

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL EN PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES UBICADAS EN  
BARCELONA, ESTADO ANZOÁTEGUI”**

**Realizado por:  
Patricia Josefina Guerra Núñez**

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial  
para optar al título de**

**INGENIERO QUIMICO**

**Puerto la Cruz, Noviembre de 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL EN PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES UBICADAS EN  
BARCELONA, ESTADO ANZOÁTEGUI”**

**JURADOS**

---

**Ing. Yraima Salas  
Asesor Académico**

---

**Ing. Osvaldo Ochoa  
Jurado Principal**

---

**Ing. Alexis Cova  
Jurado Principal**

**Puerto la Cruz, Noviembre de 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL EN PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES UBICADAS EN  
BARCELONA, ESTADO ANZOÁTEGUI”**

**ASESORES**

---

**Ing. Yraima Salas**  
**Asesor Académico**

---

**Ing. María Barrera**  
**Asesor Industrial**

**Puerto la Cruz, Noviembre de 2009**

## **RESOLUCIÓN**

**“LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SOLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, EL CUAL LO NOTIFICARÁ AL CONCEJO UNIVERSITARIO”**

## **DEDICATORIA**

A Jesús de Nazareno y mi Virgencita del Valle, gracias porque nunca me han abandonado en los momentos difíciles, de alguna u otra manera siempre me han enseñado que hay una luz al final del camino.

Este título se lo dedico a mi hermano Aquiles y a mi papá... Aquiles: se que en el cielo el ángel más bello me está cuidando y guiando mis pasos. Papá: te cumplí lo prometido, un poco tarde, pero tú desde el cielo sabes lo que he luchado para alcanzar esta meta. Los extraño y me hacen falta.

A mi hijo Carlos Jesús, el regalo que Dios hace 11 años me dio. Gracias por entender mis faltas de tiempo y por regalarme todos los días esa sonrisa y tus abrazos que me ayudan a seguir luchando.

A mi esposo Alberto, gracias por ser siempre incondicional con mis estudios. Aun en los malos momentos, siempre me aconsejaste que no los abandonara. Ten siempre presente esto: Corazón estudiar no tiene edad...tú si puedes.

A mi mamá Maolla, siempre pendiente que culminará mi carrera. Hoy en día entiendo todas las veces cuando me decías que estudiara. Espero que estés orgullosa de mí.

A mis hermanos: Lilibeth y Pedro, espero que esta meta alcanzada por mi, sirva de estímulo para ustedes.

A mi abuela María Amparo y mis tías: Yolanda, Rosario y Noris, gracias por estar pendiente que culminara mi carrera universitaria.

A mi tío José Chiquito. A quién hace 17 años cuando mi padre falleció me adoptó como una hija. Gracias por estar pendiente de mi familia y de mis estudios.

A mi amiga María José Gil. Gracias por tus consejos y por ayudarme a dar mis primeros pasos como profesional. De mi parte, siempre recibirás respeto y una mano amiga incondicional para lo que necesite.

A mi segunda familia: mis suegros, abuela vieja, tía Hermas, Melina, Karina, Adriana. Gracias por su apoyo.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad de Oriente por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y obtener mí título universitario.

A los profesores que me impartieron clases en la Universidad de Oriente y me ayudaron a formarme como un profesional integro y digno.

A mi asesor académico Ing. Yraima Salas gracias por sus conocimientos y por ayudarme a culminar mis estudios universitarios.

Al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente por darme la oportunidad de realizar la pasantía en esta institución.

A mi asesor industrial Ing. María del Carmen Barrera. Gracias por confiar en mí, por sus concejos y por ofrecerme el tesoro de su amistad. Espero que perdure por siempre.

A Ing. María Duno. Siempre dispuesta a ayudarme incondicionalmente. Gracias por estar allí amiga.

A los técnicos del Laboratorio Ambiental de la DEA Anzoátegui: Leandro Velásquez, Juan Carlos Palma y Ramón Ortiz, gracias por poner un granito de arena en mi Trabajo de Grado.

A mis compañeros de clases que hoy en día, todos construimos nuestros caminos. Deseando para Ud.(s) éxitos y felicidad: Mauricio García, Joarquis Tineo, Jorgue Gil, María Tomé, Mariela Rojas, Absil Mendoza.

