondo Cónico Altura: 5 m Volumen: 31.5 m
22	SERVICIOS	1	<b>Panel de comando y control SIEMENS UNIOP EK-56, con PLC Simatic S7-300</b> Con portafusibles y accesorios eléctricos Alimentación para PLC Teclado y pantalla Armario 1.6 m x 0.6 m Ventilador Software e interfases
23	SERVICIOS	1	<b>Accesorios eléctricos e hidráulicos</b> TUBERÍA Para agua y aire: acero inoxidable AISI 304 Para reactivos: PVC VÁLVULAS de mariposa: fundición en AISI 316 de compuerta: fundición en AISI 316

**4. Especificaciones para la obra civil.** La Figura VII-5 muestra el plano del tratamiento de efluentes. Se puede ver aquí las estructuras civiles que se requieren, incluyendo la siguiente información:

- Ubicación de los equipos
- Estructuras civiles con sus dimensiones y ubicación.
- Grosor de paredes

## D. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

**1. Costo de inversión.** Se determinó el costo de la inversión para el tratamiento propuesto. La obra civil y asistencia local se agrupan en la tabla VII-8. La inversión en equipo electromecánico, transportes y seguros, así como la ingeniería y asistencia para montaje y puesta en marcha se agrupan en la tabla VII-9, relacionando todo lo implicado en gastos de importación.

La inversión total del proyecto asciende a Q 3,109,407.98.

En el Anexo XII.F (p. 163) se encuentran los cálculos respectivos.

Tabla VII-8. Costo de obra civil y trabajos locales.

DESCRIPCIÓN	Costo Q
Obra civil, excavación y movimientos de tierra	1,298,256.60
Conexión a la red eléctrica, incluido	
Conexión a la red hidráulica, incluido	
Manipulación de equipos dentro de la planta	0.00
ayudante conexiones eléctricas	3,000.00
ayudante conexiones hidráulicas	3,000.00
ayudantes montaje en general	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>1,304,256.60</b>

Tabla VII-9. Costo de equipo electromecánico. \*

Ref.	SECCIÓN	Cant.	DESCRIPCIÓN	costo USD	costo Q
1	TAMIZADO	1	Rejilla Rotativa Autolimpiante	3,745.00	28,649.25
2	ECUALIZACIÓN	1	Mezclador sumergible	6,250.00	47,812.50
3		1	Eyector de aire sumergible	5,800.00	44,370.00
4		2	Bomba de levantamiento a biofiltración	6,250.00	47,812.50
5		4	Controles de nivel	1,000.00	7,650.00
6		1	Bomba dosificadora neutralización	937.50	7,171.88
7		1	Potenciómetro	937.50	7,171.88
8		1	Depósito para neutralizante	200.00	1,530.00
9		1	Medidor de caudal de inducción	2,080.00	15,912.00
10		3	Bases de montaje para equipos	1,500.00	11,475.00
11		BIOFILTRACIÓN	1	Medidor de caudal de inducción	2,080.00
12	1		Medidor de oxígeno disuelto	200.00	1,530.00
13	2		Sopladores	45,000.00	344,250.00
14	1		Inversor de frecuencia	8,450.00	64,642.50
15	81		Columnas de aire con difusores	57,000.00	436,050.00
16	378 m <sup>3</sup>		Material de empaque patentado	35,000.00	267,750.00
17	6		Rejillas de contenimiento	5,000.00	38,250.00
18	1		Bomba dosificadora sales nutritivas	937.50	7,171.88
19	1		Depósito para sales	200.00	1,530.00
20	SEDIMENTACIÓN	2	Bomba de levantamiento a sedimentador	4,800.00	36,720.00
21		1	Tanque sedimentador	3,000.00	22,950.00
22	SERVICIOS		Panel de comando y control	12,000.00	91,800.00
23			Accesorios eléctricos e hidráulicos	15,000.00	114,750.00
	SUBTOTAL			217,367.50	1,662,861.38
	TRANSPORTES Y SEGUROS		De Europa a puerto guatemalteco	15,000.00	114,750.00
			De puerto guatemalteco a planta del cliente	3,600.00	27,540.00
	INGENIERÍA		INGENIERÍA (Incluida en el desglose de los equipos)	-	-
			Técnico durante dos semanas para montaje y puesta en marcha	-	-
	TOTAL			235,967.50	1,805,151.38

\*Tasa de cambio: USD 1.00 = Q 7.65

**2. Costo de operación.** Asimismo, se determinó el costo mensual de operación de la planta de tratamiento de efluentes, presentado en la tabla VII-10. Éste asciende a Q26,801.22 mensuales. En el anexo XII.F (p.163) están los cálculos.

Tabla VII-10. Costo mensual de operación.

<b>COSTO MENSUAL DE OPERACIÓN</b>		<b>Q</b>
Energía (contrato factor de potencia)		14,301.22
Insumos		
ácido sulfúrico		9,000.00
sales nutritivas		500.00
Personal de mantenimiento		500.00
Análisis de laboratorio		2,500.00
<b>TOTAL</b>		<b>26,801.22</b>

## VIII. DISCUSIÓN

### A. Parámetros y valores de salida

Se determinó que el tratamiento de efluentes debía ser diseñado para disminuir los niveles de los siguientes parámetros: DBO, DQO, temperatura, pH, SST y color. Se trata de parámetros ampliamente utilizados en el tema de control de efluentes, ya que se considera que son alterados considerablemente por los procesos textiles y de no ser tratados tienen un efecto importante en los cuerpos receptores. Para cada parámetro se escogió el valor de concentración de descarga permitido más estricto, ya sea de la tabla de la empresa extranjera o del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Con relación al pH, temperatura, sólidos suspendidos totales y DBO<sub>5</sub>, la empresa extranjera requiere valores de salida precisos más estrictos que los exigidos por la ley de Guatemala hasta el año 2024. Por ello se tomaron los valores indicados por la empresa extranjera como los valores de salida del tratamiento. En cuanto al color, se tomó el valor que exige el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para el año 2007, el cual es aceptable hasta el año 2011, ya que la empresa extranjera únicamente solicitó monitorear y reportar los valores emitidos.

A pesar de no estar especificado a la fecha en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y que la empresa extranjera únicamente solicitó monitorear y reportar los valores emitidos, se consideró importante incluir a la DQO como uno de los parámetros del estudio. Este es un parámetro ampliamente utilizado para analizar rendimientos de tratamiento de aguas y en muchos casos, debido a las desventajas que presentan los análisis de  $DBO_5$ , para monitoreo rutinario se realizan análisis de DQO y la  $DBO_5$  es solamente estimada utilizando el factor de correlación que se conoce para la planta en estudio. Para establecer el valor de DQO máximo de salida se utilizó la correlación conocida para estos efluentes y el valor solicitado por la empresa extranjera para la  $DBO_5$ . En el Anexo XII.A (p.121) se presenta el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y en el Anexo XII.B (p.134) se muestran los resultados de laboratorio y análisis estadístico de los mismos para los efluentes del proceso.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 presenta una lista de parámetros y sus valores permitidos, los cuales deben respetarse a partir de mayo de 2007. Para la planta textil en estudio se hizo referencia a lo indicado para aguas residuales que descargan al alcantarillado público. En el Acuerdo 236-2006 se presentan parámetros adicionales a los seleccionados para el diseño del tratamiento. La planta textil quedó exenta de los coliformes fecales, debido a la naturaleza de las actividades productivas de la planta y a que las aguas sanitarias están segregadas. El resto de parámetros no fueron tomados en cuenta para el diseño del tratamiento por no encontrarse en la tabla de la empresa extranjera y por

encontrarse dentro de los límites permitidos hasta el año 2011 según el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Sin embargo, varios de ellos serán reducidos al pasar por las etapas primarias y tratamiento biológico. En el caso de los metales se han observado reducciones de entre 50 % a 98 % al pasar por procesos biológicos, principalmente por adsorción y la formación de complejos con los microorganismos (Metcalf, 2003:644). Tomando en cuenta el origen de los efluentes y los valores permitidos que presenta el Acuerdo 236-2006, es muy posible que el tratamiento propuesto en este trabajo sea suficiente y no se requiera de ningún proceso adicional para cumplir con la reglamentación guatemalteca hasta el año 2024.

En la tabla VIII-1 se muestra una comparación de los valores iniciales y finales para cada parámetro, los requerimientos del acuerdo gubernativo 236-2006 y de la empresa extranjera. Los valores finales cumplen con ambos requerimientos.

Tabla VIII-1. Comparación de valores para cada parámetro seleccionado.

<b>parámetro</b>	<b>condiciones iniciales</b>	<b>condiciones finales</b>	<b>acuerdo 236-2006</b>	<b>empresa extranjera</b>
temperatura °C	44	< 37	< 40	< 37
pH	10	6 - 9	6 - 9	6 – 9
DBO <sub>5</sub> mg/L	250	30	3,500	30
DQO mg/L	1,000	120	reportarlo	reportarlo
SST mg/L	110	30	3,500	30
color	4,312	1,500	1,500	reportarlo

## **B. Caracterización**

**1. Drenajes.** Con relación a las interconexiones, se consideró necesario segregar los efluentes de procesos y las aguas pluviales, ya que la primera es una corriente que requiere de tratamiento y la segunda no.

En ocasiones las plantas de tratamiento de efluentes mezclan las aguas sanitarias y las de procesos. Se hace cuando no existe alcantarillado público para las aguas sanitarias y también para aprovechar el contenido orgánico de éstas como nutrientes para los microorganismos del tratamiento biológico, lo cual puede ayudar en momentos en que el proceso productivo textil se detiene. Sin embargo, una desventaja de hacer esto es que se agrega el problema de coliformes fecales a los efluentes de procesos. En este caso, se optó por mantenerlas segregadas, ya que la infraestructura de la planta ya era de esta forma y se contaba con alcantarillado público.

Se logró encontrar un punto de fácil acceso, ubicado en el tanque 2 (ver figura VII-2, p.65) para llevar a cabo el programa de muestreo. Se hizo un arreglo temporal para que las aguas de calderas se unieran a las de procesos en ese punto y así se logró simplificar el programa de muestreo y utilizar únicamente un punto para recolectar la muestra compuesta tal y como se describe en la siguiente sección.

## 2. Efluentes

a. **Calidad.** El muestreo se realizó siguiendo el método descrito por Robert Corbitt en STANDARD HANDBOOK OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 1990.

Se consideró cuidadosamente la ubicación, tipo, frecuencia y duración del proceso de muestreo que se realizó en el campo.

Se hizo un muestreo compuesto simple, en el cual una recolección secuencial de muestras de igual volumen se combinó en un recipiente dentro de un período de 24 horas. La muestra en el recipiente permite una evaluación de la variabilidad del efluente a través del período de tiempo seleccionado.

El punto de muestreo ubicado permitió que se tomara la muestra introduciendo en un recipiente amarrado a una cuerda en el tanque 2. En este tanque se encontraban los efluentes combinados de los procesos productivos y las calderas.

El recipiente utilizado fue enjuagado con las aguas residuales antes de iniciar la acumulación de las alícuotas de muestra. Se tomaron 150 mL cada hora. Se obtuvo un total de 24 alícuotas que se mezclaron en un solo recipiente para formar la muestra compuesta con un volumen total de 3.6 L. El recipiente

se mantuvo refrigerado durante el período de muestreo y hasta el momento de ser entregado en el laboratorio.

En la tabla VIII-2 se muestran recomendaciones sobre material del recipiente, técnicas de preservación y tiempo máximo para realizar un análisis de laboratorio. Se diseñó el programa de muestreo tomando en cuenta estas recomendaciones para cada parámetro en estudio.

La temperatura se tomó *in situ* con equipo portátil. Las muestras fueron enviadas al laboratorio inmediatamente después de ser completados los períodos de 24 horas. En el laboratorio se encargaron de dividir en recipientes separados las porciones de las muestras para cada examen realizado. Los recipientes eran plásticos y nuevos.

Tabla VIII-2. Recomendaciones para la recolección de muestras.

Parámetro	Unidades	Recipiente	Preservación	tiempo máximo
pH		P,G	refrigeración, 4°C	14 días
Temperatura	°C	n/a	n/a	n/a
Color	U Pt-Co	P,G	refrigeración, 4°C	48 horas
SST	mg/L	P,G	refrigeración, 4°C	7 días
DQO	mg/L	P,G	refrigeración, 4°C, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2	28 días
DBO	mg/L	P,G	refrigeración, 4°C	48 horas

No se procedió a acidificar la muestra como lo recomienda el método para el caso de la DQO, debido a que se tuvo especial cuidado en entregar la muestra al laboratorio de inmediato. La intención de acidificar la muestra es para que el tiempo máximo para realizar el análisis sea de 28 días, y en este caso los análisis se realizaron en las siguientes 24 horas.

El método aplicado requería hacer estos análisis como mínimo por triplicado para poder llevar a cabo análisis estadísticos de los resultados. Se tomaron ocho muestras dentro del mismo período de tiempo en que se cuantificó el caudal, tres de ellas abarcando todos los parámetros que se indican en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Se calcularon los valores promedio para cada parámetro, así como la desviación estándar. Para determinar los valores de entrada para el diseño del tratamiento se tomó la suma del valor promedio más la desviación estándar, ya que para diseñar interesó el valor máximo que pudieran alcanzar dichos parámetros en un momento dado.

**b. Caudal.** Desafortunadamente no se contó con el equipo necesario para medir el caudal en el punto de muestreo. Si se contara con medidores de flujo para medir tanto el agua de entrada como los efluentes de proceso, se podrían hacer balances de masa que permitirían tener mejor control sobre el

consumo de agua en la planta textil, así como datos más precisos sobre el caudal de efluentes de proceso.

En el caso del caudal, debido a las limitaciones de equipo disponible, únicamente se contó con la información del consumo total de agua en la planta textil. Se consideró que las aguas sanitarias y las pérdidas eran despreciables, y se asumió que el caudal de entrada a la planta es igual al caudal de salida. Se contó con mediciones diarias a lo largo de cuatro meses, documentadas en la tabla XII-4 en el Anexo XII.C (p. 131).

**3. Terreno disponible.** El terreno disponible se determinó considerando el espacio que queda sin construir dentro de la propiedad de la planta textil, así como los planes de expansión a mediano plazo de los procesos productivos.

Se dispuso únicamente de un terreno de 32 m x 12 m (384 m<sup>2</sup>) en un extremo de la propiedad en donde actualmente se encuentran unos jardines y parte de la cancha de fútbol que utilizan los empleados. Otra parte de la cancha de fútbol y jardines aledaños se reservó para la ampliación mencionada. Sin embargo, se logró que se concediera también la parte subterránea de ese terreno, de manera que se contó con adicionales 20 m x 12 m (240 m<sup>2</sup>) bajo el nivel del suelo para la implementación de la planta.

La propiedad de la planta textil es prácticamente plana, con una ligera pendiente que de hecho ya fue tomada en cuenta para el diseño del sistema de drenajes. Afortunadamente dicha pendiente coincide favorablemente con el hecho de tener la disponibilidad de terreno en el extremo de menor altitud de la propiedad, hacia donde ya se encuentran dirigidos los drenajes y salida final al alcantarillado municipal.

**4. Oportunidades de reutilización.** Al verse cumplidas las exigencias legales y contractuales con el tratamiento implementado, se procedió a analizar cuáles aplicaciones pueden darse para el efluente tratado hasta ese nivel.

Se determinó que se pueden utilizar las aguas para el riego de jardines y procesos de lavado en el interior y exterior de la planta, así como para una parte de las aplicaciones sanitarias. Para llevar esta reutilización a cabo se necesitará adicionalmente invertir en un depósito para almacenar el agua tratada y tuberías para la distribución adecuada de la misma.

Adicionalmente al haber implementado el proyecto y contar con efluentes tratados se puede considerar la utilización de una mezcla de agua fresca y efluentes tratados para utilizar como agua de proceso en la tintorería, para teñidos oscuros exclusivamente. Mediante pruebas se podría llegar a determinar la proporción máxima de efluentes en la mezcla que no dé problemas en el proceso, tomando en cuenta la limitante que implica la presencia de sales.

Estas incluyen sales para fijar los reactivos que no reaccionaron, algunas sales subproducto del proceso, y otras producidas en el tratamiento de efluentes, en la neutralización (EPA, 1996:39).

### **C. Diseño del tratamiento**

Se tomó como base los diagramas de flujo de sistemas de tratamiento de efluentes encontrados en Metcalf y Lin. Luego se analizó cuáles operaciones y procesos unitarios eran necesarios tomando en cuenta la calidad de efluentes según la caracterización realizada.

Se concluyó que en tratamientos primarios solamente era necesario hacer un tamizado fino y la ecualización de los efluentes. El pH es neutralizado previo a ingresar a la etapa biológica. En el tratamiento secundario se cuenta con un tratamiento biológico de crecimiento adherido, el cual permite llevar a cabo la depuración requerida en el espacio reducido que hay disponible. Se optó por un Biofiltro Aireado (BAF), en un diseño particular que permite prescindir de un clarificador secundario. Se cuenta con un simple espesador de lodos para separar los lodos en exceso que se descartan mediante el retrolavado de los módulos de biofiltración.

A continuación se describen las partes del sistema y las corrientes entrantes y salientes, tomando como referencia la figura VII-4. Diagrama de flujo

del tratamiento de efluentes (p.70). Los cálculos de diseño se encuentran en el Anexo XII.D (p.134).

**1. Tamizado.** La línea verde indica la entrada del efluente al tratamiento, describiendo sus características. El tamizador (1) se ubicó cerca de la salida de los efluentes del edificio, en la salida del tanque 1 de la figura VII-3 (p.66). En los canales de desfogue de la planta ya se encuentran construidas unas trampas de sólidos, en donde quedan removidos los sólidos sedimentables. Por el tipo de efluente no se requiere de trituradoras o de cámaras de arena (grit chambers).

No se incluyó la selección y diseño para la bomba de alimentación al tratamiento (0) porque ya existía un sistema de bombeo hacia la descarga al alcantarillado, el cual fue aprovechado para dirigir los efluentes de proceso hacia la planta de tratamiento de efluentes.

Se optó por un tamizado fino (1) porque es el tipo recomendado para tratar efluentes primarios previo a un tratamiento biológico de lecho empacado (Metcalf, 2003:322) y para lograr una eficiencia importante en la remoción de carga orgánica y sólidos suspendidos totales. El valor del caudal de diseño se encontró en el rango correcto para utilizar este tipo de tamizado. Se consideró conveniente utilizar este sistema por contribuir de forma importante a la reducción en  $DBO_5$ , DQO y SST. Se espera reducir los sólidos suspendidos totales en 45% y la  $DBO_5$  y DQO en 25% o más (Metcalf, 2003:322). De esa manera se

obtienen los lodos primarios (línea café que sale del tamizador (1)). Para el cálculo del caudal se asumió un 10% de humedad en los lodos.

Previo al ingreso de los efluentes a la etapa de ecualización se colocó un medidor de caudal (9). Se utilizó un medidor de caudal por inducción magnética, de acuerdo con lo recomendado en el Manual de instrumentación y Control de ICAITI, por tratarse de efluentes con sólidos suspendidos.

**2. Ecualización.** La línea verde indica el curso del efluente hacia la siguiente etapa, que es la ecualización.

Se consideró un tiempo de retención en el tanque de ecualización de un día, por ser el período de tiempo en el que se completa un ciclo de la rutina en producción y porque el espacio disponible lo permite. El propósito es ubicarlo anterior al proceso biológico y así afectar de manera positiva la economía y buen funcionamiento de este sistema. Se optó por la ecualización en línea por ser el régimen que proporciona mejores resultados mezclando la totalidad de los efluentes recibidos. Se escogió un tanque de mezclado completo y flujo continuo, tomando en cuenta que lo que se desea es ecualizar con un tiempo de residencia de 24 horas y que con este tipo de tanque se puede utilizar una geometría rectangular (Metcalf, 2003: 218) y así aprovechar al máximo el espacio disponible. Asimismo, se propuso que la construcción de este tanque sea bajo tierra para aprovechar mejor el espacio disponible, ya que esto permite colocar

parte del tratamiento por encima del tanque de ecualización en el nivel de la tierra y parte queda disponible para la futura ampliación que está programada, en donde se tiene pensado ubicar un área de empaque (en la cual no hay maquinaria pesada).