## RESUMEN

Motivado a la alta contaminación de los cuerpos receptores, por descargas incontroladas de efluentes domésticos e industriales, el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente propone la evaluación a las Plantas de Tratamiento C.C Sigo La Proveeduría y Tapas Corona S.A. que descargan sus efluentes en el río Neverí, persiguiendo como objetivo determinar la eficiencia de su funcionamiento, para programar y ejecutar el control permanente a estas empresas. Esta evaluación contempló la determinación de la calidad del efluente generado por estas empresas mediante análisis fisicoquímicos y diagnóstico de la operación de dichas a través de inspecciones técnicas, determinación de los parámetros operacionales y eficiencia global de las plantas, efectuándose propuestas de diseño y operativas que contribuyan con el mejoramiento ambiental del río Neverí y al cumplimiento de las normativas ambientales vigentes. En la Planta de Tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría se determinó: baja operatibilidad en su sistema de tratamiento, el 82% de los parámetros operacionales se encuentran fuera de lo enunciado en las condiciones de diseño de la planta, conllevando a la determinación del 16,75% de eficiencia global, mientras que los análisis fisicoquímicos realizados al efluente generado en esta planta reportan los siguientes parámetros fuera de los límites establecidos en el Decreto 883: Coliformes Totales  $\geq 1600$  NMP/mL, Demanda Bioquímica de Oxígeno 183,96 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 367,34 mg/L, Sólidos Sedimentables 1,13 mg/L, Sólidos Suspendidos 101,65 mg/L y Sólidos Flotantes presentes. Con base en estos resultados se recomienda: adicionar rejillas a las ya existentes, así como preparar adecuadamente la solución de hipoclorito de calcio ( $\text{CaClO}_2$ ) a suministrar en el efluente para obtener una concentración de cloro residual de 1 mg/L, control permanente por parte del MPPA a esta planta para dar cumplimiento a la realización de caracterizaciones periódicas al efluente generado. En lo que respecta a la Planta de Tratamiento Tapas Corona S.A. se determinó: regular operatibilidad, 63,6% de los parámetros operacionales se encuentran fuera de los valores sugeridos en la bibliografía consultada. El efluente generado por esta planta presentó concentraciones de 86,01 mg/L en el parámetro de Sólidos Suspendidos y presencia de espuma, determinándose la eficiencia global igual a 35,48% recomendándose: preparar adecuadamente la solución de  $\text{CaClO}_2$  utilizando un tanque de contacto para el

proceso de desinfección del efluente y aumentar la carga orgánica en el proceso biológico utilizado por esta planta.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>17</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>17</b>
1.1 Las empresas .....	17
1.2 Planteamiento del problema .....	19
1.3 Objetivos.....	22
1.3.1 Objetivo general .....	22
1.3.2 Objetivos específicos.....	22
<b>CÁPITULO II</b> .....	<b>23</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>23</b>
2.1 Antecedentes.....	23
2.2 Descripción de los procesos de tratamiento .....	24
2.2.1 Planta de Tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría.....	24
2.2.2 Planta de Tratamiento de Tapas Corona S.A.....	30
2.3 Constituyentes del agua residual.....	36
2.3.1 Características biológicas .....	36
2.3.2 Características químicas .....	37
2.3.3 Características físicas .....	39
2.4 Clasificación de los métodos de tratamiento de las aguas residuales.....	40
2.4.1 Tratamientos preliminares .....	41
2.4.2 Tratamientos primarios.....	46
2.4.3 Tratamientos secundarios .....	51
2.4.4 Tratamientos terciarios .....	63
2.5 Operaciones físicas unitarias para el tratamiento de aguas residuales .....	68
2.5.1 Desbaste.....	68

2.5.2 Homogenización de caudales .....	68
2.5.3 Mezclado .....	68
2.5.4 Floculación .....	68
2.5.5 Sedimentación .....	69
2.5.6 Filtración.....	69
2.6 Procesos químicos unitarios en el tratamiento de aguas residuales.....	69
2.6.1 Adsorción .....	70
2.6.2 Precipitación .....	70
2.6.3 Desinfección.....	70
2.7 Eficiencia del sistema de tratamiento .....	71
2.8 Análisis y diseño de sistemas de tratamiento para el agua residual. Factores a considerar en la selección de los sistemas de tratamiento .....	71
2.8.1 Aplicabilidad del proceso .....	71
2.8.2 Caudal de operaciones .....	72
2.8.3 Características del agua residual a tratar .....	72
2.8.4 Procesos adicionales cuando la calidad del efluente esté fuera de operación ....	72
2.8.5 Disponibilidad del terreno .....	73
2.9 Plantas de tratamiento.....	73
2.10 Disposición final de líquidos residuales .....	73
2.10.1 Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.....	74
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>78</b>
<b>DESARROLLO DEL TRABAJO .....</b>	<b>78</b>
3.1 Diagnóstico de la situación actual en cuanto a la operatividad en las plantas de tratamiento de agua residual: tapas corona s.a. y c.c. siga la proveeduría. ....	78
3.1.1 Descripción de las condiciones operacionales de las plantas.....	78
3.1.2 Determinación de los parámetros de diseño .....	88
3.2 Caracterización fisicoquímico y bacteriológica del agua residual .....	88
3.2.1 Muestreo .....	88
3.2.2 Puntos de muestreo .....	88
3.2.3 Captación, preservación y manejo de las muestras.....	90