Las dimensiones del tanque permiten que el tiempo de residencia sea de un día como mínimo cuando la planta está trabajando al máximo de su capacidad. Se descartó una ecualización más pequeña considerando que la planta espera trabajar al máximo de su capacidad debido a los contratos obtenidos y en un mediano plazo se espera tener crecimiento.

Se optó por tener mezclado y aireación en el tanque de ecualización. Se consideró importante la aireación por tratarse de un tanque parcialmente cerrado bajo el nivel de tierra con un tiempo de residencia de 24 horas. Adicionalmente, se lograría una degradación de la carga orgánica en este proceso, lo cual ayuda a obtener mejores resultados en el tratamiento biológico. De acuerdo con las recomendaciones en Metcalf, 2003: 431, se optó por un eyector de aire (jet aerator) para esta tarea (3).

El eyector de aire se ubicó previo a la entrada del líquido para evitar cortos circuitos y facilitar el mezclado. Para seleccionar estos equipos se informó al fabricante las características de los efluentes y se le dieron las indicaciones de geometría, volumen y ubicación del tanque de ecualización. Para el rango de

temperatura en el que se encuentran los efluentes, se tomaron los valores para densidad y viscosidad del agua (Metcalf, 2003:349). Con esta información se determinó la capacidad adecuada del mezclador y eyector de aire.

El eyector de aire fue escogido por su versatilidad ya que, además de proveer el aire necesario para mantener condiciones aeróbicas, contribuye al proceso de mezclado (3.1 kW que se descontaron de la capacidad del agitador). La altura del tanque está en la parte inferior del rango de alturas en las que un chorro (jet) opera, por ello se escogió el límite inferior del rango permitido por la regla gruesa utilizada para el cálculo del aire necesario.

Adicionalmente, éste sirve como equipo para limpieza (flushing device) en el mantenimiento al tanque, ayudando a remover los depósitos en paredes y fondo, y sustituyendo varios equipos de mantenimiento, así como haciendo innecesario un diseño más complejo de tanque.

Se descartó la necesidad de hacer compartimientos para minimizar el equipo de aireación necesario. Debido al contenido de sólidos totales en suspensión, no es necesario agregar equipos para remover los sólidos depositados en el fondo del tanque, ni de utilizar una geometría para este con pendientes, ya que la limpieza que se requiere se puede hacer durante el período de mantenimiento general cuando para la planta una vez al año.

El mezclador es de tipo horizontal sumergible (2) por recomendación de la literatura técnica del fabricante para este tipo de aplicación. Por ser horizontal se aprovecha de mejor manera el chorro (jet) que se produce para orientar el movimiento del líquido y lograr un proceso de mezclado energéticamente eficiente.

Todos los equipos sumergibles están colocados sobre bases de montaje especialmente diseñadas para el fácil acceso a los mismos (10), de manera que puedan ser elevados, extraídos e instalados nuevamente sin necesidad de parar la operación o de introducir al personal en los tanques.

En el anexo XII-D (p.134) se encuentran los cálculos de la geometría del tanque, de la potencia para el mezclado y la cuantificación del aire necesario.

**3. Neutralización.** Para darle un tiempo de retención a la medición del pH se construye una pared divisoria dentro del tanque de equalización en el extremo desde donde el efluente es bombeado hacia la siguiente etapa de tratamiento. Luego un tiempo de retención de 24 horas en la equalización el efluente ingresa a este compartimiento a través de un orificio en la mencionada pared divisoria. Dentro de este apartado se ubican las bombas de alimentación hacia el tratamiento biológico (4) y los controles de nivel (7). El tanque debe mantener un nivel que no baje más allá de un (1) metro para mantener los equipos

sumergibles bajo el agua; el nivel superior no debe sobrepasar los 3.0 m para no tener rebalse.

La neutralización ocurre automáticamente al existir un sensor de pH (7) en la salida de la etapa de ecualización, antes de ingresar a la biofiltración. Esta se encuentra vinculada a través del control automático de mandos a una bomba dosificadora de ácido (6), la cual es activada de acuerdo con la lectura obtenida por el sensor. En el área de reactivos se encuentra el depósito de ácido (8). Se recomendó el uso de ácido sulfúrico para la neutralización, debido a que se encontraron proveedores confiables y su costo es menor que el de otros ácidos en el medio guatemalteco. Se seleccionó ácido sulfúrico en solución al 98.5% por ser la presentación que se encuentra disponible. Sin embargo, se utilizan también comúnmente soluciones al 77.7%, las cuales son más fáciles de manipular en la planta. Habría que tomar en cuenta los requerimientos de seguridad en la manipulación en ambos casos.

En este punto, ya han transcurrido 24 horas de retención del agua. Con el proceso de mezclado en este tiempo ya se encuentran los efluentes a temperatura ambiente. Se estima que un calor correspondiente a una diferencia de temperatura de 19°C se disipa en el ambiente durante este período. La temperatura del agua no puede ser superior a 37 °C cuando esta entra al proceso biológico. Datos empíricos muestran que esto se cumple para efluentes textiles sin necesidad de utilizar procesos unitarios para enfriamiento.

**4. Filtración biológica aireada.** Los tratamientos existentes para la remoción de la carga orgánica se clasificaron como físico-químicos, biológicos y avanzados.

Se descartaron los tratamientos físico-químicos porque estos son procesos que no modifican sino simplemente remueven sustancias, producen grandes cantidades de sólidos que luego se deben descartar, tienen menor eficiencia que los tratamientos biológicos y alto costo en insumos cuando se trata de remover sustancias orgánicas.

Los tratamientos avanzados también se descartaron porque resultan muy costosos en comparación con los tratamientos biológicos. Estos tratamientos suelen ser utilizados después de un tratamiento biológico para remover una porción adicional relativamente pequeña de sustancias orgánicas y así alcanzar conjuntamente eficiencias muy altas a un costo razonable.

Se descartaron los tratamientos de crecimiento suspendido por necesitar extensiones de terreno muy grandes que no están disponibles. Considerando el caudal y calidad del efluente a tratar así como el poco terreno disponible, se determinó que éste tenía las dimensiones únicamente para construir el tanque de equalización. Por lo tanto se requirió utilizar una tecnología compacta que requiriera del menor espacio posible, así como construir el tanque de equalización bajo el nivel de suelo.

En la actualidad las tecnologías aeróbicas son las más usuales para efluentes con carga orgánica en proporciones como las determinadas en la caracterización de efluentes de este estudio. Se descartaron las tecnologías anaeróbicas considerando el nivel de carga orgánica de los efluentes y el nivel de eficiencia en la remoción de la carga orgánica que se requirió.

Se consultó la tabla para seleccionar un tratamiento biológico que muestra Schultz en su artículo de octubre de 2005 en la Chemical Engineering y se confirmó que para el caso en estudio el tratamiento debía ser necesariamente de crecimiento adherido, grupo dentro del cual se encontraron dos opciones: un filtro de goteo de nueva generación, de los cuales existen muchas variantes, o un contactor biológico rotatorio en sus distintas presentaciones.

Los contactores biológicos rotatorios fueron descartados porque se dificultó la obtención de estos equipos y por requerir de mantenimiento altamente especializado que no está disponible regionalmente.

Se obtuvo cotización de un sistema de Reactor de Biopelícula de Lecho Movable "MBBR" (Moving Bed Biofilm Reactor). Ésta es una tecnología patentada noruega. El tratamiento propuesto para la utilización de esta tecnología requería una etapa de tratamiento primario muy similar a la seleccionada. Luego del tratamiento biológico se requería de un filtro lamelar para separar lodos en

exceso. Este sistema tampoco necesita de un decantador o de recirculación de lodos activados.

Se seleccionó un sistema de Biofiltro Activado, “BAF” (Activated Biofilter) de fabricación italiana. Sus costos de inversión y operación son más bajos que el MBBR y sus características permitieron lograr llevar a cabo el tratamiento secundario en el espacio reducido disponible de este proyecto. Su diseño logra prescindir de decantador secundario, lo cual simplifica su operación y ahorra espacio. Se trata de una mezcla de tecnologías ampliamente documentadas en la literatura. Tiene un diseño similar al de un biofiltro activado de carbón, de origen francés, en su sistema de retrolavado y separación de lodos en exceso; sin embargo, hace uso de una tecnología biológica de lecho empacado, con una material de relleno patentada de menor costo que otros materiales de relleno más conocidos. Su diseño básico es el de un filtro de goteo con lecho empacado de plástico de nueva generación. Produce menos problemas de insectos, muy comunes en los filtros de goteo de diseño tradicional, y tampoco tiene problema de formación de colonias de caracoles, como es el caso en los contactores rotatorios. Los cálculos se basan en datos empíricos obtenidos de instalaciones previas (Metcalf, Lin, Corbitt).

Haciendo referencia a la figura VII-4 (p.70), se tiene otro medidor de caudal (11) en la entrada de la etapa biológica. Se optó por tener tres módulos, cada uno con 27 columnas de aire con difusores en la parte inferior (15). Se

usan rejillas de acero inoxidable (17) en la parte superior e inferior de cada módulo para contener el material de empaque que ocupa el resto del espacio (16).

Se contempla usar un oxímetro (12) en comunicación con un inversor de frecuencia (14), para regular la salida de aire de los sopladores (13). El oxímetro seleccionado es un modelo portátil con la idea de que puede cambiarse con regularidad de lugar para hacer mediciones en diferentes puntos de los módulos. La utilización del inversor de frecuencia permite regular directamente la velocidad de los motores de los sopladores, mientras que si se utilizara sólo un sistema de válvulas para regular el flujo de aire, los motores tendrían que estar trabajando a plena potencia todo el tiempo. Esta práctica permite una importante reducción en el uso de energía eléctrica. Se necesitan 569 m<sup>3</sup>/h para la operación normal y 2,746.93 m<sup>3</sup>/h de aire en total durante un retrolavado (dos módulos en operación normal y un módulo en retrolavado), el cual dura 20 minutos. Por lo tanto se necesitarían 14,425 m<sup>3</sup>/d de aire, o bien 3,029 m<sup>3</sup>/d de oxígeno).

En la figura VII-4 se muestra la distribución de aire en los módulos de biofiltración con una línea roja. El aire entra en las columnas y llegaría hasta la parte inferior, de donde sale y hace contacto con los efluentes en forma de micro burbujas, al salir a través de difusores de aire. El aire tiene un recorrido ascendente durante el cual entra en contacto con los efluentes y la biomasa. El paso del aire hace que los efluentes estén en constante movimiento, mejorando

así la posibilidad de contacto con la película de biomasa que está sobre los cuerpos de relleno. Al haber presencia de oxígeno se produce la metabolización de las sustancias orgánicas presentes en el efluente. Este diseño permite eliminar el tanque de sedimentación secundario que es tradicionalmente utilizado en los sistemas de crecimiento suspendido.

El agua tratada sale de los módulos de biofiltración luego de un tiempo de retención de nueve (9) horas. En la figura VII-4 se muestra con una línea azul. Las aguas tratadas tienen un caudal ligeramente menor que el de entrada, 1,086 m<sup>3</sup>/d, por pérdidas en el retrolavado principalmente. La calidad del agua en este punto ya cumple con los objetivos planteados.

Cuando la planta ya esté en operación se debería analizar el desempeño de la misma. Si se produce espuma es posible que se requiera antiespumante, aunque esto también se puede controlar revisando aspectos del proceso productivo. Asimismo, dependiendo de consideraciones que rebasan los alcances de este trabajo, se podría considerar el uso de decolorante. Tanto para el antiespumante como para el decolorante se pueden agregar depósitos en el área de reactivos y dosificarlos en este punto, hacia los módulos de biofiltración, cerca del punto de salida.

La biomasa, al cabo del tiempo, envejece y la población puede crecer de manera que se hace necesario el control de la cantidad de la misma y su

renovación. Para ello se hace un retrolavado, de módulo en módulo, de manera que la operación de la planta no se interrumpa. El lodo biológico disperso cae al fondo del módulo y es bombeado hacia un espesador para estos materiales (20 y 21). El lodo producido es fácilmente deshidratable y posee buenas características de estabilización. La producción de lodos en exceso es extremadamente baja. Cuando la planta ya esté en operación y se cuente con lodos es recomendable analizar sus características y determinar si es conveniente utilizar polielectrolito para facilitar el manejo de los mismos. En ese caso se agrega un depósito con mezclador incorporado en el área de reactivos y se dosifica hacia el tanque espesador. La justificación de este paso dependerá del sistema que se utilice para descartar los lodos, el cual depende también de regulaciones locales. Sin embargo, este sistema tiene como una de sus mayores ventajas el hecho de producir una mínima cantidad de lodos. El agua que queda en el tanque espesador luego de separarse de los lodos es recirculada a la equalización, como se muestra con una línea verde en el diagrama de flujo. Los lodos que se producen en el tanque espesador se estiman en  $2 \text{ m}^3/\text{d}$ . Estos llevan parte de los sólidos suspendidos totales y carga orgánica, que por adsorción se quedan en los lodos.

Se tomó en cuenta un sistema de dosificación de sales nutritivas (18 y 19). Las sales nutritivas son una mezcla de azúcar, urea y otros nutrientes en solución, la cual se utiliza para alimentar a la biomasa cuando la planta textil para

de operar por mantenimiento, de manera que la biomasa no muera y sea innecesario un período mayor de estabilización al iniciar la operación de la planta.

Se optó por una planta altamente automatizada porque esto hace que su operación sea mucho más confiable, así como fácil. Se utilizaría el PLC marca "SIEMENS" y un sistema de mandos y control (22) que acepta cualquier adición de equipos de bajos o medios voltajes, como sería el caso de cualquier ampliación. En esta planta se tiene automatización en los campos de nivel (alarmas nivel, protección de equipos sumergibles), temperatura (alarmas motores), presión (sopladores) y conducción (pH).

**5. Filosofía de diseño.** En todos los aspectos de diseño se buscó obtener una planta altamente automatizada, en la cual se requiere de intervención humana muy reducida. Se diseñó con la idea de que la inversión inicial ya incluye equipos de sustitución en los puntos más críticos, para evitar al máximo una parada de la planta por falla en alguna etapa del sistema. Se utilizó acero inoxidable en tubería y equipos para minimizar el mantenimiento. Por todos estos aspectos se considera que la planta tiene una vida útil de 20 años. Esta filosofía es acorde a la filosofía que se ha utilizado en el diseño de la planta textil.

**6. Indicaciones para la obra civil.** La distribución se hizo a manera de disminuir los costos en la obra civil. Se consideró sobreponer el tratamiento biológico sobre la equalización, pero esta reducción en espacio encarecía la obra

civil al tener que construirse una loza a nivel del suelo que tenía que soportar varios elementos de gran peso por tratarse de estructuras que contienen agua. Se contó con información sobre reglas gruesas proporcionadas por los proveedores de equipos, quienes con base en su experiencia informaron sobre el grosor de paredes para sostener los volúmenes de agua indicados. Es típico dejar el diseño hasta el punto conceptual y dejar que un ingeniero civil haga la ingeniería de detalle y cálculo estructural del caso, lo cual ya está tomado en cuenta en la cotización de obra civil. De igual manera la parte eléctrica se delega a expertos en la materia y también está incluido en la cotización.

#### **D. Evaluación económica**

**1. Inversión inicial.** En la tabla VII-8 (p.83) se muestra el desglose del equipo electromecánico. El costo de cada equipo ya incluye un porcentaje por concepto e ingeniería e imprevistos. Esto se obtuvo de un proveedor en Italia, quien es el fabricante del biofiltro activado y que además presta el servicio de integrar los demás equipos para ofertar un paquete que incluye todos los equipos, accesorios eléctricos e hidráulicos, ingeniería, transporte, montaje y puesta en marcha.

Esta oferta fue competitiva en comparación con la oferta de tecnología alternativa. Asimismo, fue competitiva en comparación con adquirir los equipos directamente de cada fabricante, transportarlos y hacerse cargo de los servicios, transporte, montaje y puesta en marcha por separado.

No se tomó en cuenta el impuesto al valor agregado (IVA) por ser un monto que se recupera como crédito fiscal de la empresa inversionista. Se utilizó la tasa de cambio USD1.00 = Q 7.65 para la parte importada.

En cuanto a la obra civil, se recibió información sobre costos de construcción de parte de la Cámara de la Construcción así como de un contratista independiente, tomando en cuenta que se trata de depósitos para agua. En el anexo XII.F (p.163) se encuentra la tabla XII-8, en donde se puede ver cómo se estimó el costo de la obra civil.

La empresa textil consideró que no hay costo en el transporte de equipos dentro de la planta así como en la mano de obra de ayudantes durante el montaje, dado que ellos cuentan con los recursos en la planta y ya están tomados en cuenta dentro de la estructura de costos fijos de su operación. Se consideró que se debe contratar adicionalmente asistentes para la parte eléctrica e hidráulica, quienes trabajarían bajo la dirección del técnico italiano que vendría a realizar el montaje.

**2. Costo de operación.** Se calculó el costo de operación mensual. En el costo de operación se aprecia que el mayor porcentaje del mismo lo constituye el consumo eléctrico. En el anexo XII.F (p.163) en tabla XII-9, se muestra el cálculo de consumo eléctrico, tomando como referencia que se trata de un

contrato por factor de potencia. Se calculó el costo mensual utilizando el precio del kWh que indicó la empresa textil.

El siguiente costo en importancia lo constituyen los reactivos, principalmente el ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico se puede comprar en solución al 98.5% y tiene un costo de Q1.60/kg. Las sales nutritivas se utilizan únicamente unos pocos días al año, cuando la planta textil para y realiza trabajos de mantenimiento. Se dividió el valor aproximado de las sales en los doce meses para obtener un valor promedio del costo de operación mensual.

El costo por el personal de mantenimiento es muy bajo, pues se requiere de un operario que devenga el salario mínimo más prestaciones, quien debe dedicarle no más de dos (2) horas al día a algunas tareas de control y mantenimiento.

Se consideró un monto para cubrir los costos de los análisis de laboratorio que permitirían controlar el desempeño del tratamiento de efluentes.

Se consideró que no habría costos de reposición de equipos considerables a lo largo de los años de operación de la planta de tratamiento, debido a que los equipos que requerirán de sustitución y los más susceptibles a problemas se han duplicado desde un inicio para garantizar que la operación no se verá comprometida por el fallo de alguno de ellos. Este mayor costo de inversión es

luego compensado por el hecho de lograr una vida útil mayor en conjunto para cada equipo duplicado.

No se tienen costos previstos para descartar los lodos que se produzcan, pues estos no presentan características que hagan necesario un confinamiento. Podrían ser descartados a los depósitos o rellenos sanitarios sin precauciones especiales, o bien experimentar en su utilización como abono para jardines (no para cultivos alimenticios) y en algún momento comercializarlos.

La evaluación económica puede ampliarse al conocerse la fuente de financiamiento y sus condiciones. Asimismo, se podría hablar de calcular una tasa interna de retorno si los costos de la planta de tratamiento de efluentes fueran considerados como un costo dentro de la operación de la planta textil y la tasa interna de retorno se calcula para la planta textil y su operación completa.

## IX. CONCLUSIONES

1. El cumplimiento de los requerimientos en los valores de salida para los parámetros seleccionados para el diseño del tratamiento de efluentes (Demanda Bioquímica de Oxígeno,  $DBO_5 = 30$  mg/L, Demanda Química de Oxígeno,  $DQO=120$  mg/L, Sólidos Suspendidos Totales,  $SST= 30$  mg/L, potencial de hidrógeno,  $pH=6-9$ , Temperatura  $< 37$  y Color $<1,500$  unidades Pt-Co) permitirán que la empresa textil pueda optar a contratos internacionales, cumpla con la reglamentación local y produzca efluentes con potencial de reutilización.
2. La caracterización de la corriente individual de efluentes industriales mostró que los mismos se encuentran fuera de los límites permitidos y que requieren de un tratamiento para alcanzar los niveles indicados para su descarga.
3. El sistema de drenajes de la planta textil se encuentra en buenas condiciones y permite unificar los efluentes de procesos y dirigirlos hacia el sitio en donde se implementará el tratamiento de efluentes fácilmente.
4. Se deben segregar los efluentes de procesos de las aguas pluviales, previo al tratamiento de efluentes, para evitar el aumento en el volumen del agua a tratar.