3.2.4 Técnicas de análisis.....	94
3.3 Determinación de la eficiencia en las plantas de tratamiento .....	95
3.4 Propuestas de mejoras a las plantas de tratamiento evaluadas.....	95
3.5 Muestra de cálculo .....	96
3.5.1 Determinación de los parámetros operacionales. Tanque de aireación ....	97
3.5.2 Determinación de los parámetros operacionales. Tanque de sedimentación .....	104
3.5.3 Determinación de los parámetros operacionales. Tanque de desinfección .....	107
3.5.4 Cálculo de las eficiencias.....	109
3.5.5 Propuestas de rediseño a la planta de tratamiento de Sigo La Proveduría .....	110
3.5.6 Propuestas de rediseño a la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. .....	112
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>113</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>113</b>
4.1 Diagnostico de operatibilidad de las plantas de tratamiento C.C. Sigo la Proveduría y Tapas Corona S.A. ....	113
4.2 Caracterización del agua residual de las plantas de tratamiento C.C Sigo la Proveduría y Tapas Corona S.A. ....	123
4.3 Eficiencia de las plantas de tratamiento.....	129
4.4 Propuestas de diseño a las plantas evaluadas.....	130
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>136</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>138</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>140</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....</b>	<b>142</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.1</b> Planta de Tratamiento C.C. Sigo La Proveduría	17
<b>Figura 1.2</b> Planta de Tratamiento Tapas Corona S.A.	19
<b>Figura 2.1</b> Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales C.C. Sigo La Proveduría	25
<b>Figura 2.2</b> Tanquilla de prebombeo. Planta de Tratamiento C.C. Sigo La Proveduría.	26
<b>Figura 2.3</b> Sistema de tratamiento biológico. Planta de Tratamiento C.C. Sigo La Proveduría	28
<b>Figura 2.4</b> Cámara de cloración. Planta de Tratamiento C.C. Sigo La Proveduría	29
<b>Figura 2.5</b> Ubicación de la descarga final de la Planta de Tratamiento C.C Sigo La Proveduría	29
<b>Figura 2.6</b> Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de Tapas Corona S.A.	31
<b>Figura 2.7</b> Tanque subterráneo. Planta de tratamiento Tapas Corona S.A	32
<b>Figura 2.8</b> Tanque de aireación. Planta de tratamiento Tapas Corona S.A.	32
<b>Figura 2.9</b> Tanque de sedimentación. Planta de tratamiento Tapas Corona S.A.	33
<b>Figura 2.10</b> Tanque de dosificador de la solución de $\text{CaClO}_2$ . Planta de tratamiento Tapas Corona S.A.	35
<b>Figura 2.11</b> Dosificación de la solución de $\text{CaClO}_2$ . Planta de tratamiento Tapas Corona S.A.	35
<b>Figura 2.12</b> Ubicación de la descarga final de la planta de tratamiento Tapas Corona S.A.	35
<b>Figura 3.1</b> Identificación de los nudos del proceso de la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveduría.	86
<b>Figura 3.2</b> Identificación de los nudos del proceso de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.	87
<b>Figura 3.3</b> Punto de muestreo a la entrada del tanque de aireación de la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.	89
<b>Figura 3.4</b> Punto de muestreo a la entrada del tanque de sedimentación de la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.	89
<b>Figura 3.5</b> Punto de muestreo a la salida de de la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.	89
<b>Figura 3.6</b> Punto de muestreo a la entrada de Planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveduría	90
<b>Figura 3.7</b> Punto de muestreo a la salida de Planta de tratamiento de C.C.	90

Sigo La Proveduría	
<b>Figura 3.8</b> Recipientes empleados para la captación de muestras	94
<b>Figura 4.1</b> Valores de concentración de Coliformes Totales	127
<b>Figura 4.2</b> Valores de concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	127
<b>Figura 4.3</b> Valores de concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	128
<b>Figura 4.4</b> Valores de concentración de Sólidos Suspendidos	128
<b>Figura 4.5</b> Valores de concentración de Sólidos Sedimentables	129
<b>Figura 4.6</b> Diagrama de flujo de la Planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveduría con propuestas sugeridas	134
<b>Figura 4.7</b> Diagrama de flujo de la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. con propuestas sugeridas	135

## INDICE DE TABLAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 2.1</b> Agentes infecciosos presentes en el agua residual no tratada	37
<b>Tabla 2.2</b> Información usual para el diseño de rejillas de limpieza manual [5]	42
<b>Tabla 2.3</b> Información usual para el diseño de rejillas [9]	43
<b>Tabla 2.4</b> Valores de las constantes empíricas usadas en el porcentaje de remoción de DBO y SST en sedimentadores primarios [9]	48
<b>Tabla 2.5</b> Parámetros usuales para diseño de sedimentadores primarios empleados en el tratamiento de aguas residuales [9]	53
<b>Tabla 2.6</b> Valores usuales para el diseño de sedimentadores secundarios para varios tipos de tratamientos biológicos	62
<b>Tabla 2.7</b> Factores que intervienen en la aplicación de los procesos de desinfección utilizando la ozonación y cloración	65
<b>Tabla 2.8</b> Límites máximos de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses [13]	76
<b>Tabla 3.1</b> Descripción de las condiciones operacionales de la planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría	81
<b>Tabla 3.2</b> Descripción de las condiciones operacionales de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.	83
<b>Tabla 3.3</b> Volúmenes recolectados en la Planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría	91
<b>Tabla 3.4</b> Volúmenes recolectados en la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.	93
<b>Tabla 4.1</b> Caudales diarios a la entrada y salida de la Planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría	116
<b>Tabla 4.2</b> Caudales diarios a la entrada y salida de la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.	117
<b>Tabla 4.3</b> Parámetros de diseños de las Plantas de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría y Tapas Corona S.A.	121
<b>Tabla 4.4</b> Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados a la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría.	123
<b>Tabla 4.5</b> Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados a la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.	126
<b>Tabla 4.6</b> Eficiencia global de las plantas de tratamiento evaluadas	129
<b>Tabla 4.7</b> Eficiencia por equipo de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.	130
<b>Tabla 4.8</b> Propuesta de rejillas. Planta de tratamiento de C.C. Sigo La	131

Proveeduría

**Tabla 4.9** Propuesta de dosificación de solución de hipoclorito de calcio 133

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Las empresas

Sigo La Proveeduría fue fundada el 24 de Abril de 1972 por su actual Presidente, José Martínez Valenzuela. En los primeros 20 años, su principal actividad fue la importación de mercancías básicas secas, para la distribución al mayor y venta al detal en el Estado Nueva Esparta. A partir de 1985, se dedica a la distribución y venta de productos de consumo masivo incluyendo alimentos. Se inaugura la sucursal Barcelona bajo el nombre de C.C. Sigo La Proveeduría, ubicada en la zona industrial Los Mesones del Estado Anzoátegui, con 155 empleados laborando actualmente. Cuenta con 21 tiendas por departamentos y un supermercado. En el año 2007, la empresa decide acondicionar en la sucursal Barcelona, una parte del área de embarque del centro comercial, para la ubicación de la planta de tratamiento, construida por la empresa Hidrocaven, con el fin de tratar los líquidos residuales provenientes de los sanitarios y los generados de las actividades de charcutería, panadería, carnicería y de las labores de mantenimiento de las unidades de aires acondicionado y cavas del supermercado, las cuales son descargadas finalmente en el río Neverí.

En la figura 1.1 se aprecian las instalaciones de la planta de C.C. Sigo La Proveeduría.



**Figura 1.1** Planta de Tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría

La segunda planta de tratamiento a evaluar es la perteneciente a la empresa venezolana Tapas Corona S.A. con aproximadamente 50 años de fundada, su sede principal se encuentra en Los Ruices, Caracas, Edo. Miranda.

Se dedica a la fabricación de tapas metálicas para botellas retornables, tapas plásticas para bebidas carbonatadas y productos no carbonatados como agua, aceite y productos farmacéuticos, distribuyéndose en el mercado nacional y americano, además ofrece el servicio de barnizado e impresión sobre metal.

La fabricación de las tapas plásticas se realiza por medio del proceso de compresión, donde se inyecta una cantidad de polipropileno fundido en la cavidad de un molde abierto, el cual posteriormente es cerrado, se aplica presión mientras el material solidifica y finalmente la pieza es extraída.

Esta empresa tiene como misión la fabricación de tapas de excelente calidad, cumpliendo con las especificaciones y normas técnicas actualizadas, para así satisfacer las necesidades de sus clientes, contribuyendo con el desarrollo del país.

En la ciudad de Barcelona, específicamente en la zona industrial Los Mesones está ubicada la sucursal del Edo. Anzoátegui de la empresa Tapas Corona S.A. cuenta con 274 trabajadores, dispone en sus instalaciones con un edificio administrativo, un comedor, el área de talleres y una planta de tratamiento construida hace 18 años. Debido a la vieja data de construcción de la planta, la gerencia actual no dispone de las especificaciones técnicas de las unidades de tratamiento.

La planta de tratamiento se encuentra ubicada frente a los talleres, recibe el agua residual del edificio administrativo y de los talleres. El efluente ya tratado de esta planta es descargado por medio de tuberías en el río Aragua, siguiendo su curso hasta llegar finalmente al río Neverí.

En la figura 1.2 se muestran las instalaciones de la planta de Tapas Corona S.A.



**Figura 1.2** Planta de Tratamiento Tapas Corona S.A.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN), fue creado en diciembre de 1976, posteriormente, mediante Decreto N° 38.654 de fecha 28 de marzo de 2007 de acuerdo al artículo 5 pasa a llamarse Ministerio del Poder Popular del Ambiente (MPPA), cuyas competencias están claramente definidas en el artículo 21 del mencionado decreto, entre los que se mencionan: la regulación, formulación y seguimiento de la política ambiental del Estado venezolano, la planificación, la coordinación y realización de las actividades del Ejecutivo Nacional para el fomento y el mejoramiento de la calidad de vida del ambiente y de los recursos naturales, el diseño e implementación de las políticas educativas ambientales, el ejercicio de la autoridad nacional de las aguas, la planificación y ordenación del territorio, la administración y gestión en cuencas hidrográficas, la conservación, defensa, manejo, restauración, aprovechamiento, uso racional y sostenible de los recursos naturales y de la biodiversidad, el manejo y control de los recursos forestales y la elaboración de estudios y proyectos ambientales [1].

Debido al aumento de la población, el desarrollo y crecimiento industrial, se multiplicaron los problemas que ocasionan los residuos, entre ellos los industriales. Las industrias pueden generar residuos líquidos, sólidos o gaseosos. Como consecuencia de las ineficiencias en los sistemas de tratamientos utilizados en los efluentes industriales, estos

contienen microorganismos y algunos sustratos, siendo afectada la calidad de vida del medio acuático, donde son descargados estos efluentes ya tratados.