5. El tratamiento propuesto consiste en un tamizado fino, equalización, neutralización y biofiltración activada.
6. Para un caudal es de 1,088 m<sup>3</sup>/d de efluentes, se hace necesario que el tratamiento secundario sea de tipo biológico aeróbico de crecimiento adherido, debido a que se cuenta únicamente con 384 m<sup>2</sup> de espacio sobre el nivel del suelo y 240 m<sup>2</sup> subterráneos.
7. Los sólidos suspendidos totales son reducidos en un 45% en la etapa de tamizado y luego en un 27 % adicional durante la biofiltración. El agua tratada sale a niveles por debajo de 30 mg/L de sólidos suspendidos totales.
8. La Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO<sub>5</sub>, y la Demanda Química de Oxígeno, DQO, se reducen en un 50% durante los tratamientos primarios y otro 38 % en la etapa de biofiltración, alcanzando valores de salida de 30 mg/L para la DBO<sub>5</sub> y 120 mg/L para la DQO.
9. El pH de 10 es corregido en línea a un valor entre 6 y 9 utilizando el diseño de equalización con cámara para neutralización con dosificación automática de ácido.
10. La temperatura alcanza valores aceptables, por debajo de 37°C y cerca de la temperatura ambiente, para el ingreso a la etapa biológica y para su

- descarga final luego de 24 horas de ecualización, por calor disipado al ambiente, sin necesidad de operaciones o procesos térmicos de enfriamiento.
11. El color se modifica a través del paso por las distintas etapas de tratamiento hasta reducirse alrededor de 50% hasta niveles cercanos a las 1,500 unidades Pt-Co.
  12. El proyecto tiene un costo de inversión total de Q 3, 109,407.98 y un costo de operación mensual de Q 26,801.22.
  13. La inversión para la planta de tratamiento de efluentes es un elemento de la inversión total de la planta textil y su recuperación se obtiene dentro de la recuperación de la inversión total, de acuerdo con el desempeño de la operación completa.

## **X. RECOMENDACIONES**

1. Actualizar la caracterización de efluentes de proceso periódicamente, en particular en lo que respecta a calidad del agua, abarcando todos los parámetros que indica el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
2. Analizar la calidad del agua fresca tomando en cuenta los parámetros indicados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para poder determinar la proporción en la que estos se ven afectados por la actividad de la planta textil.
3. Instalar medidores de flujo en el punto que se escogió para realizar el muestreo para poder realizar balances de masa que permitan tener una mejor comprensión del consumo de agua de la planta textil, así como información más precisa sobre los caudales de efluentes que son dirigidos a la planta de tratamiento.
4. Instituir un programa permanente de monitoreo de efluentes de proceso, el cual será necesario una vez inicie el funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes.
5. Dependiendo de los resultados se recomendaría utilizar antiespumante para minimizar problemas de operación o polielectrolito para espesar fangos haciendo una evaluación costo beneficio.

6. Estudiar la posibilidad de utilizar decolorantes para obtener efluentes con mejores características visuales y evaluar el contenido de sales que resulta de esa operación. Determinar si este paso permite una mayor reutilización de efluentes. En una etapa más avanzada, en la cual se cuente con más información sobre el contenido de sales de los efluentes tratados, se puede considerar la implementación de un tratamiento terciario para una porción de efluentes tratados, con el objetivo de reutilizarlos en el proceso productivo.
  
7. Realizar un estudio para determinar si se justifica colocar un intercambiador de calor en la salida de los efluentes antes de tratarlos para recuperar el calor que se disipa al ambiente.
  
8. Una vez la planta esté en operación, evaluar la posibilidad de comercializar los lodos para uso como fertilizantes en jardinería o como abono forestal.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Clesceri, L.S., A. E. Greenberg and A.D. Eaton (eds.). 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 ed. American Public Health Association. Estados Unidos
2. Corbitt, R. 1990. *Standard Handbook of Environmental Engineering*. Estados Unidos. McGraw-Hill Publishing Company. 1360 págs.
3. CRIET. 1998. *The Real Cost of Going Green*. *International Dyer*. 6(14):14.
4. Dickerson, R., H. Gray y G. Haight. 1979. *Chemical Principles*. Estados Unidos. The Benjamín Cummings Publishing Company, Inc. 943 págs.
5. Environmental Protection Agency. 1996. *Manual: Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry*. Environmental Protection Agency (EPA). Estados Unidos. 299 págs.
6. Geankoplis, C. 1982. *Procesos de Operaciones Unitarias*. México. Compañía Editorial Continental, S.A. de C. V. 759 págs.

7. Lin, Shundar. 2001. *Water and wastewater Calculations Manual*. 1<sup>a</sup> ed. Estados Unidos. McGraw-Hill. 854 págs.
8. McCabe, W, J. Smith & P. Harriott. 1985. *Unit Operations of Chemical Engineering*. Estados Unidos. 960 págs.
9. Metcalf & Eddy, Inc. 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. 4<sup>a</sup> ed. Estados Unidos. McGraw-Hill. 1819 págs.
10. Resnick, R. y D. Halliday. 1982. *Física Parte 1*. México. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. 627 págs.
11. Sánchez-Vega, Eduardo. 1983-1984. *Manual de Instrumentación de Ingeniería Química*. Guatemala. ICAITI.
12. Sawyer, C., P. McCarty & G. Parkin. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science*. 5a ed. Estados Unidos. McGraw-Hill. 752 págs.
13. Schramm, W., Jantschgi, J. 1999. *Comparative Assessment of Textile Dyeing Technologies from a Preventive Environmental Protection Point of View*. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*. 4():130-135.

- 14.Schulz, T. 2005. *Biological Wastewater Treatment. Chemical Engineering.* 10(44):44-51.
- 15.Shaw, T. 1998. *The European Union Integrated Pollution Prevention and Control Directive and its Impact on the Wool Industry. Journal of the Society of Dyers and Colourists.* 9(246): 241-246.
- 16.United Nations Environment Programme, Industry and Environment. 1994. *The Textile Industry and the Environment.* United Nations Environment Programme (UNEP).1<sup>a</sup> ed. France. 120 págs.
- 17.World Bank Environment Department. 1996. *Pollution Prevention and Abatement: Textiles Industry.* Estados Unidos. World Bank Technical Document.

#### **A. Referencias de Internet**

1. Centro de Producción más Limpia. Cámara de Industria de Guatemala. *Sectores Prioritarios en Producción más Limpia en Guatemala.*  
<http://aneenvironment.net/latin/CA%20CPC%20Priority%20Reports/Sectores%20prioritarios%20en%20Guatemala.pdf>

2. Comisión Centroamericana de ambiente y desarrollo. Legislación y Políticas.

<http://www.ccad.ws/legislacion/Guatemala.html>

# XI. ANEXOS

## A. Acuerdo Gubernativo 236-2006



### MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES

Ajuste complementario del acuerdo básico de cooperación científica y técnica entre el Gobierno de la República de Guatemala y el Gobierno de la República Federativa de Brasil modificado por adendum de fecha veintidós de agosto de dos mil dos para la puesta en marcha del proyecto alfabetización solidaria en Guatemala.

YO, OSCAR BERGER PERDOMO  
Presidente Constitucional de la República de Guatemala

#### DECLARO:

Que el Gobierno de la República de Guatemala, habiendo firmado con fecha 12 de septiembre de 2005 la "ENMIENDA AL AJUSTE COMPLEMENTARIO DEL ACUERDO BÁSICO DE COOPERACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA ENTRE EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA Y EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA FEDERATIVA DE BRASIL MODIFICADO POR ADENDUM DE FECHA VEINTIDÓS DE AGOSTO DE DOS MIL DOS, PARA LA PUESTA EN MARCHA DEL PROYECTO ALFABETIZACIÓN SOLIDARIA EN GUATEMALA", ratifica por el presente dicha Enmienda y se compromete a cumplir y aplicar fielmente las disposiciones que en ella figuran.

EN TESTIMONIO DE LO CUAL, firmo el presente instrumento.

Hecho en la Ciudad de Guatemala, a diez días del mes de febrero de dos mil seis.

EL VICEMINISTRO DE RELACIONES EXTERIORES  
ENCARGADO DEL DESPACHO

JUAN JOSE CABRERA ALONZO

ENMIENDA AL AJUSTE COMPLEMENTARIO DEL ACUERDO BÁSICO DE COOPERACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA ENTRE EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA Y EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA FEDERATIVA DE BRASIL MODIFICADO POR ADENDUM DE FECHA VEINTIDÓS DE AGOSTO DE DOS MIL DOS, PARA LA PUESTA EN MARCHA DEL PROYECTO ALFABETIZACIÓN SOLIDARIA EN GUATEMALA

El Gobierno de la República de Guatemala  
y  
El Gobierno de la República Federativa de Brasil,

ACUERDAN:

#### ARTÍCULO I

Se modifica el apartado 2, del artículo II del Ajuste Complementario y Adendum, el cual queda así:

El Gobierno de la República de Guatemala designa:

- la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) como responsable por la coordinación de las acciones resultantes del presente Ajuste Complementario, y el Ministerio de Educación como co-partícipe y responsable por la coordinación sectorial; y
- el Comité Nacional de Alfabetización de Guatemala (CONALFA), como responsable por la ejecución de las acciones resultantes del presente Ajuste Complementario.

#### ARTÍCULO II

La presente enmienda entrará en vigor a partir de la fecha en que Guatemala comunique, por la vía diplomática, el cumplimiento de sus requisitos legales para el efecto.

Dado en la ciudad de Guatemala, el 12 de septiembre de 2005, en dos ejemplares originales, en español y portugués siendo ambos textos igualmente auténticos.

POR EL GOBIERNO DE LA  
REPÚBLICA DE GUATEMALA

POR EL GOBIERNO DE LA  
REPÚBLICA FEDERATIVA DE  
BRASIL

LA ENMIENDA AL AJUSTE COMPLEMENTARIO DEL ACUERDO BÁSICO DE COOPERACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA ENTRE EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA Y EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA FEDERATIVA DE BRASIL MODIFICADO POR ADENDUM DE FECHA VEINTIDÓS DE AGOSTO DE DOS MIL DOS PARA LA PUESTA EN MARCHA DEL PROYECTO ALFABETIZACIÓN SOLIDARIA EN GUATEMALA, fue ratificada por el Presidente de la República el 10 de febrero de 2006 y, de conformidad con lo establecido en el artículo II de la Enmienda, entró en vigor el 28 de marzo de 2006.

(E-375-2006)-11-may06

### MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Acuérdase emitir el REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS.

#### ACUERDO GUBERNATIVO NÚMERO 236-2006

Guatemala, 5 de mayo de 2006.

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

#### CONSIDERANDO:

Que por imperativo constitucional el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga el impacto adverso del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico, para lo cual es necesario dictar normas que garanticen la utilización y el aprovechamiento racional de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, evitando su depredación.

#### CONSIDERANDO:

Que la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

#### CONSIDERANDO:

Que de conformidad con la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, se deben emitir las disposiciones y reglamentos correspondientes para ejercer el control, aprovechamiento y uso de las aguas; así como prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares y cualquier otra causa o fuente de contaminación hídrica.

#### CONSIDERANDO:

Que es necesario contar con un instrumento normativo moderno que ofrezca certeza jurídica para la inversión, permita la creación de empleo, propicie el mejoramiento progresivo de la calidad de las aguas y contribuya a la sostenibilidad del recurso hídrico, coordinando para el efecto los esfuerzos de los órganos de la administración pública con las municipalidades y la sociedad civil.

## POR TANTO:

En uso de las funciones que le confieren el artículo 163 literal e) de la Constitución Política de la República de Guatemala,

## ACUERDA:

Emitir el siguiente

**REGlamento DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES  
Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS**

## CAPÍTULO I

## DISPOSICIONES GENERALES

**Artículo 1. OBJETO.** El objeto del presente Reglamento es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

También es objeto del presente Reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

**Artículo 2. APLICACIÓN.** El presente Reglamento debe aplicarse a:

- Los entes generadores de aguas residuales;
- Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público.
- Las personas que produzcan aguas residuales para reuso;
- Las personas que reusen parcial o totalmente aguas residuales; y
- Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

**Artículo 3. COMPETENCIA.** Compete la aplicación del presente Reglamento al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Las Municipalidades y demás instituciones de gobierno, incluidas las descentralizadas y autónomas, deberán hacer del conocimiento de dicho Ministerio los hechos contrarios a estas disposiciones, para los efectos de la aplicación de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.

## CAPÍTULO II

## DEFINICIONES

**Artículo 4. DEFINICIONES.** Para los efectos de la aplicación e interpretación de este Reglamento, se entenderá por:

**AFLUENTE:** el agua captada por un ente generador.

**AGUAS RESIDUALES:** las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.

**AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL:** las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.

**AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO:** las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, plias, lavamanos, lavavajillas, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conducen a través de un alcantarillado.

**ALCANTARILLADO PLUVIAL:** el conjunto de tuberías, canalizaciones y obras accesorias para recolectar y conducir las aguas de lluvia.

**ALCANTARILLADO PÚBLICO:** el conjunto de tuberías y obras accesorias unitarias por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial, o combinación de ambas que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor.

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MUESTRA:** la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

**CARACTERIZACIÓN DE UN AFLUENTE O UN AFLUENTE:** la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el presente Reglamento.

**CARGA:** el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día.

**CAUDAL:** el volumen de agua por unidad de tiempo.

**COLIFORMES FECALES:** el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

**CUERPO RECEPTOR:** embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO:** la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO:** la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

**DILUCIÓN:** el proceso que consiste en agregar un volumen de agua con el propósito de disminuir la concentración en un efluente de aguas residuales.

**EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES:** las aguas residuales descargadas por un ente generador.

**ENTES GENERADORES:** la persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.

**ENTES GENERADORES EXISTENTES:** los entes generadores establecidos previo a la vigencia del presente Reglamento.

**ENTES GENERADORES NUEVOS:** los entes generadores establecidos posteriormente a la vigencia del presente Reglamento.

**ESTABILIZACIÓN DE LODOS:** el proceso físico, químico o biológico al que se someten los lodos para acondicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final.

**ESTERO:** la zona del litoral que se inunda durante la pleamar. Puede ser tanto arenoso como rocoso y en ocasiones alcanza gran amplitud, tanto mayor cuanto más leve sea la pendiente y más notorias las mareas. Con frecuencia tiene un amplio desarrollo en las desembocaduras fluviales.

**EUTROFIZACIÓN:** el proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.

**FERTIRRIEGO:** la práctica agrícola que permite el reuso de un efluente de aguas residuales, que no requiere tratamiento, a fin de aprovechar los diversos nutrientes que posee para destinarlos en la recuperación y mejoramiento de suelos así como en fertilización de cultivos que no se consuman crudos o precocidos.

**HUMEDAL:** el sistema acuático natural o artificial, de agua dulce o salada, de carácter temporal o permanente, generalmente en remanso y de poca profundidad.

**INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL:** los documentos técnicos definidos en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, Acuerdo Gubernativo No. 23-2003 y sus reformas, contenidos en los Acuerdos Gubernativos No. 424-2003 y 704-2003, los cuales permiten realizar una identificación y evaluación sistemática de los impactos ambientales de un proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad, desde la fase de construcción hasta la fase de abandono.

**LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE:** el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.

**LODOS:** los sólidos con un contenido variable de humedad provenientes del tratamiento de aguas residuales.

**MANTO FREÁTICO:** la capa de roca subterránea, porosa y fisurada que actúa como reservorio de aguas que pueden ser utilizables por gravedad o por bombeo.

**META DE CUMPLIMIENTO:** la determinación numérica de los valores que deben alcanzarse en la descarga de aguas residuales al final de cada etapa de cumplimiento. En el caso de los entes generadores nuevos y de las personas nuevas que descargan al alcantarillado público, el iniciar operaciones.

**MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA:** el régimen de cumplimiento de valores de parámetros en cargas, con parámetro de calidad asociado, en distintas etapas.

**MONITOREO:** el proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes aguas para reuso y lodos.

**MUESTRA:** la parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

**MUESTRAS COMPUESTAS:** dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

**MUESTRA SIMPLE:** la muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos en el momento de la toma.

**PARÁMETRO:** la variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándole un valor numérico.

**PARÁMETRO DE CALIDAD ASOCIADO:** el valor de concentración de demanda bioquímica de oxígeno, expresado en miligramos por litro, que determina la condición del efluente y se aplica en el modelo de reducción progresiva de cargas.

**PERSONA QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO:** la persona individual o jurídica, pública o privada, que descarga aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público.

**PERSONA EXISTENTE QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO:** la persona que descarga al alcantarillado público establecida posteriormente a la vigencia del presente Reglamento.

**PERSONA NUEVA QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO:** la persona que descarga al alcantarillado público establecida posteriormente a la vigencia del presente Reglamento.

**PUNTO DE DESCARGA:** el sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.

**REUSO:** el aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

**SERVICIOS PÚBLICOS MUNICIPALES:** aquellos que, de acuerdo con el Código Municipal, prestan las municipalidades directamente o los concesionarios y que generan aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas.

**SISTEMA DE ALCANTARILLADO PRIVADO:** el conjunto de tuberías y obras accesorias para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo especial, originadas por distintas personas individuales o jurídicas privadas, hasta su disposición a una planta de tratamiento de aguas residuales privada.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:** cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

**CAPÍTULO III**

**ESTUDIO TÉCNICO**

**Artículo 5. ESTUDIO TÉCNICO.** La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público tendrán la obligación de preparar un estudio avalado por técnicos en la materia a efecto de caracterizar efluentes, descargas, aguas para reuso y lodos.

**Artículo 6. CONTENIDO DEL ESTUDIO TÉCNICO.** Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas, indicadas en el artículo 5 del presente Reglamento, para documentar el estudio técnico deberán tomar en cuenta los siguientes requisitos:

- I. Información general:
  - a) Nombre, razón o denominación social.
  - b) Persona contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
  - c) Descripción de la naturaleza de la actividad de la persona individual o jurídica sujeta al presente Reglamento.
  - d) Horarios de descarga de aguas residuales.
  - e) Descripción del tratamiento de aguas residuales.
  - f) Caracterización del efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables.
  - g) Caracterización de las aguas para reuso.
  - h) Caracterización de lodos a disponer.
  - i) Caracterización del afluente. Aplica en el caso de la deducción especial de parámetros del artículo 23 del presente Reglamento.
  - j) Identificación del cuerpo receptor hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica.
  - k) Identificación del alcantarillado hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica.
  - l) Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación respectiva.
- II. Documentos:
  - a) Plano de localización y ubicación, con coordenadas geográficas, del ente generador o de la persona que descarga aguas residuales al alcantarillado público.
  - b) Plano de ubicación y localización, con coordenadas geográficas, del o los dispositivos de descarga, para la toma de muestras, tanto del afluente como del efluente. En el caso del afluente cuando aplique.
  - c) Plan de gestión de aguas residuales, aguas para reuso y lodos. Las municipalidades o empresas encargadas de prestar el servicio de tratamiento de aguas residuales, a personas que descargan sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, incluirán la siguiente información: el catastro de dichos usuarios y el monitoreo de sus descargas.
  - d) Plan de tratamiento de aguas residuales, si se descargan a un cuerpo receptor o alcantarillado.
  - e) Informes de resultados de las caracterizaciones realizadas.

**Artículo 7. RESGUARDO DEL ESTUDIO TÉCNICO.** La persona individual o jurídica conservará el Estudio Técnico, manteniéndolo a disposición de las autoridades del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales cuando se lo requieran por razones de seguimiento y evaluación.

**Artículo 8. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CONTROL Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL.** Para los efectos del cumplimiento del artículo 97 del Código de Salud, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales aprobará un instrumento de Evaluación Ambiental a los entes generadores nuevos, incluirá en la resolución el dictamen relacionado con la descarga de aguas residuales de conformidad con lo establecido en el presente Reglamento.

Para efectos de verificación y control del cumplimiento de este Reglamento, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá utilizar los instrumentos contenidos en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental.

**Artículo 9. PLAZO PARA LA EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO Y CUMPLIMIENTO.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá evaluar en forma permanente el desempeño ambiental y el cumplimiento de los planes contemplados en el numeral II Documentos, literales c) y d) del artículo 6.

**Artículo 10. VIGENCIA DEL ESTUDIO TÉCNICO.** La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas deberá, cada cinco años, actualizar el contenido del estudio técnico estipulado en el presente Reglamento.

**Artículo 11. AMPLIACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO.** En caso de que las autoridades del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales determinen que la información del artículo 6 se puede fortalecer adicionando datos, justificará por escrito su requerimiento.

**Artículo 12. EXENCIÓN DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS.** La exención de medición de parámetros procederá cuando se demuestre a través del Estudio al que se refiere el artículo 5 del presente Reglamento, que por las características del proceso productivo no se generan algunos de los parámetros establecidos en el presente Reglamento, aplicables a descarga de aguas residuales, reuso de aguas residuales y lodos.

**CAPÍTULO IV**  
**CARACTERIZACIÓN**

**Artículo 13. CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE Y DEL EFLENTE DE AGUAS RESIDUALES.** La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas en un cuerpo receptor o al alcantarillado público, deberá realizar la caracterización del afluente, así como del efluente de aguas residuales e incluir los resultados en el estudio técnico.

**Artículo 14. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS PARA REUSO.** La persona individual o jurídica, pública o privada, que genere aguas residuales para reuso o las reuse, deberá realizar la caracterización de las aguas que genere y que desea aprovechar e incluir el resultado en el estudio técnico.

**Artículo 15. CARACTERIZACIÓN DE LODOS.** La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar lodos, deberá realizar la caracterización de los mismos e incluir el resultado en el estudio técnico.

**CAPÍTULO V**  
**PARÁMETROS PARA AGUAS RESIDUALES Y VALORES DE DESCARGA A CUERPOS RECEPTORES**

**Artículo 16. PARÁMETROS DE AGUAS RESIDUALES.** Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- a) Temperatura,
- b) Potencial de hidrógeno,
- c) Grasas y aceites,
- d) Materia flotante,
- e) Sólidos suspendidos totales,
- f) Demanda bioquímica de oxígeno,
- g) Demanda química de oxígeno,
- h) Nitrógeno total,
- i) Fósforo total,
- j) Arsénico,
- k) Cadmio,
- l) Cianuro total,
- m) Cobre,
- n) Cromo hexavalente,
- o) Mercurio,
- p) Níquel,
- q) Plomo,
- r) Zinc,
- s) Color y
- t) Coliformes fecales.

**Artículo 17. MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.** Los entes generadores existentes deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales que descarguen a un cuerpo receptor, conforme a los valores y etapas de cumplimiento del cuadro siguiente:

Etapas	Uno Dos de mayo de dos mil once				
Fecha máxima de cumplimiento	5				
Carga máxima por día	3000QD+8000	8000QD+12000	12000QD+16000	25000QD+30000	50000QD+25000
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
Etapas	Dos Dos de mayo de dos mil quince				
Fecha máxima de cumplimiento	4				
Carga máxima por día	3000QD+16000	6000QD+10000	10000QD+30000	30000QD+10000	50000QD+12000
Reducción porcentual	10	20	40	45	50

Etapa	Fecha máxima de cumplimiento			
	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Duración, días	3			
Carga, kilogramos por día	3000(E)-1000	3000(E)-1000	1000(E)-3000	3000(E)-4500
Reducción porcentual	50	70	85	90
Duración, días	4			
Carga, kilogramos por día	3000(E)-400	4000(E)-7000		
Reducción porcentual	40	60		

Para efectos de la aplicación del presente modelo, el valor inicial de descarga estará determinado en el Estudio Técnico. Dicho valor inicial, se refiere a la carga expresada en kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno. Para los porcentajes de reducción de la etapa uno, se utilizará el valor inicial de descarga del Estudio Técnico y para cada una de las etapas siguientes, la carga inicial será el resultado obtenido de la reducción porcentual de la etapa anterior.

**Artículo 18. DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.** Los entes generadores, en el Estudio Técnico, deberán incluir la determinación de la demanda química de oxígeno, a efecto de establecer su relación con la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la siguiente fórmula: demanda química de oxígeno dividido entre la demanda bioquímica de oxígeno.

**Artículo 19. META DE CUMPLIMIENTO.** La meta de cumplimiento, al finalizar las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, se establece en tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. Los entes generadores existentes que alcancen y mantengan éstos valores habrán cumplido con la meta establecida en este artículo y con el modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 17 del presente Reglamento.

Los entes generadores existentes que registren cargas menores o iguales a tres mil kilogramos por día, pero que registren valores mayores a doscientos miligramos por litro en el parámetro de calidad asociado, procederán a efectuar la reducción del valor de dicho parámetro de conformidad con los porcentajes correspondientes a la primera columna del lado izquierdo correspondiente a los rangos, en el modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 17, del presente Reglamento.

Los entes generadores existentes de aguas residuales de tipo especial y ordinario que después de tratar dichas aguas, y que en cualesquiera de las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas alcancen y mantengan valores en el parámetro de calidad asociado, iguales o menores que cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

**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 límites	Fecha máxima de cumplimiento			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR + 2	TCR + 2	TCR + 2	TCR + 2	TCR + 2
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Presente	Ausente	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	50	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencia de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 <sup>6</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>3</sup>	< 1x10 <sup>2</sup>
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
Níquel	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 patrón	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

**Artículo 21. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA ENTES GENERADORES NUEVOS.** Los entes generadores nuevos deberán cumplir, desde el inicio de sus operaciones, con una meta de tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. En el caso de que el parámetro de calidad asociado sea igual o menor a cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

Adicionalmente, deberán cumplir los límites máximos permisibles de los parámetros siguientes:

Parámetro	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR + 2
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Materia flotante	Presente/Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencia de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 <sup>4</sup>
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	0
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades patrón	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente se requiera un estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, el ente generador deberá cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el presente artículo.

El ente generador nuevo que, por razones técnicas debidamente justificadas, requiera de un período de estabilización productiva, definirá en el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental la necesidad y etapas de ajuste consecutivas dentro del período de estabilización, el cual no excederá de seis meses, contados a partir del inicio de operaciones del ente generador. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales establecerá en la resolución aprobatoria del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, el plazo o plazos consecutivos de las etapas que fueren necesarias para dicho período de estabilización.

**Artículo 22. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN ESTEROS.** Cuando el cuerpo receptor sea un estero se aplicarán las siguientes disposiciones:

a) Los entes generadores existentes deberán observar los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 20 del presente Reglamento. El parámetro de demanda bioquímica de oxígeno aplicable es el siguiente:

Parámetro	Dimensional	Valor límite	Fecha máxima de cumplimiento			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	500	300	250	150	100

b) Los entes generadores nuevos deberán aplicar los límites máximos permisibles y la reducción de la última etapa del artículo 20 y del artículo 22 literal a).

c) Para los entes generadores que descargan aguas residuales de tipo especial a esteros, los valores de las concentraciones de los parámetros establecidos en el presente Reglamento, se determinan de acuerdo a la diferencia entre la concentración del efluente y la del afluente. El resultado que se obtenga se utilizará como base para establecer si el ente generador cumple con los límites máximos permisibles de los artículos 20 y 22 literal a) del presente Reglamento.

d) A los entes generadores regulados en el presente artículo no les serán aplicables los artículos 17 y 19, del presente Reglamento.

**Artículo 23. DEDUCCIÓN ESPECIAL DE VALORES EN PARÁMETROS.** A los entes generadores de aguas residuales de tipo especial que registren en sus afluentes valores mayores a los límites máximos permisibles de los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos, se aplicará el concepto de deducción especial. Dicha deducción especial consiste en restar el valor de cada parámetro del efluente del valor registrado en el afluente. El resultado que se obtenga se utilizará como base para establecer si el ente generador cumple con los límites máximos permisibles del presente Reglamento.

**Artículo 24. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS A CUERPOS RECEPTORES PARA AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y DE URBANIZACIONES NO CONECTADAS AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Las municipalidades o empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público y las urbanizaciones existentes no conectadas al alcantarillado público, cumplirán con los límites máximos permisibles para descargar a cuerpos receptores, de cualesquiera de las formas siguientes:

a) Con lo preceptuado en los artículos 17, 18, 19 y 20, de conformidad con los plazos establecidos en estos artículos del presente Reglamento.

b) Con los límites máximos permisibles y plazos establecidos en el siguiente cuadro:

Parámetro	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Etapas			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR < 7	TCR < 7	TCR < 7	TCR < 7	TCR < 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	100	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia/Presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	700	250	100	100	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	300	275	200	160	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	150	150	70	20	20
Fósforo total	Miligramos por litro	50	40	20	10	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 fecales	Número más probable en cien mil litros	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	1	1	1	1
Cobalto	Miligramos por litro	4	3	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.02	0.02	0.01	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	2	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino-cobalto	1500	1000	750	500	500

Todas las municipalidades deberán cumplir con tener en operación por lo menos con sistemas de tratamiento primario al cumplirse a más tardar el dos de mayo del dos mil quince.

Las municipalidades que reciban descargas de aguas residuales de tipo especial en el alcantarillado público, que contengan compuestos que no puedan ser tratados en un sistema de tratamiento primario, no estarán sujetas a los límites máximos permisibles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total en la etapa uno del cuadro anterior, del presente artículo, lo cual deberá ser acreditado en el Estudio Técnico.

La anterior disposición no exime a las municipalidades de cumplir con límites máximos permisibles de los parámetros del párrafo anterior en las etapas subsiguientes.

CAPITULO VI

PARAMETROS PARA AGUAS RESIDUALES Y VALORES DE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO

Artículo 25. **PARÁMETROS.** Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales vertidas al alcantarillado público son los siguientes:

- a) Temperatura,
- b) Potencial de hidrógeno,
- c) Grasas y aceites,
- d) Materia flotante,
- e) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
- f) Demanda química de oxígeno,
- g) Sólidos suspendidos totales,
- h) Nitrógeno total,
- i) Fósforo total,
- j) Arsénico,
- k) Cadmio,
- l) Cianuro total,
- m) Cobalto,
- n) Cromo hexavalente,
- o) Mercurio,
- p) Níquel,
- q) Plomo,
- r) Zinc,
- s) Color y
- t) Coliformes fecales.

Artículo 26. **MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO PARA DESCARGAS AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Las personas existentes que descargan al alcantarillado público deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno, conforme a los valores y las etapas de cumplimiento del cuadro siguiente:

Etapas	Uno				
	Dos de mayo de dos mil once				
Fecha máxima de cumplimiento	5				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000EG-6000	6000EG-12000	12000EG-15000	15000EG-30000	30000EG-50000
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
Duración, años	4				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil quince				
Carga, kilogramos por día	3000EG-6500	6500EG-10000	10000EG-30000	30000EG-50000	50000EG-150000
Reducción porcentual	10	20	40	45	50

Etapas	Tres			
	Dos de mayo de dos mil veinte			
Fecha máxima de cumplimiento	5			
Duración, años	5			
Carga, kilogramos por día	3000EG-5000	5000EG-10000	10000EG-30000	30000EG-50000
Reducción porcentual	50	70	85	90
Fecha máxima de cumplimiento	Cuatro			
Duración, años	4			
Carga, kilogramos por día	3000EG-6000	4000EG-10000		
Reducción porcentual	40	60		

EG = carga del este generador correspondiente, en kilogramos por día.

Las personas existentes que descargan aguas residuales al alcantarillado público y que registren cargas menores o iguales a tres mil kilogramos por día, deben continuar con la reducción de la carga, hasta alcanzar el parámetro de valor asociado de cada etapa.

Para efectos de la aplicación del presente modelo, el valor inicial de descarga estará determinado en el Estudio Técnico; dicho valor inicial, se refiere a la carga expresada en kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno. Para los porcentajes de reducción de la etapa uno se utilizará el valor inicial de descarga del Estudio Técnico y para cada una de las etapas siguientes, la carga inicial será el resultado obtenido de la reducción porcentual de la etapa anterior.

Artículo 27. **PARÁMETRO DE CALIDAD ASOCIADO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.** Las personas que descargan aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, deben cumplir con las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 26 y con los valores del parámetro de calidad asociado de demanda bioquímica de oxígeno, que se presentan en el siguiente cuadro:

Parámetro	Dimensional	Valor inicial	Fecha máxima de cumplimiento			
			Etapas			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	3500	1500	750	450	200

Artículo 28. **LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Para la descarga de las aguas residuales de tipo especial hacia un alcantarillado público, se deberá cumplir con los límites máximos permisibles de conformidad con las etapas de cumplimiento correspondientes establecidos en el cuadro siguiente:

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Etapas			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	200	100	60	60
Materia flotante	Ausencia/Presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	1500	750	450	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	150	80	40	40
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	40	20	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 fecales	Número más probable en cien mil litros	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
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
Cobalto	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
Níquel	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

Las personas que empleen colorantes no biodegradables en sus procesos productivos y que descarguen aguas residuales al alcantarillado público, deberán indicar en el estudio técnico los tratamientos utilizados para cumplir con los límites máximos permisibles de color en las etapas correspondientes, con el propósito de evitar su incorporación al cuerpo receptor.

Artículo 29. **DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Las personas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, deberán incluir en el Estudio Técnico a que se hace referencia en el artículo 5 del presente Reglamento, la determinación de la demanda química de oxígeno a efecto de establecer su relación con la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la siguiente fórmula: demanda química de oxígeno dividido entre la demanda bioquímica de oxígeno.

Artículo 30. **LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PERSONAS NUEVAS QUE DESCARGUEN AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, a las personas nuevas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, se les requiera un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, deberán cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el siguiente cuadro:

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	50
Materia Sólida	Centigramos	Accesorio
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	200
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	40
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 <sup>4</sup>
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	5
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Cobalt	Unidades partes por millón	500

La persona que, por razones técnicas debidamente justificadas, requiera de un período de estabilización productiva, definirá en el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental la necesidad y etapas de ajuste consecutivas dentro del período de estabilización, el cual no excederá de seis meses, contados a partir del inicio de operaciones del ente generador. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, establecerá en la resolución aprobatoria del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, el plazo o plazos consecutivos de las etapas que fueren necesarias para dicho período de estabilización.

**Artículo 31. OPCIONES DE CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.** Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que se encuentren autorizadas por la municipalidad para descargar aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, podrán cumplir los límites máximos permisibles de cualesquiera de las formas siguientes:

- Estableciendo sistemas de tratamiento propios.
- Pagando a la municipalidad o a las empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público, una tasa correspondiente al servicio que se preste, siempre y cuando dichas municipalidades cuenten con sistema de tratamiento para aguas residuales en operación.

Se exceptúan de la opción de cumplimiento contenida en el inciso b) del presente artículo, las personas que descarguen aguas residuales con metales pesados cuyos límites máximos permisibles excedan de los valores establecidos en los artículos 28 y 30.

**Artículo 32. EXENCIÓN DE PAGO POR SERVICIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.** Las personas que descarguen sus aguas residuales al alcantarillado público, cumpliendo con los límites máximos permisibles de la literal b) del artículo 24 del presente Reglamento, estarán exentas de todo pago por los servicios de tratamiento de aguas residuales brindado por las Municipalidades o las concesionarias.

**Artículo 33. CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE TARIFAS DE SERVICIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.** De acuerdo con lo establecido en el artículo 3 del Código Municipal, y para efectos de este Reglamento, las municipalidades coordinarán con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales la determinación de los criterios técnicos que servirán de base para establecer las tarifas del servicio de tratamiento de aguas residuales, para lo cual se tomará en cuenta como mínimo lo siguiente:

- Los costos de operación, mantenimiento, mejoramiento de calidad y cobertura de servicios.
- Los límites máximos permisibles establecidos en este Reglamento.
- Los estudios técnicos cuyos valores y caracterización sean conocidos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el que deba realizar la Municipalidad jurisdiccional.
- La tarifa será diferenciada atendiendo a las características de cada descarga.

Las Municipalidades establecerán las tarifas o tasas respectivas de conformidad con el propio Código Municipal.

CAPÍTULO VII

PARÁMETROS DE AGUAS PARA REUSO

**Artículo 34. AUTORIZACIÓN DE REUSO.** El presente Reglamento autoriza los siguientes tipos de reuso de aguas residuales, que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso correspondan.

**TIPO I: REUSO PARA RIEGO AGRÍCOLA EN GENERAL:** uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de fertilizante, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, privadamente a su consumo, requieren de un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. Se exceptúa de este reuso los cultivos considerados en el tipo II.

**TIPO II: REUSO PARA CULTIVOS COMESTIBLES:** con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Para el caso de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno, deberá cumplirse de conformidad con los límites máximos permisibles del artículo 35. Adicionalmente, para otros parámetros, deberán cumplir los límites máximos permisibles presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento, a excepción de sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total.

**TIPO III: REUSO PARA ACUICULTURA:** uso de un efluente para la piscicultura y camaricultura, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

**TIPO IV: REUSO PARA PASTOS Y OTROS CULTIVOS:** con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

**TIPO V: REUSO RECREATIVO:** con restricciones en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano sólo puede tener contacto incidental, incluido el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. Cualquier otro reuso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

**Artículo 35. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA REUSO.** El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles del siguiente cuadro:

Tipo de reuso	Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	No aplica
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	No aplica
Tipo V	200	< 1x10 <sup>4</sup>

**Artículo 36. METALES PESADOS Y CIANUROS.** Los límites máximos permisibles de metales pesados y cianuros en las aguas para reuso son los presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento.

**Artículo 37. RECIRCULACIÓN INTERNA DE AGUA.** Todo ente generador podrá recircular las aguas residuales antes de que las mismas se viertan al cuerpo receptor. Dicha recirculación no se considerará como reuso ni estará sujeta a las disposiciones del presente Reglamento.

CAPÍTULO VIII

PARÁMETROS PARA LODOS

**Artículo 38. OBLIGATORIEDAD.** Todos los lodos producidos como consecuencia del tratamiento de aguas residuales que representen un riesgo para el ambiente y la salud y seguridad humana deben cumplir los límites máximos permisibles para su disposición final del presente Reglamento.

**Artículo 39. APLICACIÓN.** Los lodos que se regulan en el presente Reglamento son aquellos generados por el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario o especial.

**Artículo 40. TECNOLOGÍA Y SISTEMAS PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS.** Se permite el tratamiento de los lodos por medio de la tecnología o los sistemas que el ente generador considere más adecuados a sus condiciones particulares, incluyendo la incineración a temperaturas mayores de mil quinientos grados Celsius.

**Artículo 41. DISPOSICIÓN FINAL.** Se permite efectuar la disposición final de lodos, por cualesquiera de las siguientes formas:

- Aplicación al suelo: acondicionador, abono o compost.
- Disposición en rellenos sanitarios.
- Confinamiento o aislamiento, y,
- Combinación de las antes mencionadas.

**Artículo 42. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LODOS.**

Para poder efectuar la disposición final de lodos de acuerdo a las formas descritas en el artículo 41 del presente Reglamento, los valores de sus propiedades fisicoquímicas no deben exceder los límites máximos permisibles descritos en el siguiente cuadro:

Disposición Final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca a treinta grados Celsius	50	100	> 100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca a treinta grados Celsius	50	100	> 100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca a treinta grados Celsius	1500	3000	> 3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca a treinta grados Celsius	25	50	> 50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca a treinta grados Celsius	500	1000	> 1000

Los expresados en el cuadro anterior son los límites máximos permisibles para suelos con potencial de hidrógeno menor que siete unidades. En los suelos que posean potencial de hidrógeno mayor o igual que siete unidades se podrán disponer lodos hasta un cincuenta por ciento más de los valores presentados como límites máximos permisibles.

**Artículo 43. APLICACIÓN AL SUELO.** Los lodos que presenten metales pesados y que se ajusten a los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 42, podrán disponerse como acondicionador del suelo, en cuyo caso se permitirá disponer hasta doscientos mil kilogramos por hectárea por año. En caso de que la aplicación sea como abono se permitirá disponer hasta cien mil kilogramos por hectárea por año.

**Artículo 44. DISPOSICIÓN HACIA RELLENOS SANITARIOS.** Se permitirá la disposición en un relleno sanitario de los lodos que no sean bioeficaces, que no requieran confinamiento y que cumplan con los límites máximos permisibles del artículo 42 del presente Reglamento.