En este sentido el MPPA, como ente rector y ejecutor de la política ambiental, consciente de la situación ambiental actual del río Neverí, el cual representa un importante curso de agua permanente en la zona norte del estado Anzoátegui y sus áreas aledañas, propuso la realización de trabajos mediante pasantías asesoradas por la Coordinación de Conservación Ambiental y el apoyo del Laboratorio Ambiental, adscritos a la Dirección Estatal Ambiental Anzoátegui, para la evaluación de las plantas de tratamiento de las empresas: Tapas Coronas S.A. y C.C Sigo La Proveeduría, ubicadas en la ciudad de Barcelona, que descargan sus efluentes tratados en este cuerpo de agua, con la finalidad de determinar la eficiencia de su funcionamiento, para programar y ejecutar el control permanente a estas empresas de la zona.

En los casos que se evaluarán, primeramente se determinará la operatividad actual de las plantas de tratamiento de las empresas: Tapas Coronas S.A., empresa dedicada a la fabricación de tapas y C.C. Sigo La Proveeduría, centro comercial de tiendas por departamento y supermercado, comprendiendo la realización de inspecciones a las plantas de tratamiento, que permitirá conocer la planta propiamente y su área de influencia, recaudación de datos de interés de su funcionamiento, situación actual de los equipos y el análisis de los manuales de operación del sistema de tratamiento de aguas servidas, los cuales serán suministrados por las empresas evaluadas.

Luego de realizar la evaluación a las plantas de tratamiento, se procederá a la captación de muestras *in situ* de los efluentes generados, previa determinación de los puntos de entrada y salida de los efluentes en cada uno de los equipos que conforman las plantas de tratamiento objeto de estudio, para realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, comparando los resultados de los parámetros evaluados, con los límites establecidos en el Decreto 883 que controla la calidad de los cuerpos de agua.

Finalmente, una vez evaluado el funcionamiento de las plantas de tratamiento y de determinarse que existen parámetros que se encuentren fuera de los límites establecidos en el citado decreto, se harán propuestas operativas y de diseño en cada uno de los equipos que integran las plantas, tomando principalmente en consideración el caudal y las características del efluente que generan las empresas, con la finalidad de contribuir al mejoramiento en el sistema de tratamiento, lo cual se traducirá en el mejoramiento ambiental del cuerpo de agua receptor. La importancia radica en contribuir con el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes, que conllevará a un mejoramiento en la calidad de vida de la población y la protección de los recursos naturales del entorno.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar el funcionamiento actual en plantas de tratamiento de aguas residuales, de una empresa de fabricación de tapas para envases y un hipermercado, ubicadas en Barcelona, Estado Anzoátegui.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Elaborar un diagnóstico de la situación actual en cuanto a la operatividad en las plantas de tratamiento de agua residual: Tapas Corona S.A. y C.C Sigo La Proveeduría.
2. Realizar análisis fisicoquímico y bacteriológico a muestras de efluentes captadas en las plantas de tratamiento antes mencionadas, para su evaluación según los límites establecidos en la normativa ambiental vigente.
3. Determinar la eficiencia global de las plantas de tratamiento evaluadas en función de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
4. Proponer mejoras que contribuyan con al aumento de la eficiencia, a las plantas de tratamiento evaluadas con el propósito de adaptarlas a las nuevas necesidades que se puedan originar.

## **CÁPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes**

Los antecedentes presentados para el desarrollo de este trabajo, han sido basados en estudios realizados en varias plantas de tratamiento, quedando así demostrado la importancia del tratamiento a los efluentes.

Zapata en el año 2003, realizó una evaluación del sistema de tratamiento de efluentes en la ensambladora Mitsubishi Motor, con la finalidad de mejorar algunos parámetros que se encontraban fuera de las normativas ambientales establecidas. Entre ellos el contenido de humedad de los lodos hidratados y deshidratados, y la cantidad de sólidos generados por día en la planta de tratamiento durante una jornada de trabajo, con dos turnos de trabajo, obteniendo un porcentaje de humedad en los lodos muy elevados, mayores al 83% y una cantidad de sólidos generados por día de 57,7 y 70 kg/d [2].

Muñoz en el año 2003, evaluó algunas opciones para reutilizar los efluentes líquidos de la planta de tratamiento de aguas residuales en la ensambladora Toyota, obteniendo una alternativa de mejor rentabilidad para la empresa con un sistema avanzado combinado de un filtro de lecho múltiple y una unidad de intercambio iónico, que garantizaron la descontaminación del efluente, con una tasa de retorno de 68% [3].

Laya en el año 2005, propuso un plan estratégico para la adecuación de la planta de tratamiento de efluentes líquidos en Inversiones Acrometal, con la finalidad de obtener un efluente final que cumpliera con la normativa ambiental establecida, el cual consistía en establecer nuevos parámetros de operación para la planta de tratamiento [4].