Los rellenos sanitarios deberán contar con autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y con aval del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

**Artículo 45. CONFINAMIENTO O AISLAMIENTO.** Los lodos que en su estructura posean compuestos que requieran confinamiento o aislamiento para evitar el impacto adverso del manito fríasico, las fuentes de suministro de agua superficiales y subterráneas, el suelo, subsuelo y el aire, deben disponerse en recintos que poseen autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el aval de los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social y de Energía y Minas.

**Artículo 46. COMERCIALIZACIÓN.** La comercialización de los lodos producidos es libre, siempre que los mismos se caractericen y se cumpla con los tratados y convenios internacionales que rijan en la materia ratificados por Guatemala y con lo siguiente:

- No debe permitirse el contacto humano directo con los lodos.
- Los lodos deben cumplir las especificaciones descritas en el artículo 42.
- El transporte de lodos debe realizarse en recipientes y vehículos acondicionados para evitar fugas y derrames.
- Los recintos para su almacenamiento transitorio deben ser autorizados para el efecto por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final deben contar con la autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, y si es aplicable del Ministerio de Energía y Minas.

**Artículo 47. CONTRATACIÓN DE SERVICIOS.** Las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final de lodos deberán cumplir lo dispuesto en los artículos 41, 42, 43, 44, 45 y 46 del presente Reglamento. En el caso de la contratación de cualquiera de los servicios establecidos en este artículo, el ente generador queda exento de responsabilidad.

**Artículo 48. VIGILANCIA DE CUMPLIMIENTO.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales coordinará a través de sus dependencias la realización, a su costa, de muestreos aleatorios de los lodos de lodos que sean dispuestos, a efecto de verificar el cumplimiento de los parámetros del artículo 42 del presente Reglamento, cuando sea aplicable.

#### CAPÍTULO IX

##### SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

**Artículo 49. DE LA FRECUENCIA DE TOMA DE MUESTRAS.** Para el seguimiento y evaluación de aguas residuales y de aguas para reuso, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico.

Para el seguimiento y evaluación de lodos, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico. En el caso de las entidades contratadas para prestar los servicios de extracción, manejo y disposición final de lodos, éstas tendrán que realizar su toma de muestras de acuerdo al siguiente cuadro:

Peso promedio de lodos producidos	Periodicidad
Entre 0 y 1500 kilogramos diarios	Trimestral
Entre 1501 y 3000 kilogramos diarios	Bimensual
Más de 3000 kilogramos diarios	Mensual

Los entes generadores deberán llevar un registro de los resultados de estos análisis y conservarlos durante un plazo de cinco años posteriores a su realización, para su presentación al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales cuando le sea requerido por razones de seguimiento y evaluación.

El número de muestras simples requeridas para conformar una muestra, se indica en el cuadro siguiente:

Número de muestras simples para conformar una muestra compuesta e intervalos por muestreo		
Horas por día que opera la actividad que genera la descarga de aguas residuales	Número mínimo de muestras simples para conformar una muestra compuesta	Intervalo mínimo en horas entre toma de muestras simples
Menor que 8	2	2
De 8 a 12	3	3
Mayor que 12	4	3

**Artículo 50. MEDICIÓN DE CAUDAL.** En la toma de cada muestra simple se hará una medición de caudal, para poder relacionarla con la concentración y así determinar la carga.

**Artículo 51. VIGILANCIA DE CUMPLIMIENTO.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales vigilará que se cumplan con todos los requisitos y procedimientos, establecidos en el presente Reglamento para los entes generadores y para las personas que descargan aguas residuales al alcantarillado público. Asimismo,

coordinará a través de sus dependencias competentes, la realización de muestreos aleatorios en los cuerpos receptores y en los dispositivos para toma de muestras, para evaluar el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico y el cumplimiento del presente Reglamento.

**Artículo 52. CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA TOMA DE MUESTRAS.** Los entes generadores deberán contar, en todos los puntos de descarga, con un dispositivo para facilitar la toma de muestras y la medición de caudales; dichos dispositivos deberán estar ubicados en lugares accesibles para la inspección. En el caso de los entes generadores a los cuales se aplique el artículo 22 y 23 contarán con el dispositivo para la toma de muestras del afluente.

**Artículo 53. LUGARES EXCLUSIVOS PARA TOMA DE MUESTRAS.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y otras entidades de gobierno, incluidas las descentralizadas y autónomas, de acuerdo con las competencias asignadas por la Ley, a través de sus dependencias respectivas, coordinarán las acciones para la toma de muestras, exclusivamente en lugares donde se encuentran ubicados los dispositivos de descarga mencionados en el artículo 52.

**Artículo 54. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MUESTREO.** Para los efectos de lo previsto en el presente Reglamento, los laboratorios estatales, universitarios, privados legalmente constituidos, o los laboratorios establecidos por los entes generadores, emplearán los métodos de análisis y muestreo establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas; o en su defecto por entidades como:

- Asociación Americana de Salud Pública, Asociación Americana de Obras de Agua y Federación de Ambientes Acuáticos en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales;
- Organizaciones técnicas reconocidas en el ámbito nacional e internacional, y
- Especificaciones del fabricante de los equipos que se utilicen.

Los informes de los resultados de los análisis de laboratorio, deberán ser firmados por profesional colegiado activo especializado en la materia.

#### CAPÍTULO X

##### PROHIBICIONES Y SANCIONES

**Artículo 55. PROHIBICIÓN DE DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES.** Se prohíbe terminantemente la disposición de aguas residuales de tipo ordinario a flor de tierra, en canales abiertos y en alcantarillado pluvial.

**Artículo 56. PROHIBICIÓN DE DESCARGA DIRECTA.** Se prohíbe descargar directamente aguas residuales no tratadas al manito fríasico.

**Artículo 57. PROHIBICIÓN DE DILUIR.** Se prohíbe el uso de cualquier tipo de aguas ajenas al ente generador, con el propósito de diluir las aguas residuales. Ninguna meta contemplada en el presente Reglamento se puede alcanzar diluyendo.

**Artículo 58. PROHIBICIÓN DE REUSOS.** Se prohíbe el reuso de aguas residuales en los siguientes casos:

- En las zonas núcleo de las áreas protegidas siguientes: parque nacional, reserva biológica, biotopo protegido, monumento natural, área recreativa natural, manantial y refugio de vida silvestre;
- En las zonas núcleo de los sitios Ramsar, declarados en el marco de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas;
- En otras áreas donde se ponga en riesgo la biodiversidad y la salud y seguridad humana;
- Para el uso con fines recreacionales exceptuando el tipo V, indicado en el artículo 34.

**Artículo 59. PROHIBICIÓN DE DISPOSICIÓN DE LODOS.** Se prohíbe terminantemente efectuar la disposición final de lodos en alcantarillados o cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Además, se prohíbe la disposición de lodos como abono para cultivos comestibles que se pueden consumir crudos o precocidos, hortalizas y frutas, sin haber efectuado su estabilización y desinfección respectiva ni haber determinado la ausencia de metales pesados y que no excedan las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales.

**Artículo 60. APLICACIÓN DE SANCIONES.** Las infracciones a este Reglamento darán lugar a la aplicación de cualesquiera de las sanciones establecidas en la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, según el grado de incumplimiento de límites máximos permisibles observando:

- La mayor o menor gravedad del impacto ambiental, según el tipo de incumplimiento de que se trate,
- La trascendencia del perjuicio a la población,
- Las condiciones en que se produce, y
- La reincidencia del infractor.

La omisión del cumplimiento de alguno de los requerimientos establecidos en el artículo 6 del presente reglamento, dará lugar a que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, de conformidad con lo estipulado en el artículo 29, 31 y 34 de la Ley de la Protección y Mejoramiento de Medio Ambiente, inicie el proceso administrativo correspondiente.

## CAPÍTULO XI

## DISPOSICIONES FINALES

**Artículo 61. EXCEPCIÓN DE LA PREPARACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO.** Se exceptúan de la preparación del estudio técnico contemplado en el artículo 5 como ente generador toda vivienda unifamiliar y aquellas edificaciones, públicas y privadas, que generen solamente aguas residuales de tipo ordinario y que cuenten con acometida autorizada hacia el alcantarillado público o de entes administradores de servicios de tratamiento de aguas residuales.

Esta excepción no aplica para las municipalidades ni las empresas que tienen concesionados los servicios de recolección, transporte, manejo o disposición de aguas residuales; ni las plantas de tratamiento de urbanizaciones que no estén conectadas a una acometida municipal; porque de conformidad con lo estipulado en el artículo 5 del presente Reglamento, son generadores de aguas residuales.

**Artículo 62. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE FÓSFORO.** Quienes efectúen descargas hacia cuencas de lagos, lagunas o embalses naturales, tendrán obligación de cumplir con cinco miligramos por litro de fósforo total al finalizar la cuarta etapa. Asimismo, en el caso de los entes generadores nuevos deberán cumplir con cinco miligramos por litro de fósforo total al inicio de sus operaciones.

**Artículo 63. INCUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES Y SUS ETAPAS CORRESPONDIENTES.** Se entenderá que hay contaminación cuando los entes generadores existentes y las personas existentes que descargan aguas residuales al alcantarillado público, incumplan con los límites máximos permisibles establecidos en las etapas correspondientes del artículo 17 y, también, cuando incumplan con las consideraciones de los artículos 19, 20, 22, 26, 27 y 28.

Se entenderá que existe contaminación cuando los entes generadores nuevos y las personas nuevas que descargan aguas residuales al alcantarillado público, incumplan con los límites máximos permisibles en las etapas de cumplimiento correspondientes y las consideraciones contempladas en los artículos 17, 19, 20, 22, 26, 27 y 28, siempre y cuando los valores de sus descargas excedan los límites máximos permisibles que en el momento tenían autorizados los entes generadores existentes.

El incumplimiento de los límites máximos permisibles por parte de los entes generadores nuevos y las personas nuevas que descargan aguas residuales al alcantarillado público, de conformidad con los artículos 21 y 22, y 30, respectivamente, con valores que no excedan los límites máximos permisibles autorizados para los entes generadores existentes, conforme a los artículos 17, 19, 20 y 22 y las personas existentes que descargan aguas residuales al alcantarillado público, conforme a los artículos 26, 27 y 28, en las etapas de cumplimiento uno, dos y tres, dará lugar a la aplicación de las sanciones administrativas que contempla la ley.

Para todos los efectos legales, el periodo de estabilización otorgado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales a un ente generador nuevo o a una persona nueva que descarga aguas residuales al alcantarillado público, se considerará como una situación de caso fortuito o desastres naturales, y en consecuencia cualquier incumplimiento dentro de dicho periodo estará excluido de responsabilidad penal o administrativa.

**Artículo 64. REVISIÓN DEL REGLAMENTO DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES.** La revisión del presente Reglamento deberá hacerse cada cuatro años, respetando el principio de gradualidad en las etapas de cumplimiento y considerando el grado de cumplimiento de los entes generadores y de las personas que descargan al alcantarillado público.

**Artículo 65. CUMPLIMIENTO DE LAS MUNICIPALIDADES.** Las Municipalidades que opten por cumplir lo preceptuado en el literal b) del artículo 24 de este Reglamento, iniciarán el cumplimiento de los límites máximos permisibles de la etapa uno para entes generadores existentes, el dos de mayo de dos mil once. A partir de dicha fecha, aplicarán las reducciones en los plazos y etapas establecidos, hasta el final de los dieciocho años.

Esta disposición no exige a las Municipalidades del cumplimiento de los demás aspectos que contempla el presente Reglamento.

**Artículo 66. CUMPLIMIENTO DE PERSONAS PRIVADAS QUE DESCARGAN A SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRIVADOS.** Las personas individuales o jurídicas privadas que descargan aguas residuales de tipo especial a un sistema de alcantarillado privado para conducir dichas aguas a la planta de tratamiento de aguas residuales privada en operación no se consideran entes generadores de aguas residuales o personas que descargan aguas residuales de tipo especial al alcantarillado

público, porque para los efectos de aplicación del presente Reglamento, la persona individual o jurídica responsable de administrar la planta de tratamiento será considerada el ente generador o la persona que descarga aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público para todos los efectos del presente Reglamento. El único punto de referencia para el control de la descarga en estos casos es el efluente de la planta de tratamiento.

**Artículo 67. EPIGRAFES.** Los epígrafes que preceden a los artículos del presente Reglamento, no tienen validez interpretativa y no pueden ser citados con respecto al contenido y alcances de esta norma.

## CAPÍTULO XII

## DISPOSICIONES TRANSITORIAS

**Artículo 68. PLAZO PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO.** La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público deberá realizar el estudio técnico estipulado en el presente Reglamento, en el plazo de un año, contado a partir de la vigencia del mismo.

**Artículo 69. EXPEDIENTES EN TRÁMITE.** Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que vierten las aguas residuales a cuerpos receptores cuya solicitud de aprobación de instrumentos de evaluación ambiental se encuentre en trámite antes de la vigencia del presente Reglamento, se considerarán entes generadores existentes para todos los efectos de su aplicación, de acuerdo a los artículos 17, 18, 19, 20 y 22.

Asimismo a las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que viertan sus descargas al alcantarillado público y cuya solicitud de aprobación de instrumentos de evaluación ambiental se encuentre en trámite antes de la vigencia del presente Reglamento, les será aplicable lo preceptuado en los artículos 26, 27, 28 y 29 del mismo.

**Artículo 70. LÍMITES APROBADOS EN ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.** Cuando en la resolución del Estudio de Evaluación Impacto Ambiental se hayan aprobado límites con valores menores que los contenidos en el presente Reglamento, dichos límites continuarán siendo aplicables a ese ente generador existente. En caso de que los valores de los límites aprobados en la resolución del Estudio de Evaluación Impacto Ambiental sean mayores a los establecidos en los artículos 17, 19, 20, 22, 26, 27 y 28, ese ente generador o persona que descarga aguas residuales al alcantarillado público, deberá cumplir con lo dispuesto en las etapas y las fechas máximas de cumplimiento que corresponda a los artículos mencionados.

**Artículo 71. MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.** Los resultados que se obtengan en los Estudios Técnicos servirán de base para elaborar, en un plazo no mayor de dieciocho meses a partir de la vigencia del presente Reglamento, el modelo de reducción progresiva de cargas correspondiente a la demanda química de oxígeno.

**Artículo 72. OTROS PARÁMETROS.** Otros parámetros que en el futuro se identifiquen como materia de este Reglamento serán agregados al presente cuerpo normativo si determinarse los mismos.

**Artículo 73. MANUALES.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales queda facultado para que, en el plazo de un año a partir de la vigencia del presente Reglamento, elabore el Manual General que contenga, entre otros temas, los siguientes:

- Toma de muestras de aguas residuales, aguas para reuso y lodos.
- Cálculo de cargas.
- Aplicación del modelo de reducción progresiva de cargas.
- Deducción especial de valores en parámetros.

**Artículo 74. DEROGATORIA.** Se deroga el Acuerdo Gubernativo número 66-2005 de fecha 17 de febrero de 2005, que contiene el Reglamento de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y cualquier otra disposición que se oponga al presente Reglamento.

**Artículo 75. VIGENCIA.** El presente Acuerdo empezará a regir el día siguiente de su publicación en el Diario de Centro América.

COMUNIQUESE.

*Oscar Berger*  
OSCAR BERGER



## **B. Resultados de laboratorio y análisis estadístico de efluentes de proceso**

Las siguientes tablas de resultados incluyen los parámetros de diseño. La tabla XII-1 muestra resultados de los análisis de laboratorio de ocho muestras compuestas simples. La tabla XII-2 muestra los valores promedio y análisis estadístico aplicado a los resultados de los análisis de laboratorio para cada parámetro.

En la tabla XII-3 se muestran los resultados de laboratorio obtenidos para las muestras 1, 4 y 7 en la cual se incluyen los parámetros analizados que no forman parte de la lista de parámetros de diseño dado que respetan los límites permitidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, valores válidos del 16 de mayo del 2007 hasta el 2 de mayo de 2011. Asimismo, se muestra el análisis estadístico correspondiente.

La empresa textil se encontró exenta de realizar el análisis de coliformes fecales.

Tabla XII-1. Resultados de laboratorio.

Parámetro	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8
pH		9.48	8.18	10.19	7.83	8.74	9.5	9.14	8.81
Temperatura	°C	41	45	39	43	29	31	39	41
Color	u Pt-Co	4100	2030	3560	1990	5460	1180	3000	1650
SST	mg/L	16.70	10.70	100.00	90.00	90.00	130.00	50.00	60.00
DQO	mg/L	794	806	966	875	856	881	1038	983
DBO <sub>5</sub>	mg/L	199	202	242	219	214	220	260	246

Tabla XII-2. Valores promedio y análisis estadístico

Parámetro	Unidades	Promedio, x	Desviación, s	x+s
pH		8.98	0.76	9.74
Temperatura	°C	39	6	44
Color	u Pt-Co	2871	1441	4312
SST	mg/L	68.43	41.64	110.07
DQO	mg/L	900	87	987
DBO <sub>5</sub>	mg/L	225	22	247

Tabla XII-3. Resultados de análisis de laboratorio de los parámetros que respetan lo indicado en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 hasta mayo de 2011.

Parámetro	unidades	1	4	7	Promedio, x	Desviación Estándar, s	x+s
Grasas y Aceites	mg/L	0	0	0	0	0	0
Materia Flotante		ausente	ausente	ausente			
Nitrógeno	mg/L	0.9	20	5	12.5	10.61	23.11
Fósforo	mg/L	0.3	0.9	2	1.45	0.78	2.23
Arsénico	mg/L	0.02	0.1	0.04	0.05	0.04	0.09
Cadmio	mg/L	0.5	0	0.2	0.1	0.14	0.24
Cianuro	mg/L	0	0	0	0	0	0
Cobre	mg/L	0.2	0.7	0.8	0.75	0.07	0.82
Cromo Hexavalente	mg/L	0	0	0	0	0	0
Mercurio	mg/L	0.04	0.03	0.04	0.04	0.01	0.04
Níquel	mg/L	0.7	0.25	0.9	0.58	0.46	1.03
Plomo	mg/L	0.9	0.2	2	1.1	1.27	2.37
Cinc	mg/L	0.1	0	0.5	0.25	0.35	0.60

### C. Medición, análisis y cálculos de caudales

Se consideró que la muestra es representativa al encontrarse dentro de este período de tiempo el ciclo completo de la producción.

Tabla XII-4. Medición de caudal del 20 de junio al 20 de noviembre de 2006.

Fecha	m <sup>3</sup> /día	Fecha	m <sup>3</sup> /día
20.07.00	340.20	20.08.00	-
21.07.00	272.16	21.08.00	136.08
22.07.00	408.24	22.08.00	272.16
23.07.00	-	23.08.00	340.20
24.07.00	340.20	24.08.00	408.24
25.07.00	272.16	25.08.00	476.28
26.07.00	408.24	26.08.00	476.28
27.07.00	476.28	27.08.00	-
28.07.00	408.24	28.08.00	272.16
29.07.00	408.24	29.08.00	272.16
30.07.00	-	30.08.00	408.24
31.07.00	136.08	31.08.00	408.24
01.08.00	340.20	01.09.00	408.24
02.08.00	340.20	02.09.00	476.28
03.08.00	476.28	03.09.00	-
04.08.00	408.24	04.09.00	136.08
05.08.00	408.24	05.09.00	476.28
06.08.00	-	06.09.00	544.32
07.08.00	476.28	07.09.00	612.36
08.08.00	340.20	08.09.00	544.32
09.08.00	476.28	09.09.00	612.36
10.08.00	408.24	10.09.00	612.36
11.08.00	544.32	11.09.00	340.20
12.08.00	340.20	12.09.00	408.24
13.08.00	-	13.09.00	680.40
14.08.00	408.24	14.09.00	680.40
15.08.00	-	15.09.00	612.36
16.08.00	340.20	16.09.00	544.32
17.08.00	408.24	17.09.00	476.28
18.08.00	476.28	18.09.00	340.20
19.08.00	476.28	19.09.00	816.48

Tabla XII-4. Medición de caudal del 20 de junio al 20 de noviembre de 2006 (continuación).