En las empresas Tapas Corona S.A. y C.C. Sigo La Proveeduría, es la primera evaluación que se les realiza para determinar la eficiencia de ambas plantas de tratamiento.

Este trabajo es una propuesta por parte de la Coordinación de Conservación Ambiental, adscrita a la dirección Estatal Ambiental Anzoátegui del MPPA, la cual dentro de sus funciones se encuentra el control permanente a empresas de la zona y al seguimiento de la calidad de los efluentes descargados en el río Neverí por parte de estas empresas.

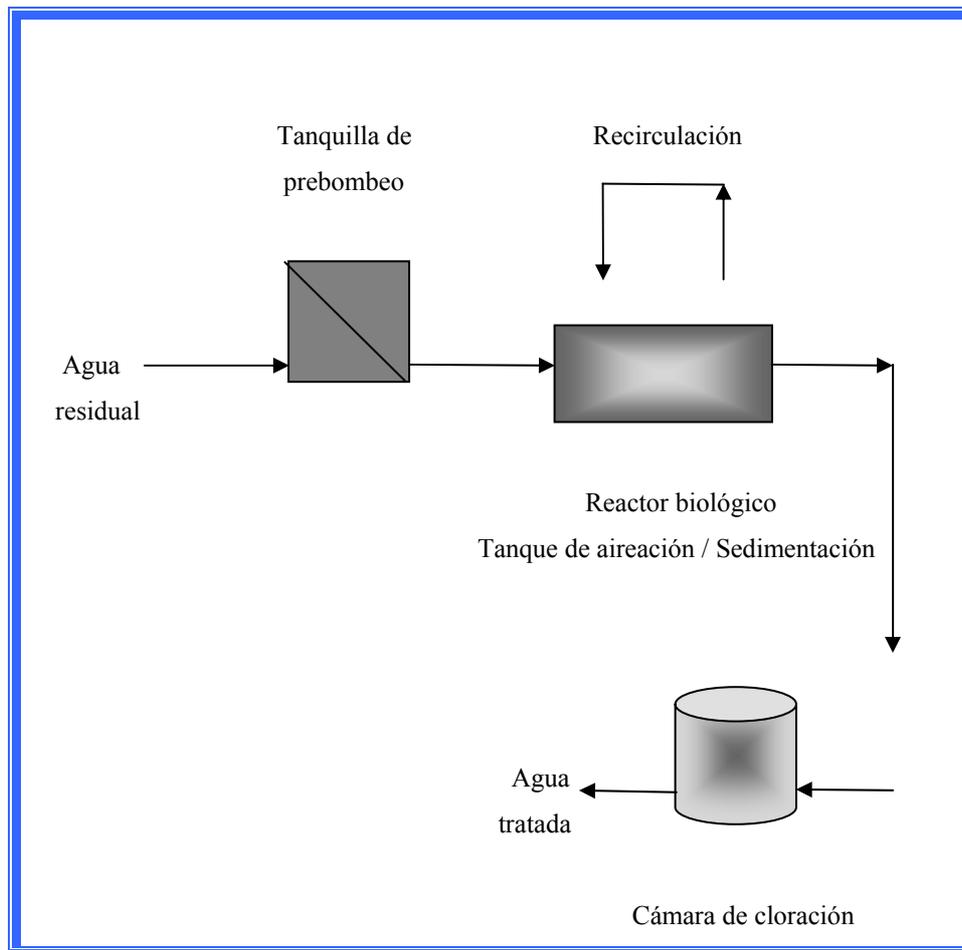
## **2.2 Descripción de los procesos de tratamiento**

El desarrollo de este trabajo consta en la evaluación de dos plantas de tratamiento, las cuales se describen a continuación.

### **2.2.1 Planta de Tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría**

Esta planta de tratamiento es de tipo compacta, opera bajo el proceso de lodos activados. El desarrollo del proceso de tratamiento en esta planta a continuación es detallado: ingresan a una tanquilla de prebombeo dos líneas de afluentes generadas por labores de mantenimiento de las unidades de aires acondicionado del centro comercial y de las cavas, así como también de los generados de las actividades de charcutería, panadería, carnicería y de los sanitarios del centro comercial. Posteriormente por medio de bombas sumergibles las aguas residuales pasan al reactor biológico, el cual consta de dos compartimientos, uno con un tanque de aireación donde se produce su digestión aeróbica, seguidamente por rebose es transferido el líquido residual al tanque de sedimentación, este es el segundo compartimiento, aquí los sólidos sedimentan al fondo del mismo y regresan al tanque de aireación por medio del sistema de retorno de lodos. Posterior a la sedimentación el efluente es sometido a un proceso de desinfección con solución de hipoclorito de calcio. Una vez desinfectado el efluente es descargado por tuberías hasta una tanquilla de descarga. En el tanque de aireación se le proporciona aire al líquido por un

sistema dual de sopladores. El objeto de la recirculación de lodos es proporcionar la concentración microbiana adecuada en el reactor biológico para asegura el proceso de descomposición biológica. En la figura 2.1 se muestra el diagrama de flujo de la planta C.C. Sigo La Proveduría.