Fecha	m <sup>3</sup> /día	Fecha	m <sup>3</sup> /día
20.09.00	680.40	21.10.00	-
21.09.00	884.52	22.10.00	-
22.09.00	816.48	23.10.00	816.48
23.09.00	884.52	24.10.00	952.56
24.09.00	680.40	25.10.00	1,020.60
25.09.00	272.16	26.10.00	1,088.44
26.09.00	748.44	27.10.00	1,224.72
27.09.00	816.48	28.10.00	1,088.44
28.09.00	816.48	29.10.00	-
29.09.00	748.44	30.10.00	884.52
30.09.00	816.48	31.10.00	884.52
01.10.00	748.44	01.11.00	544.32
02.10.00	272.16	02.11.00	476.28
03.10.00	544.32	03.11.00	408.24
04.10.00	816.48	04.11.00	-
05.10.00	1,088.44	05.11.00	-
06.10.00	1,020.60	06.11.00	204.12
07.10.00	952.56	07.11.00	340.20
08.10.00	884.52	08.11.00	408.24
09.10.00	204.12	09.11.00	476.28
10.10.00	1,088.44	10.11.00	340.20
11.10.00	884.52	11.11.00	272.16
12.10.00	952.56	12.11.00	-
13.10.00	1,088.44	13.11.00	136.08
14.10.00	816.48	14.11.00	340.20
15.10.00	-	15.11.00	408.24
16.10.00	476.28	16.11.00	544.32
17.10.00	884.52	17.11.00	476.28
18.10.00	816.48	18.11.00	408.24
19.10.00	1,020.60	19.11.00	-
20.10.00	884.52	20.11.00	272.16

Tabla XII-5. Análisis estadístico de las mediciones de caudal

PROMEDIO, $\bar{x}$	488.35
DESVIACIÓN ESTÁNDAR, $s$	309.68
COEFICIENTE DE VARIANZA, $C_v$	63.41

Tabla XII-6. Frecuencia de resultados

Resultado	Frecuencia
0	16
136.08	4
204.12	2
272.16	9
340.20	13
408.24	18
476.28	15
544.32	7
612.36	4
680.40	4
748.44	3
816.48	9
884.52	8
952.56	3
1,020.60	3
1,088.44	5
1,224.72	1

Por medio del criterio estadístico Q se eliminó el dato de 1,224.72 m<sup>3</sup>/d.

Tabla XII-7. Caudales para diseño

Caudales	Unidades	Valor
Caudal promedio	m <sup>3</sup> /d	488
Caudal diario máximo	m <sup>3</sup> /d	1,088
Caudal diario mínimo	m <sup>3</sup> /d	0.00

## D. Cálculos de diseño

### TAMIZADO

Se seleccionó una rejilla rotativa autolimpiante para realizar un tamizado fino, de 0.25 a 0.5 mm de tamaño de orificio (mesh), con lo cual se logra una remoción del 45% de los sólidos totales en suspensión, TSS.

Se propone colocar el filtro tamizador en un canal de 0.4 m de ancho por 0.4 m de alto. Para un canal así:

Se asumen los siguientes datos:

$r = 0.15 \text{ m}$  donde  $r$  es el radio del tambor del filtro

$l = 0.3 \text{ m}$  donde  $l$  es el largo del tambor del filtro

$\text{rpm} = 3.5$  donde rpm es la velocidad de rotación del tambor del filtro

espesor de capa de 2 mm = 0.002 m

sector expuesto = 7/16 del tambor

área expuesta =  $(2\pi r l) (7/16) = (2\pi)(0.15)(0.3)(7/16)$

$$= 0.1237 \text{ m}^2$$

El máximo volumen acumulado sobre el tambor es:

$$0.1237 \text{ m}^2 \times 0.002 \text{ m} = 2.474 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Se trata de un filtro pequeño considerando el nivel de sólidos totales suspendidos del efluente. Se seleccionó el modelo COSME R20, el cual aparece en el anexo 5. La potencia del equipo es de 0.18 kW.

## **ECUALIZACIÓN**

### **A. Dimensionamiento del tanque**

Se optó por un tanque de 32 m x 12 m. Se resta el espacio que ocupan las paredes de concreto, de 0.30 m en cada lado, por lo que el espacio disponible es de 31.4 m x 11.4 m.

Se tomó el caudal máximo diario como el caudal de diseño del tanque de ecualización, ya que se considera que ya hay sobredimensionamiento cuando se tomó ese valor, pues equivale a la medición del agua consumida en un día, sin considerar que cierto volumen se pierde en la planta por diversas razones:

$$Q_o = 1,088.65 \text{ m}^3/\text{d}$$

Éste equivale al volumen efectivo del tanque para obtener un tiempo de residencia de 24 horas. La altura máxima del agua en este tanque es

$$h = 1,088.65 \text{ m}^3 / (11.4 \text{ m} \times 31.4 \text{ m}) = 3.04 \text{ m}$$

De esa manera se concluye que las dimensiones del tanque de equalización son 11.4 m de ancho x 31.4 m de largo x 3.5 m de altura.

1. Potencia necesaria para mezclado. Para sólidos suspendidos de aguas negras medianas se requiere de 0.004 a 0.008 kW/m<sup>3</sup> (Metcalf, 2003:344). Se escoge 0.004 al tomar en cuenta los sólidos de estos efluentes. El volumen de agua en el tanque es 1,088.65 m<sup>3</sup>.

$$P = 0.004 \text{ kW/m}^3 \times 1,088.65 \text{ m}^3 = 4.35 \text{ kW}$$

Se decide utilizar dos puntos en el tanque para mezclar. Como se va a usar un aireador, éste también sirve de mezclador, así que en vez de utilizar dos mezcladores que juntos tengan una potencia de 4.35 kW se optó por un único mezclador de la mitad de potencia.

Se seleccionó el mezclador FLYGT ITT 4640, de 2 kW. Ver hoja técnica correspondiente en el anexo 5.

2. Volumen de aire necesario para aireación. Para mantener las condiciones aeróbicas se requiere de aireación. Se optó por un eyector de aire, que además sirve para mezclar.

La profundidad a la cual se colocará el eyector de aire es 3 m

$$3 \text{ m} \times 3.281 \text{ pie/m} = 9.84 \text{ pie}$$

Consultando la hoja técnica, se seleccionó el eyector de aire FLYGT ITT JA 112-X6-3085-462. Este equipo provee el aire necesario para mantener las condiciones aeróbicas y a la vez contribuir al mezclado con esta potencia tomando en cuenta la profundidad a la cual se debe instalar.

A 9.84 pie de profundidad los kW de potencia de accionamiento serán 2.5 kW, completando lo necesario para el mezclado. El oxígeno transferido es 4.9 lb O<sub>2</sub>/h y el flujo de aire es 33 SCFM.

3. Bombeo del tanque de ecualización hacia el biofiltro activado. La bomba está colocada en el fondo del tanque de ecualización. El tanque de ecualización está enterrado y el biofiltro está sobre el nivel del suelo. El tanque de ecualización tiene 3.5 m de profundidad y la tubería debe subir a un nivel de 6.5 m de altura sobre el nivel del piso para alcanzar el distribuidor de caudal que alimenta los módulos de biofiltración.

Para seleccionar la bomba se requiere conocer la cabeza y el flujo:

Para calcular la cabeza de elevación se usa la fórmula:

$$H = \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + z_d - \left( \frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + z_s \right)$$

$$H = \Delta H_p + \Delta H_v + \Delta H_z$$

(No se toma en cuenta la cabeza de fricción porque más adelante se tomará en cuenta la eficiencia de la bomba,  $\eta$ .)

Donde:

$H$  = cabeza dinámica total, en m

$P_d$  y  $P_s$  = presión en los puntos de descarga y succión respectivamente, en  $\text{N/m}^2$

$\gamma$  = peso específico del agua, en  $\text{N/m}^3$

$g$  = aceleración gravitacional, o  $9.81 \text{ m/s}^2$

$V_d$  y  $V_s$  = velocidad en la boca de descarga y succión respectivamente, en  $\text{m/s}$

$z_d$  y  $z_s$  = elevaciones de descarga y succión, en m

a. Cabeza estática total,  $\Delta H_z$

$$z_d = 10.0 \text{ m}$$

$$z_s = \text{de } 1.0 \text{ m a } 3.0 \text{ m}$$

Cuando está a 1.0 m:

Cabeza estática total = 9 m

b. Cabeza de velocidad,  $\Delta H_v$

Se escoge la siguiente tubería (McCabe, 1985:924):

		Diámetro Interno	área pie <sup>2</sup>
Succión	3 pulg	3.068 pulg	0.05130
Descarga	2 pulg	2.067 pulg	0.02330

Se hicieron los cálculos en Sistema Inglés por disponer de la información en ese sistema. Luego se hizo la conversión a Sistema Internacional.

$$Q = 1,088 \text{ m}^3/\text{d} \times 1\text{d}/86,400 \text{ s} \times (35.32 \text{ pie}^3/\text{s})/\text{m}^3 = 0.44 \text{ pie}^3/\text{s}$$

$$V_d = Q_d/A_d = (0.44 \text{ pie}^3/\text{s})/0.02230 \text{ pie}^2 = 19.09 \text{ pie}/\text{s}$$

$$V_s = Q_s/A_s = (0.44 \text{ pie}^3/\text{s})/0.05130 \text{ pie}^2 = 8.67 \text{ pie}/\text{s}$$

$$V_d^2 = (19.09 \text{ pie}/\text{s})^2 = 364.38 \text{ pie}^2/\text{s}^2$$

$$V_s^2 = (8.67 \text{ pie/s})^2 = 75.18 \text{ pie}^2/\text{s}^2$$

$$\Delta H_v = \frac{(364.38 - 75.18) \text{ pie}^2 / \text{s}^2}{2(32.2 \text{ pie} / \text{s}^2)} = 289.20 \text{ pie} / 64.4 = 4.49 \text{ pie}$$

$$\Delta H_v = 1.37 \text{ m}$$

c. Cabeza de presión,  $\Delta H_p$

Debido a que la succión está a una presión diferente que la descarga, se consideró oportuno calcular la cabeza de presión, pues se tiene la succión dentro de un tanque con una columna de 3 m de agua y la descarga es a presión atmosférica.

Se calcula la presión hidrostática de la succión con la fórmula:

$$P_s = p_o + \gamma h$$

Donde  $p_o$  es la presión atmosférica a 1,478 metros sobre el nivel del mar,  $\gamma$  es el peso específico del agua, y  $h$  la altura del agua sobre el punto de succión.

$$p_o = 742 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}} = 0.976 \text{ atm}$$

$$\gamma = 9,789 \text{ N/m}^3$$

$$h = 3 \text{ m} \times 3.281 \text{ pie}/1 \text{ m} = 9.843 \text{ pie}$$

$$h = 9.843 \text{ pie} \times 1 \text{ atm} / 33.9 \text{ pie}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.3 \text{ atm}$$

$$P_s = 0.976 \text{ atm} + 0.3 \text{ atm} = 1.276 \text{ atm}$$

$$\Delta H_p = (P_d - P_s) / \gamma = -0.3 \text{ atm} / (9,789 \text{ N/m}^3)$$

$$-0.3 \text{ atm} \times (1.0133 \times 10^2 \text{ kN/m}^2) / 1 \text{ atm} = -0.3 \text{ kN/m}^2$$

$$(-300 \text{ N/m}^2) / (9,789 \text{ N/m}^3) = -0.03 \text{ m}$$

$$\Delta H_p = -0.03 \text{ m}$$

$$H = 9 \text{ m} + 1.37 \text{ m} - 0.03 = 10.34 \text{ m}$$

La cabeza total es 10.34 m

Se pasa a sistema inglés para poder utilizar las tablas del fabricante para seleccionar la bomba:

$$H = 10.34 \text{ m} \times 3.281 \text{ pie/1m} = 33.93 \text{ pie}$$

$$Q = 1,088 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ L/m}^3 \times 1 \text{ d} / 1,440 \text{ min} \times 1 \text{ gal} / 3.785 \text{ L} = 200$$

gpm

Utilizando los manuales del fabricante con esta información se seleccionó la bomba CP 3068 HT de 2.8 kW (3.8 HP). Ver la hoja técnica en el anexo 5.

4. Niveles en el tanque de equalización. Al tener seleccionados los equipos y conocer sus dimensiones se escoge poner los siguientes medidores

de nivel en el tanque de equalización: medidor de nivel máximo a 3 m de profundidad y un medidor de nivel mínimo a 1 m de profundidad.

### BIOFILTRACIÓN ACTIVADA

Se toma una altura de 6 m dado que el diseño es con base en datos empíricos y se cuenta con información para esta altura. Se asume 20°C. Para 20°C y 6 m  $k = 0.107$  para efluentes textiles (Metcalf, 2003: 918). El caudal Q es  $1,088 \text{ m}^3/\text{d} \times 1,000 \text{ L/m}^3 \times 1\text{d}/86,400 \text{ s} = 12.59 \text{ L/s}$

1. Determinación del área de superficie requerida para un filtro de 6 m a 20°C.

Se utiliza la fórmula de Germain (Metcalf, 2003:917), para el cálculo de filtros de goteo con empaque plástico, asumiendo una reacción de primer orden:

$$S_e/S_i = \exp[-k_{20}D/q^n]$$

Donde

$S_e$  = DBO<sub>5</sub> del efluente del filtro, mg/L

$S_i$  = DBO<sub>5</sub> del afluente al filtro, es decir, del efluente primario, mg/L

$k_{20}$  = constante de tratabilidad correspondiente a la altura del filtro a 20 °C

D = altura del filtro, m

$q$  = carga hidráulica,  $m^3 / (m^2 \cdot d)$

$n$  = constante exponencial del medio, usualmente 0.5 para empaque plástico

Para calcular el área se sustituye  $q = Q/A$  y reordenando la ecuación:

donde Q es el caudal y A es el área.

$$A = Q \left[ -(\ln S_e / S_i) / k_{20} D \right]^{1/n}$$

$$A = 12.59 \text{ L/s} \left[ -(\ln 30/125) / (0.107 \times 6) \right]^{1/0.5}$$

$$A = 62.86 \text{ m}^2$$

2. Determinación de la carga hidráulica.

$$q = Q/A$$

$$q = \frac{1,088 m^3 / d}{63 m^2}$$

$$q = 17.26 \text{ m}^3 / m^2 \cdot d$$

3. Determinación del volumen del lecho empacado:

$$V = 6 \text{ m} \times 63 \text{ m}^2 = 378 \text{ m}^3$$

#### 4. Determinación de la carga orgánica (DBO).

$$\text{Carga DBO} = \frac{1,088m^3 / d \times 125g / m^3}{378m^3 \times 1,000g / kg}$$

$$\text{Carga DBO} = 0.36 \text{ kg/m}^3 \cdot d$$

#### 5. Determinación de la cantidad de módulos.

Se opta por una geometría de tanque cuadrado (prisma rectangular).

Se descarta tener un único módulo para mayor confiabilidad del sistema.

Se hace el cálculo para 2, 3 y 4 módulos.

$$A=63 \text{ m}^2$$

Opción 2 módulos: 5.6 m x 5.6 m

Opción 3 módulos: 4.6 m x 4.6 m

Opción 4 módulos: 4.0 m x 4.0 m

Se seleccionó la opción de 3 módulos de 4.6 m x 4.6 m por considerarse conveniente para el retrolavado o mantenimiento (2 módulos siempre están operando como mínimo) y por adecuarse bien al espacio disponible.

6. Aireación necesaria para la oxidación biológica. Se tiene un efluente primario que luego de pasar por el tamizado fino y la equalización tiene una  $\text{DBO}_5$  de 125 mg/L. El tratamiento biológico debe reducir este valor a 30 mg/L, es decir, una eficiencia de 76%, lo cual está dentro del rango para esta tecnología. Se necesita entonces 95 mg/L de oxígeno para oxidar esta carga orgánica. Sine embargo, la DQO también tiene una parte biodegradable, por lo que se utiliza el valor de la DQO biodegradable para calcular el oxígeno necesario. Se utilizó un factor de 1.64 (Metcalf, 2003:668) para calcularla y se obtiene  $\text{bDQO} = 155.8 \text{ mg/L de O}_2$ .

$$155.8 \text{ mg O}_2/\text{L} \times 1000 \text{ mg aire}/210 \text{ mg O}_2 = 742 \text{ mg aire/L agua}$$

$$742 \text{ mg aire/L agua} \times 1,088 \text{ m}^3/\text{d} \times 1,000 \text{ L/m}^3 \times 1 \text{ kg}/1,000,000 \text{ mg}$$

$$= 808 \text{ kg/d de aire requerido}$$

Tomando en cuenta la altitud de Guatemala:

$$808 \text{ kg aire/d} \times 1 \text{ m}^3/1.183 \text{ kg aire} = 682.5 \text{ m}^3 \text{ aire/d}$$

Se tiene que la transferencia de oxígeno es del 5%, por lo tanto

$$(682.5 \text{ m}^3 \text{ aire/d})/0.05 = 13,649 \text{ m}^3/\text{d}$$

Aire requerido para la oxidación biológica es

$$13,649 \text{ m}^3/\text{d} \times 1\text{d}/24 \text{ h} = 569 \text{ m}^3/\text{h}$$

7. Aireación necesaria para el retrolavado. El retrolavado se lleva a cabo para un módulo a la vez. Se usan entre 90 a 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h de aire y dura 20 minutos (Metcalf, 2003: 963). El volumen de un módulo es 126.9 m<sup>3</sup>, y el área de superficie es 21.16 m<sup>2</sup>. Utilizando valores típicos:

$$110 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h} \times 21.16 \text{ m}^2 = 2,327.6 \text{ m}^3/\text{h} \text{ de aire}$$

Cuando se hace el retrolavado de un módulo hay dos módulos en operación, así que se requiere 2/3 del aire necesario para la oxidación biológica de la carga orgánica adicionalmente:

$$2,367.6 \text{ m}^3/\text{h} + 2/3(569 \text{ m}^3/\text{h}) = 2,746.93 \text{ m}^3/\text{h} \text{ de aire en total}$$

8. Dimensiones del tanque espesador de lodos. Este es un tanque cilíndrico con fondo cónico que recibe las aguas de retrolavado que portan el exceso de lodos eliminado. Esta es una operación discontinua y en cada lote se reciben dichas aguas de un módulo. Se estima que recibe un máximo del 25 % del volumen del módulo. Por lo tanto tiene un volumen de 31.5 m<sup>3</sup>. La altura es de 5 m. El mismo puede ser de plástico o materiales compuestos con fibra de vidrio.

9. Bombeo del biofiltro activado al tanque espesador de lodos posterior al retrolavado de un módulo.

$Z$  = altura del suelo a la parte superior del tanque espesador = 5 m

Para calcular la cabeza de elevación se usa la fórmula:

$$H = \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + z_d - \left( \frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + z_s \right)$$

$$H = \Delta H_p + \Delta H_v + \Delta H_z$$

(No se toma en cuenta la cabeza de fricción porque más adelante se tomará en cuenta la eficiencia de la bomba,  $\eta$ .)