**Figura 2.1** Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales C.C. Sigo La Proveduría

### 2.2.1.1 Pretratamiento

En esta primera etapa se utilizan dos elementos básicos de pretratamiento, nombrados a continuación.

### **A. Sistema trampa grasa**

Está conformado por dos tanques de concreto ubicados en el área de desembarque del centro comercial, donde las grasas y aceites son separados y quedando atrapados en su interior. En el primer tanque las grasas y aceites se separan inmediatamente, quedando suspendidas sobre el agua. Luego el agua sale por debajo del deflector de salida de éste, pasando al segundo tanque llamado de acumulación, donde la grasa y los aceites colectados deben ser retirados del mismo, por lo menos una vez al día.

### **B. Tanquilla de prebombeo. Separador de sólidos**

La tanquilla de prebombeo se encuentra ubicada de forma subterránea a la entrada del área delimitada para la planta de tratamiento, está construida en concreto; aquí se reciben las aguas residuales provenientes del tanque de acumulación del sistema trampa grasa. En su interior específicamente en el fondo de la tanquilla se encuentra una rejilla, compuesta por una serie de barras metálicas utilizadas para retener sólidos flotantes que puedan venir en el agua y así evitar que éstos pasen a las otras unidades de tratamiento, además dispone de dos bombas sumergibles para trasladar el líquido residual hasta el reactor biológico. La tanquilla de prebombeo tiene las siguientes dimensiones:

Profundidad: 3,50 m

Largo: 2,50 m

Ancho: 1,50 m

En la figura 2.2 se muestra la tanquilla de prebombeo de la planta C.C. Sigo La Proveeduría.



**Figura 2.2** Tanquilla de prebombeo. Planta de Tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría.

### **2.2.1.2 Sistema de tratamiento biológico**

Consiste en un tanque compacto dividido en dos compartimientos: a) uno de aireación y b) uno de sedimentación.

#### **A. Tanque de aireación**

En esta unidad las aguas residuales pretratadas son mezcladas y aireadas por un sistema dual de sopladores (Marca: Roots Universal RAI, Modelo: URAI 33) a través de difusores de burbuja fina, conectados a la línea de alimentación del tanque. El tiempo de retención considerado para el dimensionamiento de esta unidad es de 24,0 h con un volumen 30.000,00 L.

El tanque de aireación tiene las siguientes dimensiones [7]:

Largo: 6,0 m

Diámetro: 2,34 m

Altura: 2,34 m

Profundidad útil: 2,00 m

#### **B. Tanque de sedimentación**

El próximo paso del proceso ocurre en el tanque de sedimentación, donde el agua pasa por rebose, a través del compartimiento de aireación y sedimentación. Aquí los sólidos sedimentarán al fondo del tanque y regresarán al tanque de aireación por medio de una bomba de retorno de lodos. En esta unidad no hay turbulencia y consta de un desnatador superficial instalado al ras con el nivel del agua, para tomar cualquier partícula en flotación y bombear estas partículas nuevamente al tanque de aireación, con el mismo principio de succión del retorno de lodos. Es importante mencionar que esta planta no cuenta con la purga de lodos activados, recomendada en las literaturas para el diseño de procesos biológicos de lodos activados, debido a que en las condiciones de diseño establece 100% de recirculación de estos lodos. Finalmente el efluente es traslado por rebose al tanque de desinfección. El tiempo de retención considerado para el

dimensionamiento de esta unidad, fue de 5,11 h, con un volumen 6.400,00 L y una carga máxima sobre el vertedero lateral de 125,00 m<sup>3</sup>/ m d [7].

El tanque de sedimentación tiene las siguientes dimensiones [7]:

Largo: 1,60 m

Diámetro: 2,34 m

Altura: 2,34 m

Profundidad útil: 1,90 m

En la figura 2.3 se aprecia el sistema biológico de la planta C.C. Sigo La Proveeduría.

### 2.2.1.3 Cámara de cloración

El agua tratada es trasladada por rebose hacia el tanque de desinfección. En esta unidad se lleva a cabo el proceso de desinfección del agua residual aplicando solución de hipoclorito de calcio (CaClO<sub>2</sub> al 70%).



**Figura 2.3** Sistema de tratamiento biológico. Planta de Tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría

La solución de hipoclorito de calcio es almacenada en un tanque de polietileno de 160 litros de capacidad y es dosificado a la cámara de cloración utilizando una bomba dosificadora (Tipo: Pulsafeeder Serie C plus) y por tuberías de 4 pulg. Esta desinfección no cuenta con una dosificación estricta, ya que es ajustada a criterio del operador. Según las

condiciones de diseño se debe mantener en esta unidad un período de retención de 0,5 h y una cantidad de cloro residual mínimo del efluente tratado de 1 mg/L [7].

En la figura 2.4 se aprecia la cámara de cloración de la planta C.C. Sigo La Proveeduría.



**Figura 2.4** Cámara de cloración. Planta de Tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría

#### **2.2.1.4 Disposición final del efluente tratado**

El efluente tratado de esta planta de tratamiento, es descargado por tuberías desde el tanque de desinfección hasta una tanquilla de descarga, continuando su recorrido por el sistema de alcantarillado de la zona, hasta desembocar en el río Neverí. En la figura 2.5 se visualiza la descarga final de la planta C.C. Sigo La Proveeduría.