Donde:

$H$  = cabeza dinámica total, en m

$P_d$  y  $P_s$  = presión en los puntos de descarga y succión respectivamente, en  $\text{N/m}^2$

$\gamma$  = peso específico del agua, en  $\text{N/m}^3$

$g$  = aceleración gravitacional, o  $9.81 \text{ m/s}^2$

$V_d$  y  $V_s$  = velocidad en la boca de descarga y succión respectivamente, en m/s

$z_d$  y  $z_s$  = elevaciones de descarga y succión, en m

a. Cabeza estática total,  $\Delta H_z$

Cuando el módulo está lleno al iniciar el bombeo:

$$z_d = 5.0 \text{ m}$$

$$z_s = 6.3 \text{ m}$$

Cabeza estática total = -1.3 m

Asumiendo que el 30 % del líquido se haya bombeado:

$$z_d = 5.0 \text{ m}$$

$$z_s = 4.55 \text{ m}$$

Cabeza estática total = 0.45 m

Para calcular la bomba se usará este valor.

b. Cabeza de velocidad,  $\Delta H_v$ . Se escoge la siguiente tubería

(McCabe, 1985:924):

		Diámetro Interno	área pie <sup>2</sup>
Succión	3 pulg	3.068 pulg	0.05130
Descarga	2 pulg	2.067 pulg	0.02330

Se harán los cálculos en Sistema Inglés por disponer de la información en ese sistema, y luego se hará la conversión a Sistema Internacional.

$$Q = 20 \text{ m}^3/\text{h} \times 1\text{h}/3,600 \text{ s} \times (35.32 \text{ pie}^3/\text{s})/\text{m}^3 = 0.20 \text{ pie}^3/\text{s}$$

$$V_d = Q_d/A_d = (0.20 \text{ pie}^3/\text{s})/0.02330 \text{ pie}^2 = 8.42 \text{ pie}/\text{s}$$

$$V_s = Q_s/A_s = (0.20 \text{ pie}^3/\text{s})/0.05130 \text{ pie}^2 = 3.82 \text{ pie}/\text{s}$$

$$V_d^2 = (8.42 \text{ pie}/\text{s})^2 = 70.90 \text{ pie}^2/\text{s}^2$$

$$V_s^2 = (3.82 \text{ pie}/\text{s})^2 = 14.59 \text{ pie}^2/\text{s}^2$$

$$\Delta H_v = \frac{(70.90 - 14.59) \text{ pie}^2 / \text{s}^2}{2(32.2 \text{ pie} / \text{s}^2)} = 56.31 \text{ pie}/64.4 = 0.87 \text{ pie}$$

$$\Delta H_v = 0.87 \text{ pie}$$

$$\Delta H_v = 0.27 \text{ m}$$

c. Cabeza de presión,  $\Delta H_p$ . Debido a que la succión está a una presión diferente que la descarga, se consideró oportuno calcular la cabeza

de presión, pues se tiene la succión con una columna de 6.5 m de agua y la descarga es a presión atmosférica.

Se calcula la presión hidrostática de la succión con la fórmula:

$$P_s = p_o + \gamma h$$

Donde  $p_o$  es la presión atmosférica a 1,478 metros sobre el nivel del mar,  $\gamma$  es el peso específico del agua, y  $h$  la altura del agua sobre el punto de succión.

$$p_o = 742 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}} = 0.976 \text{ atm}$$

$$\gamma = 9,789 \text{ N/m}^3$$

$$h = 6.3 \text{ m} \times 3.281 \text{ pie/1m} = 20.7 \text{ pie}$$

$$h = 20.7 \text{ pie} \times 1 \text{ atm}/33.9 \text{ pie}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.6 \text{ atm}$$

$$P_s = 0.976 \text{ atm} + 0.6 \text{ atm} = 1.58 \text{ atm}$$

$$\Delta H_p = (P_d - P_s) / \gamma = -0.6 \text{ atm} / (9,789 \text{ N/m}^3)$$

$$-0.6 \text{ atm} \times (1.0133 \times 10^2 \text{ kN/m}^2) / 1 \text{ atm} = -0.6 \text{ kN/m}^2$$

$$(-0.6 \text{ kN/m}^2) / (9.789 \text{ kN/m}^3) = -0.06 \text{ m}$$

$$\Delta H_p = -0.06 \text{ m}$$

$$H = 0.45 \text{ m} + 0.27 \text{ m} - 0.06 = 0.66 \text{ m}$$

La cabeza dinámica total es 0.66 m

$$Q = 20 \text{ m}^3/\text{h} \times 1000\text{L}/\text{m}^3 \times 1\text{h}/60 \text{ min} \times 1 \text{ gal} / 3.785 \text{ L} = 88.07 \text{ gpm}$$

Se considera incluir una bomba pequeña para asistir la operación dado que la cabeza es desde negativa hasta un valor de 0.66 m. La bomba es externa ubicada en la parte inferior del biofiltro.

Utilizando los manuales del fabricante con esta información se seleccionó la bomba GOULDS 3196 STX 1  $\frac{1}{2}$ -6.

## E. Hojas técnicas y folletos comerciales de equipos principales

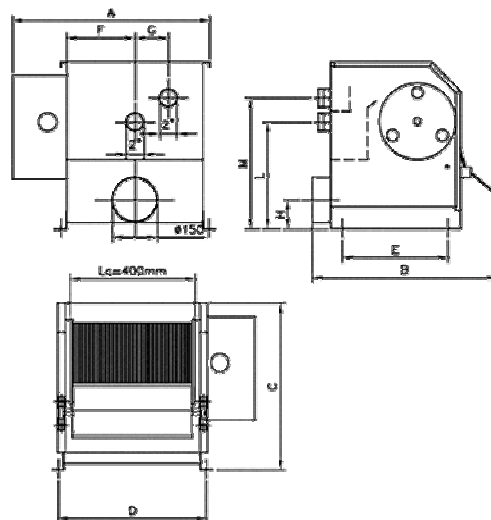
### 1. Rejilla rotativa autolimpiante

**FUNCIONAMIENTO:** El líquido a tratar entra en un canal de alimentación, a manera de permitir que la distribución del mismo a través del ancho del cilindro filtrante. El líquido es contenido en celdas, entran en contacto con el cilindro filtrante, el cual gira lentamente.

El agua filtrada pasa al interior del cilindro y sale a través de la parte filtrante inferior.

- Estructura y componentes completamente en acero inox AISI 304.
- Caudal de 8 a 1720 m<sup>3</sup>/h
- Auto limpieza del tambor filtrante que permite el tratamiento de líquidos difíciles de filtrar.





MODELO	R20
A (mm)	670
B (mm)	600
C (mm)	560
D (mm)	550
E (mm)	493
F (mm)	226.5
G (mm)	111.5
H (mm)	80
L (mm)	358
M (mm)	438
Peso (Kg)	60
Espaciamiento (mm)	0.25 - 0.50 - 0.75 - 1.00 - 1.25 - 1.50 - 2.00 - 2.50
kW	0.18

## 2. Mezclador sumergible con turbina horizontal

A continuación se encuentra la hoja técnica de este equipo, incluyendo la siguiente información: Aplicaciones: entre otros, tratamiento de aguas; Materiales de construcción: Acero inox AISI 304; Lista de certificados de calidad; Especificaciones; Tablas de rendimientos y datos del motor incluyendo eficiencias.



# ITT

## Flygt 4640

Submersible Mixer

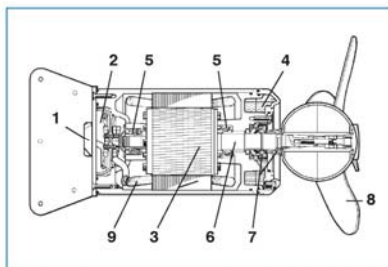
### Heavy duty, direct drive mixer

Flows from 4,030 to 5,530 GPM



#### Applications:

4640 mixers are used in industrial processes such as Pulp & Paper, Chemicals, Food & Beverage and more. Also found in Municipal and Industrial waste treatment, Mining, Marine and Agricultural uses.



#### Materials of Construction:

Available in a choice of the following:

- 304 stainless steel with 316 stainless steel components
- 316 Stainless Steel

#### Approvals:

CSA tested and approved to UL Standard for Safety #778.

Factory Mutual Research tested and approved.

Suitable for use in:

Class I Div 1 groups C and D

Class II Div 1 groups E; F and G

Class III Div 1 Hazardous locations



#### Specifications

##### 1. Cable Entry

Cable entry consists of two compressible rubber bushings to seal off motor area and relieve strain on the cable. Twice as many sealing bushings as previous designs means high reliability in difficult applications.

##### 2. Junction Box

Box is completely sealed off from surrounding liquid and stator casing via terminal board and an O-ring.

##### 3. Motor

Squirrel cage, 3 phase induction shell type design NEMA B motors are specifically designed for each mixer frame size. Non-overloading for full performance range. Motor insulation is Class H with a maximum working temperature of 180°C (356°F). Combined service factor of 1.10. Motors can be run continuously or intermittently. The stator is cooled by the surrounding mixed media.

##### 4. Oil Casing

An environmentally friendly white paraffin based, FDA approved, non-toxic oil lubricates and cools the seals and acts as an additional barrier to prevent liquid from penetrating the motor area. Pressure build-up within the casing is reduced by an inner and outer oil compartment design which transports any foreign liquids away from rotating components.

##### 5. Bearings

Bearings are of a preloaded design rated in excess of 100,000 hours of operation (B-10 rated life). Shaft is supported by a single row angular contact ball bearing and single row cylindrical roller bearing, plus a heavy duty single row angular contact ball bearing on the propeller side.

##### 6. Shaft

Motor shaft and rotor are a single integral unit. Shaft is completely isolated and cannot come in contact with the mixed media.

##### 7. Shaft Seals

Outer mechanical seal isolates the oil housing and surrounding liquids and is tungsten carbide lapped end faced running in oil. Inner mechanical seal operates between oil casing and stator casing. Inner mechanical seal operates between oil casing and stator casing and shall be of tungsten carbide/aluminum oxide materials. Only seal faces operate in the mixed media, all other components are within motor housing.

##### 8. Propeller

Three bladed, 316 stainless steel propeller. Blades have large width, thin profile and smooth surface with a back swept design for optimum efficiency and non clogging operation. The blades are laser cut to exacting tolerances. Propeller is available in other materials - consult Flygt.

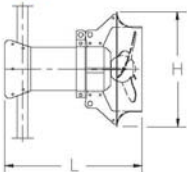
##### 9. Monitoring Equipment

The stator incorporates three thermal switches connected in series (one in each phase) which open at 260°F (125°C).

#### Flygt is a member of the following associations:



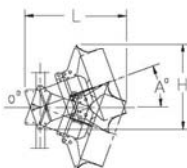
4640



Power Cable for Warm Liquid Mixers HCR cable - to 195 F (90 C)			
HP	Volts	Cable Size	Part No.
4.0	All	7G2.5 11.4 mm (0.45")	94 20 91

ALL DIMENSIONS IN INCHES

DIMENSIONAL CHART					
A <sup>2</sup>	-20	-10	0	+10	+20
H	19 1/4	20 1/8	20 3/4	20 3/8	19 1/2
L	27 1/8	26 1/4	24 1/2	26 1/4	27 1/8



WEIGHT (LBS)  
140

Propeller Performance

Model 4640	*Prop. Code	Ø	Poles	Max. Motor HP Rating	Shaft HP*	% Full Load	Power Input (kW)	Prop. Speed (RPM)	Prop. Dia. (inches)	Prop. Blade Angles (Degree)	Flow (GPM)
Mixer With Jet Ring	083705SJ	3	8	4.0	1.7	43	1.70	855	14 7/16"	5°	4,030
	083706SJ	3	8	4.0	1.9	48	1.85	855	14 7/16"	6°	4,260
	083707SJ	3	8	4.0	2.0	50	2.00	855	14 7/16"	7°	4,490
	083708SJ	3	8	4.0	2.2	55	2.20	855	14 7/16"	8°	4,680
	083709SJ	3	8	4.0	2.6	65	2.40	855	14 7/16"	9°	4,840
	083711SJ	3	8	4.0	3.0	75	2.90	855	14 7/16"	11°	5,300
Mixer Without Jet Ring	083712SJ	3	8	4.0	3.3	83	3.20	855	14 7/16"	12°	5,530
	083705SF	3	8	4.0	2.1	53	2.05	855	14 7/16"	5°	4,030
	083706SF	3	8	4.0	2.3	58	2.25	855	14 7/16"	6°	4,260
	083707SF	3	8	4.0	2.6	65	2.50	855	14 7/16"	7°	4,490
	083708SF	3	8	4.0	2.9	73	2.80	855	14 7/16"	8°	4,680
	083709SF	3	8	4.0	3.2	80	3.10	855	14 7/16"	9°	4,840
	**083705TF	3	8	4.0	1.8	45	1.80	855	14 7/16"	5°	-----
	**083709TF	3	8	4.0	2.8	70	2.65	855	14 7/16"	9°	-----

\* Propellers also available in High Chrome. \*\* Two bladed propeller - (designed for drilling mud only).

Liquid Temperatures: Mixers constructed in 316SS are assembled using components that will withstand liquid temperatures up to 195°F. Cable sizes shown below are based on max. liquid temperature of 104°F. Refer to power cable chart above for liquid temperatures above 104°F.

Motor Data

Rated Output Power HP (kW)	Volts nom.	Full Load Amps	Locked Rotor Amps	Locked Rotor KVA	NEC Code Letter	Rated Input Power kW	Poles/RPM	Cable Size AWG	Cable Part Number	Max. Cable Length (FT.)
4.0 (3.0)	3	200	15	51	17.6	D	3.8	14/7	94 21 02	100
		230	13	46	16.3	E				125
		460	6.7	23						500
		575	5.4	19						775

Efficiency			Power Factor			Electrical Service Specifications	
100% Load	75% Load	50% Load	100% Load	75% Load	50% Load	Voltage Tolerances: ±5% (Rated Output), ±10% (without overheating)	
77.5	78.0	78.0	0.72	0.65	0.52	Frequency Tolerance: ±5% Voltage Balance (Phase to Phase): ±1%	

Flygt Corporation reserves the right to modify performance, specifications or design without notice.

ITT FLYGT CORPORATION, 35 Nutmeg Dr., P.O. Box 1004, Trumbull, CT 06611-0943 Tel. (203) 380-4700 Telefax (203) 380-4706  
ITT FLYGT Canada, 900 Labrosse Ave., Pointe Claire (Montreal) P.Q. H 9R 4V5, (514) 505-0100



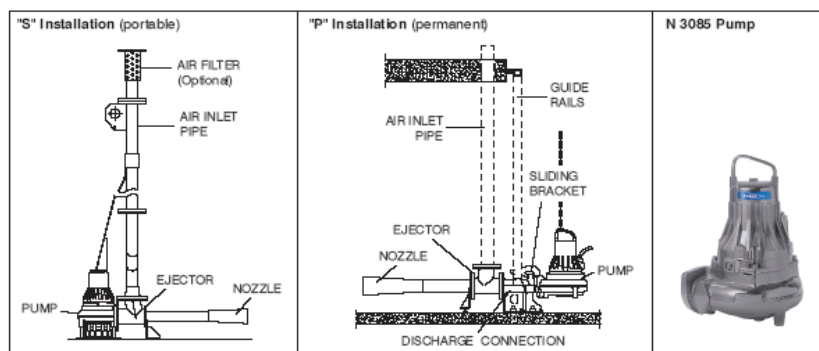
## 1. Eyector de aire sumergible

A continuación se encuentra la hoja técnica de este equipo, incluyendo la siguiente información: Aplicaciones: entre otras, tratamiento de aguas; Características de la bomba; Características y ensamblaje del eyector de aire; Tablas de rendimiento para dimensionar el equipo; Información sobre eficiencias e instalación.



ITT

## Flygt Jet Aerator JA 112-X6-3085-462 Self Aspirating Aeration Device



### Applications:

This Jet Aerator can be used for aeration/oxygenation, CO<sub>2</sub> neutralization, sludge recycling, odor control, ozone treatment, mixing and foam suppression in municipal and industrial waste water treatment, liquid manure, fish farming, equalization basins, etc.

### Pump Features:

**Cable.** Standard 50 ft. of AWG 14/7 SubCab cable. Other lengths available.

**Junction Chamber.** Cable entry incorporates a strain relief and grommet controlled compression sealing.

**Pump Housing.** High strength, cast iron ASTM A48 No. 35B body. Static seals are leakproof Nitrile rubber O-rings in precision machined grooves, with controlled compression. The volute bottom provides seating between volute and impeller. Adjustable clearance between volute bottom and impeller to maintain peak efficiency throughout the life of the pump.

**Shaft.** Stainless steel AISI 431.

**Motor.** Air filled, NEMA design B with class H (180°C) insulation. 4 pole, 1700 rpm. Shrink-fit to the motor housing. Allows at least 10 starts per hour. Built-in thermal sensors for additional motor overload protection.

**Bearings.** Upper: single row ball bearing. Lower: double row ball bearing.

**Shaft Seals.** Independent double face seals running in environmentally friendly, FDA approved (Standard #172.878) lubricant. Upper seal: ceramic/carbon. Lower seal: tungsten carbide/tungsten carbide. Oil quantity: 2.1 pints (1 l).

**Impeller.** Semi-open multi-vane, back swept, non-clog design with self cleaning vane leading edges. Material: cast iron ASTM A48 Class 35B with leading edges hardened to HRC 45.

**Strainer.** Galvanized steel AISI A619 or stainless steel AISI 304. 25 holes 1-9/16" x 1-3/16".

**Fasteners.** Stainless steel AISI 304.

### Aerator Assembly Features:

**Air Inlet and Delivery Pipes.** Galvanized steel, hot-dip or stainless steel AISI 304.

**Ejector Body.** Cast Iron

**Orifice Plate.** HDPE

**Nozzle.** Stainless steel AISI 304

**Approval:**  
CSA approved to UL Standard #778. 

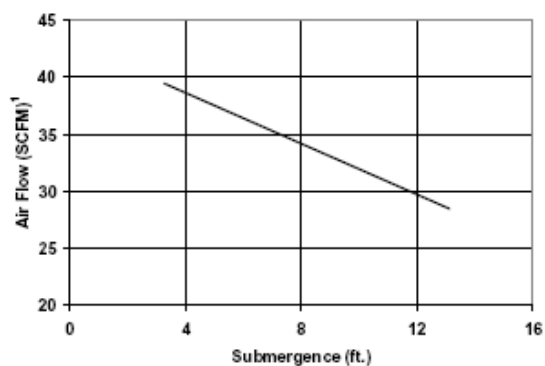
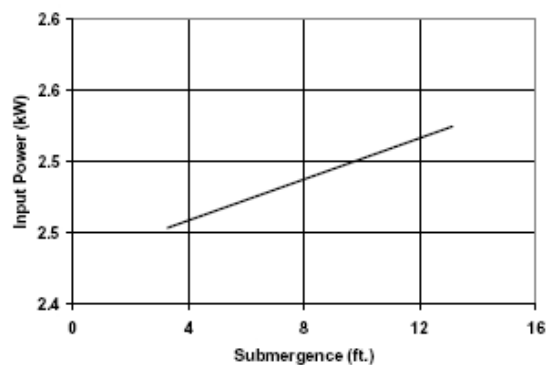
**Options:**  
**Explosionproof FM** approved variant N3085.092;  
Warm liquid version.

**Controls** (not shown).  
Manual controls, providing short circuit and overload protection, housed in NEMA 4X (watertight, corrosion resistant) plastic enclosures. Level control Model 8.408/4 (with float switches) or model 8.410 (with Multitrode® probe) available for automatic, unattended operation.

**Accessories:**  
Air Inlet Filter, Zinc Anodes.

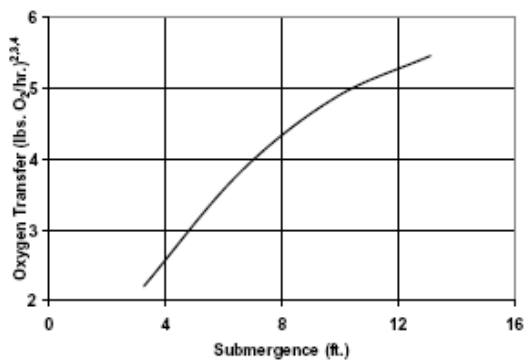
## JA 112-X6-3085-462

## Performance Data



## Notes:

- 1 Air aspirated and dispersed at one atmosphere and 20 °C.
- 2 Nominal SOR values. Oxygen transfer rates and efficiencies vary significantly with depth, temperature, vessel dimensions, etc. Please consult Flygt for performance estimates for your specific application.
- 3 Performance shown based on clean water.
- 4 Performance will only be specified in SOR terms. The translation to AOR conditions is the customer's responsibility.



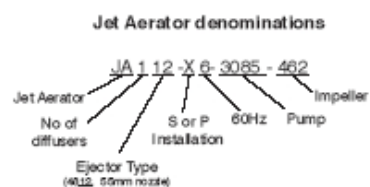
JA 112-X6-3085-462

Pump Model	Ejector	No. of Ejectors	Impeller Code	HP	Phase	Volts	FLA	LRA	Poles/rpm	Cable Size AWG	Max. Cable Length (Ft.)	Cable Part Number
N 3085	4812	1	462	3.0	3	200	10	55	4/1700	14/7	130	942102
				3.0	3	230	9	48	4/1700	14/7	165	942102
				3.0	3	480	4.5	24	4/1700	14/7	655	942102
				3.0	3	575	3.6	19	4/1700	14/7	1,025	942102

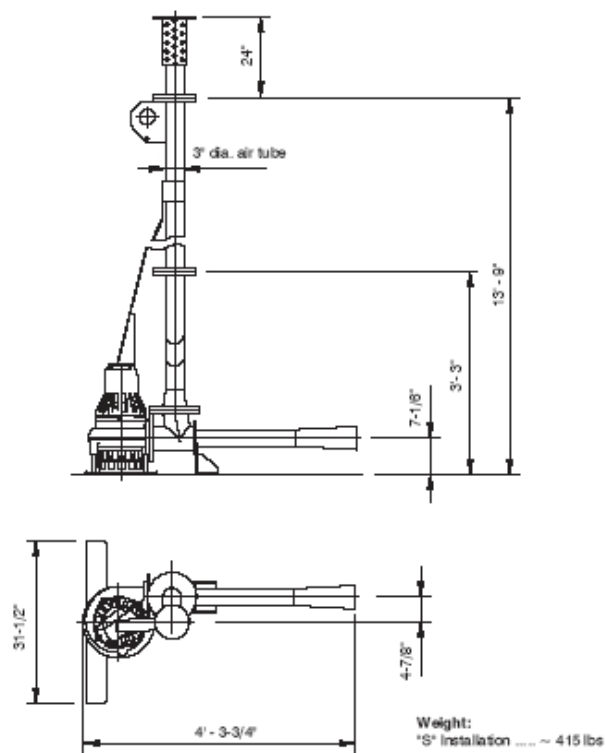
Locked Rotor KVA	Locked Rotor Code Letter KVA/HP	Rated Input Power KW
19.1	H	2.9

Efficiency			Power Factor		
100% LOAD	75% LOAD	50% LOAD	100% LOAD	75% LOAD	50% LOAD
77.5	78.5	76.5	0.82	0.75	0.64

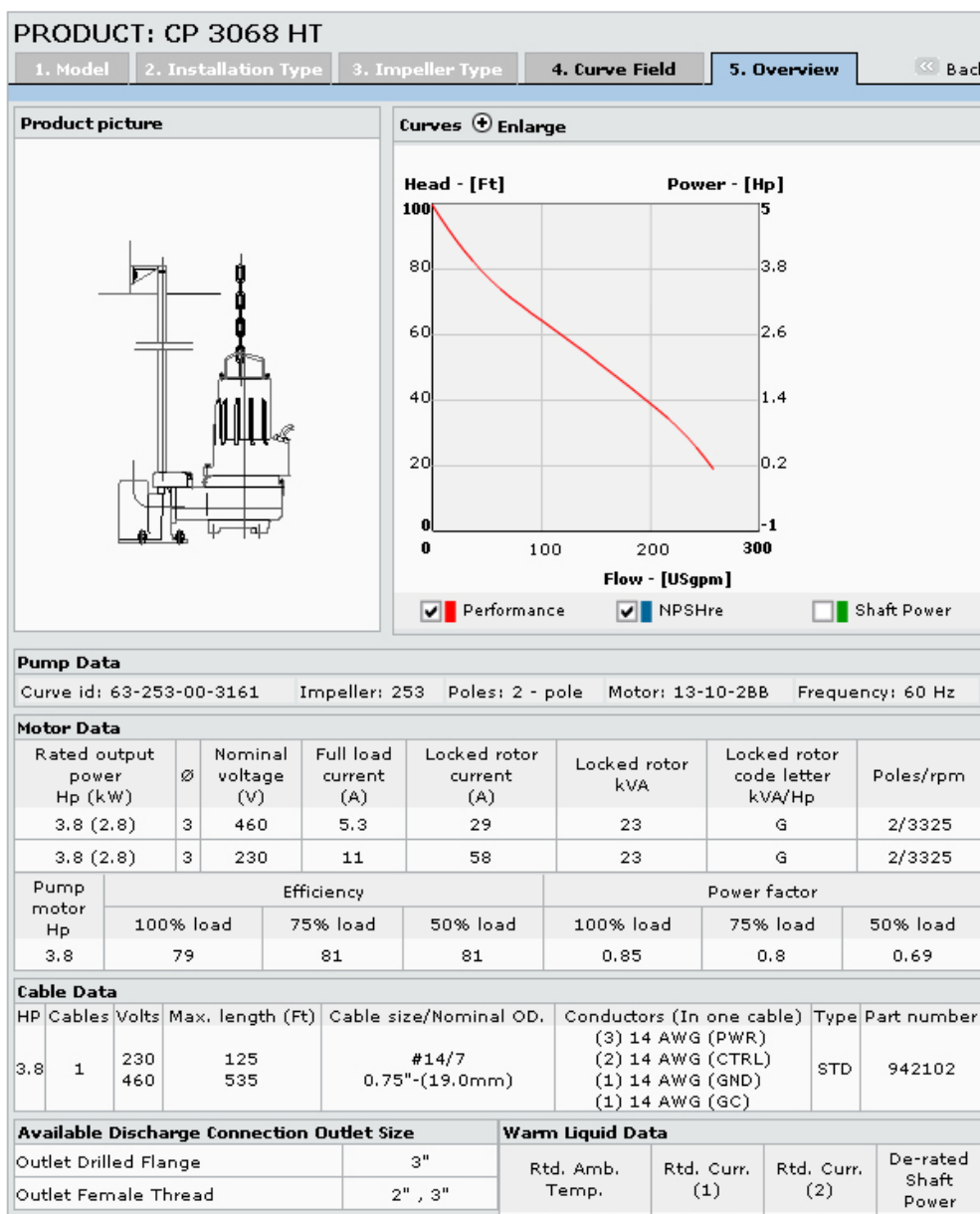


"S" Installation (portable)



#### 4. Bomba sumergible de levantamiento hacia la biofiltración

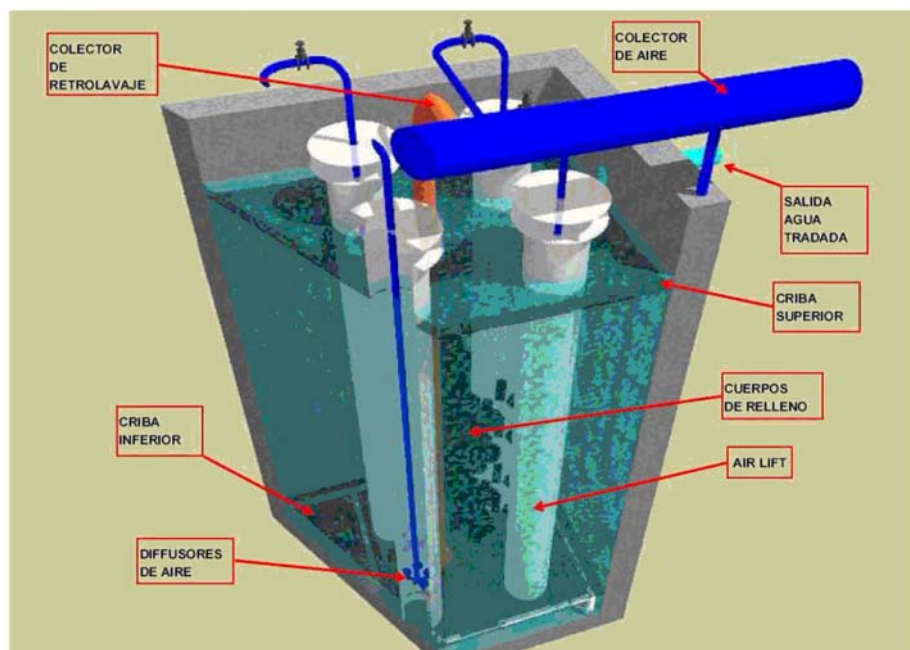
A continuación se encuentra la hoja técnica de este equipo, incluyendo la siguiente información: Dibujo del producto; Características principales de la bomba y del motor; Curva de cabeza versus flujo; Información sobre eficiencias y factor de potencia; Tipo de cables y dimensiones de tubería.



## 5. Material de empaque patentado



## 6. Módulo de biofiltración



## 7. Sopladores

### INFORMACIÓN SOBRE EL PROGRAMA DE SELECCIÓN DE SOPLADORES

Creado por Robuschi & C. S.p.A. para ayudar al usuario a decidir el tipo y dimensiones de soplador o "Robox electro-blower package" (paquete Robox de electro-soplador que mejor se ajusta a las necesidades de su planta.

Con este programa es posible seleccionar los siguientes equipos:

- Sopladores RBS de eje al desnudo con razones de flujo de hasta 22,000 m<sup>3</sup>/h y diferenciales de presión de hasta 1000 mbar
- ROBOX L compact electro-blower Package con adjuntos, con razones de flujo de hasta 10,000 m<sup>3</sup>/h y diferenciales de presión de hasta 1000 mbar
- ROBOX L compact electro-blower Package con adjunto, con razones de flujo de hasta 10,000 m<sup>3</sup>/h y diferenciales de presión de hasta 1000 mbar

#### Selección del Soplador

Para determinar el tamaño del soplador, se debe introducir la siguiente información:

- Tipo de servicio (del menú)
- Tipo de fluido (del menú)
- Razón de flujo de succión (expresado en m<sup>3</sup>/h o en Nm<sup>3</sup>/h o en kg/h)
- Presión absoluta de succión
- Diferencial de presión

Si por el contrario el tamaño del soplador es conocido, se debe introducir la siguiente información:

- Tipo de servicio (del menú)
- Tipo de fluido (del menú)
- Razón de flujo requerida (expresada en m<sup>3</sup>/h o en Nm<sup>3</sup>/h o en kg/h)
- Velocidad de rotación (como alternativa a la razón de flujo requerida)
- Presión absoluta de succión
- Diferencial de presión

#### Índice de evaluación del soplador seleccionado

En la barra de trabajo del lado derecho se encuentra un cursor que hace posible evaluar la selección del soplador.

- **VERDE:** El soplador es altamente apropiado para la operación
- **AMARILLO:** El soplador tiene uno o más parámetros de operación fuera de los límites. Se recomienda escribir a ROBUSCHI para confirmar si la aplicación es procedente.
- **ROJO:** El soplador tiene uno o más parámetros fuera de los límites de operación, el soplador no es adecuado para las condiciones de operación indicadas, se recomienda cambiar los parámetros de operación.
- **ROJO TITILANTE:** El soplador tiene uno o más parámetros de operación fuera de los límites de operación, es peligroso operar el soplador, cambiar las condiciones de operación.

A la derecha e izquierda del indicador hay teclas para la búsqueda de sopladores alternativos.

- **Alternativa:** con esta tecla es posible seleccionar un soplador alternativo al actual (que opere en condiciones más difíciles que el actual pero en muchos casos aceptable)
- **Mejor:** esta tecla hace posible la selección de un soplador que es mejor que el actualmente seleccionado.

## Gráficas

- **Curvas de operación**

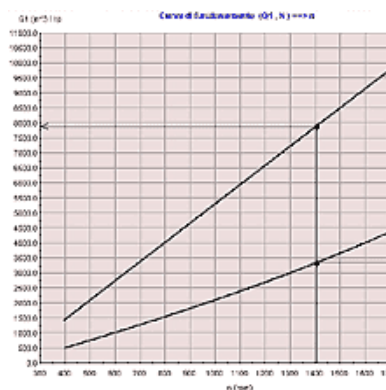
Despliega e imprime las correspondientes curvas de flujo (expresadas en m<sup>3</sup>/h, Nm<sup>3</sup>/h o kg/h), la potencia absorbida y el calentamiento en relación a la velocidad de rotación del soplador con indicación del punto de trabajo. Si el punto de trabajo está afuera de los límites del soplador el programa no despliega o imprime las curvas.

### Otras gráficas disponibles:

- **Presión constante en curvas de arranque**
- **Curva de dirección a presión variable**

The screenshot shows a software interface with a yellow background. At the top, there is a status bar with a red indicator and two buttons: 'Alternativa' and 'Migliore'. Below this, there are several input fields and dropdown menus:

- Impianto: CASCINAPIAND 2
- Item: 11 - K1 A/B/S
- Input field: 1,010
- Input field: Cv (kJ/kg °C): 0,723
- Input field: 30
- Input field: U0 (%): 70
- Dropdown menu: /5
- Dropdown menu: Versione: P



## SERIE TRB/DV

Paquetes de compresión integrada que pueden ser ensamblados en unidades base para sopladores rotatorios de desplazamiento positivo RBS/DV con inyección de aire. En este paquete la investigación tecnológica ha hecho posible obtener una significativa reducción del ruido. Aquí el aparato patentado de inyección de aire atmosférico hace posible reducir tanto el calentamiento del gas como la potencia absorbida por el soplador, alcanzando un máximo de vacío del 90% sin necesidad de enfriamiento adicional.

### Principales características técnicas

- Cinco presentaciones de **65 a 145**.
- Razón de flujo de entrada de **1000 a 8000 m<sup>3</sup>/h**.
- Vacío máximo de **90%**.

### Ventajas

- Paquete compacto.
- Fácil de transportar.
- Sin problemas de recalentamiento.
- Importante reducción de ruido.
- Posibilidad de succionar gases o vapores a altas temperaturas.
- Sin piezas de desgaste.
- No requiere de circuitos auxiliares.

## Campos de aplicación

Los sopladores de la serie TRB-DV hacen posible crear plantas de succión con grandes razones de flujo, de manera conveniente y sin la necesidad de servicios auxiliares como intercambiado de calor o enfriamiento.

Son ideales para las siguientes aplicaciones:

- **Unidades para el desecho de sólidos líquido y sólidos**  
Saneamiento urbano: lodos, alcantarillado, tratamiento de agua (Construcción, talleres de servicio y reacondicionamiento, plantas municipales o industriales, operadores privados)
- **Unidades para succión de aire:**  
Succión de polvo o sólidos de mayor tamaño para limpieza en la industria metalúrgica o de la construcción (Construcción, talleres de servicio y reacondicionamiento, industria, operadores privados)
- **Unidades móviles:**  
Limpieza de ambientes industriales, reemplazo de ventiladores centrífugos, (Construcción, talleres de servicio y reacondicionamiento, industria, operadores privados)

## F. Cálculos de la evaluación económica.

Tabla XII-8. Costo de la obra civil.

etapa	m <sup>2</sup>	Tipo	grosor	Q/m <sup>2</sup>	costo en Q
TAMIZADO					
Canal	2	Canal	0.10	353.00	706.00
ECUALIZACIÓN / NEUTRALIZACIÓN					
Paredes laterales	308	depósito agua 3	0.30	706.00	217,448.00
Fondo	384	depósito agua 3	0.30	706.00	271,104.00
nivel del piso	364	loza para piso	0.20	706.00	256,984.00
caseta para neutralización	21	depósito agua 1	0.20	706.00	14,826.00
BIOFILTRACIÓN					
Paredes laterales	299	depósito agua 2	0.25	885.00	264,615.00
Fondo	63.5	depósito agua 2	0.25	885.00	56,197.50
Subtotal					1,081,880.50
20% accesorios e ingeniería más conexiones eléctricas e hidráulicas					216,376.10
TOTAL OBRA CIVIL					1,298,256.60

Tabla XII-9. Consumo eléctrico.

Ref.	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	unidades	kW inst/unidad	% utilización	consumo
1	TAMIZADO	Rejilla Rotativa Autolimpiante	1	0.18	75	0.14
2	ECUALIZACIÓN	Mezclador sumergible con Eyector de aire sumergible	1	2.50	75	1.88
3	ECUALIZACIÓN	FLYGT ITT	1	2.90	75	2.18
4	ECUALIZACIÓN	Bomba de levantamiento a biofiltración	2	2.80	40	2.24
6	ECUALIZACIÓN	Bomba dosificadora neutralización	1	0.20	20	0.04
13	BIOFILTRACIÓN	Sopladores	2	75.00	10	15.00
18	BIOFILTRACIÓN	Bomba dosificadora sales nutritivas	1	0.20	0.0385	0.0077
20	SEDIMENTACIÓN	Bomba de levantamiento a sedimentador	2	1.00	5	0.10
TOTAL CONSUMO kW						21.59

$$21.59 \text{ kW} \times 24\text{h/d} \times 30 \text{ d} \times 0.92/\text{kWh} = 14,301.22/\text{mes}$$

## G. Abreviaciones y términos utilizados

### ABREVIACIONES:

<b>BAF</b>	Biofiltración activada (BAF)
<b>CGPL</b>	Centro Guatemalteco de Producción más Limpia
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>MBBR</b>	Reactor de biopelícula de lecho movable (Moving bed biological reactor)
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>RBC</b>	Contactador biológico rotatorio
<b>TSS</b>	Sólidos suspendidos totales
<b>Unidades Pt-Co</b>	Unidades de color platino cobalto

### TÉRMINOS:

#### **Carga orgánica**

Cantidad de materia orgánica presente en un efluente.

#### **Carga hidráulica**

Cantidad de agua que ingresa a un sistema.

**Efluentes industriales**

Agua que sale de un proceso productivo, la cual requiere de tratamiento. Se mencionan los efluentes industriales para hacer referencia a las aguas resultantes del proceso productivo textil.

**Filtro de goteo**

Proceso unitario para poner en contacto un efluente resultante de un tratamiento primario con una biomasa. Consiste en un lecho biológico de oxidación. No se da ninguna filtración o separación de sólidos, se trata simplemente de un término que se perpetuó para referirse a este tipo de proceso. Es un tratamiento biológico de tipo biológico de crecimiento adherido. Esta tecnología existe desde hace más de 100 años, ha evolucionado considerablemente a pesar de mantenerse vigentes las características mencionadas. En la actualidad existen muchas variantes dentro de esta rama de la tecnología biológica de tratamiento de agua, la cual es usualmente un tratamiento secundario.

**Tratamiento aeróbico**

Tratamiento para depurar efluentes, en el cual se produce la metabolización de la carga orgánica mediante el contacto de los efluentes con una biomasa en presencia de oxígeno.

**Tratamiento anaeróbico**

Tratamiento para depurar efluentes, en el cual se produce la metabolización de la carga orgánica mediante el contacto de los efluentes con una biomasa en ausencia de oxígeno.

**Tratamiento avanzado**

Combinaciones adicionales de operaciones unitarias y procesos que se utilizan para la remoción de materiales suspendidos y disueltos que todavía están presentes en un efluente que ha sido tratado previamente hasta niveles de tratamiento secundario.

## **Tratamiento biológico**

Tratamiento que se aplica a efluentes provenientes de tratamientos primarios para la remoción de la mayoría de la carga orgánica presente en dichos efluentes. Consiste en metabolizar la carga orgánica utilizando una biomasa.

### **Tratamiento biológico de crecimiento adherido**

Tratamiento de tipo biológico aeróbico en el cual se tiene un lecho con material de relleno, sobre el cual crece una biomasa. Se obtiene una mayor cantidad de biomasa por metro cúbico, con lo cual se logran resultados similares a los de un tratamiento biológico de crecimiento suspendido en un espacio considerablemente menor.

### **Tratamiento biológico de crecimiento suspendido**

Tratamiento de tipo biológico aeróbico en el cual se reproduce el fenómeno natural de la metabolización de la biomasa presente en un efluente, sin embargo, en menor

tiempo y espacio que en la naturaleza. La biomasa consiste en fangos que se encuentran suspendidos dentro de un tanque, los cuales están en contacto con efluentes en presencia de oxígeno.

### **Tratamiento fisicoquímico**

Método de tratamiento en el cual se remueven determinadas sustancias de unos efluentes mediante reacciones químicas y/o procesos físicos, en las cuales se generan subproductos de tipo sólido.

### **Unidades Pt-Co**

El método de platino cobalto es útil para la medición del color del agua derivado de materiales naturales, como residuos vegetales. No es recomendado para la medición de color en aguas que contienen residuos industriales. Sin embargo, la legislación lo utiliza como parámetro, tanto en Guatemala como en países industrializados. Se logra mejores resultados en estas circunstancias cuando se hace

una centrifugación previa de la muestra para eliminar interferencias por turbidez.

Método espectrofotométrico en el cual el color es medido por comparación visual de una muestra contra estándares de platino cobalto. Una unidad de color es aquella producida por 1 mg/L de platino en la forma del ion cloroplatinado (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998:64)