**Figura 2.5** Ubicación de la descarga final de la Planta de Tratamiento C.C Sigo La Proveeduría

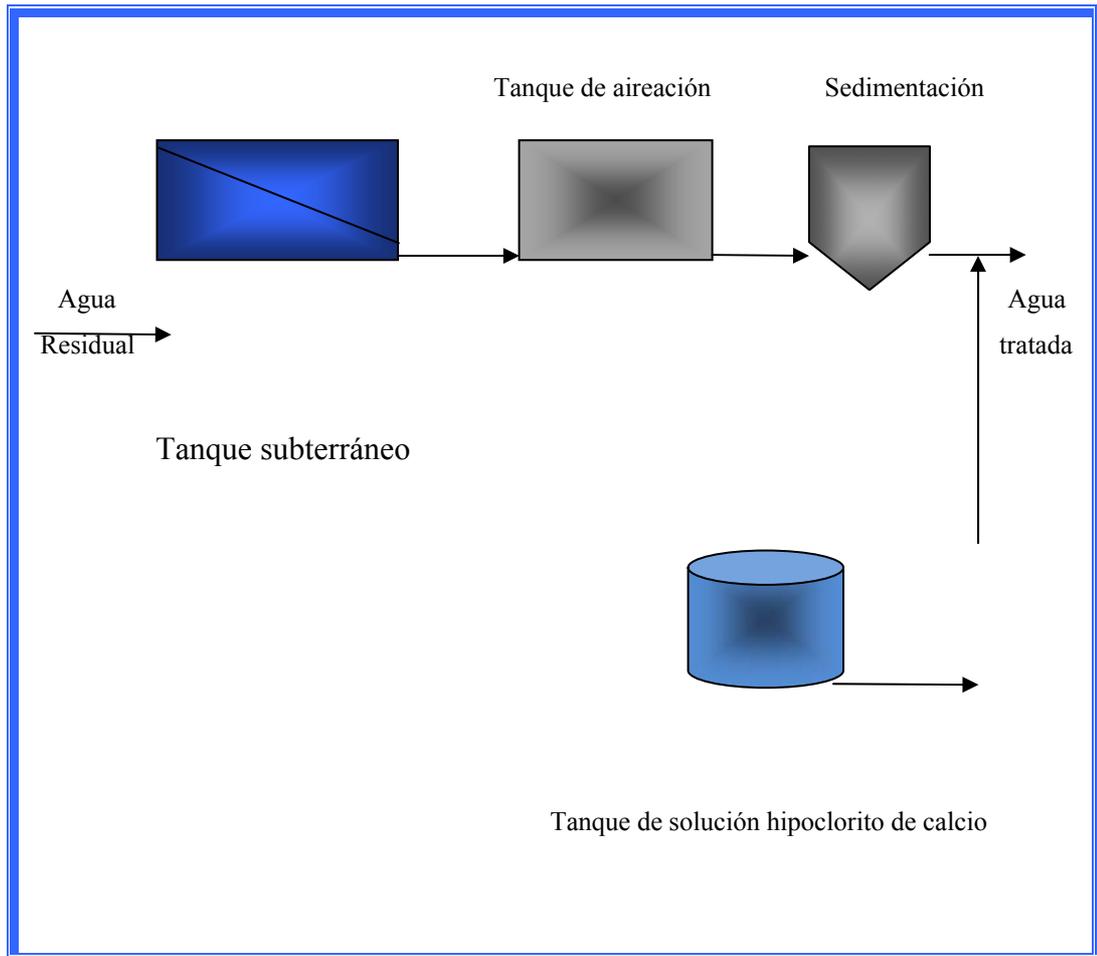
## **2.2.2 Planta de Tratamiento de Tapas Corona S.A.**

Esta planta opera bajo el proceso biológico de aireación extendida, el cual es detallado a continuación: las aguas residuales provenientes de dos líneas constituidas por: afluentes domésticos (baños, comedor, etc.) y afluentes de los talleres producto del proceso de fabricación de las tapas, contando en total con 22 puntos de agua, ingresan a un tratamiento preliminar empleando rejillas para separar los sólidos del afluente. Usando una bomba sumergible el agua residual es transferida al tratamiento biológico, utilizando un tanque de aireación como unidad aeróbica, donde las aguas se mezclan con grandes cantidades de aire suministradas por dos difusores de aire, seguidamente es transferida por medio de tuberías al tanque de sedimentación donde las aguas sedimentan por efecto de la gravedad. En un tanque se almacena la solución de hipoclorito de calcio ( $\text{CaClO}_2$  al 70%), siendo dosificada directamente en la tubería que transporta el efluente.

Motivado a la carencia en la empresa de las especificaciones técnicas de esta planta, se tomaron las dimensiones de cada uno de los equipos que la conforman. Por tal motivo los parámetros de diseño, serán calculados a partir de datos captados *in situ* y comparados posteriormente con los suministrados por las literaturas consultadas. En la figura 2.6 se muestra el diagrama de flujo de la planta de tratamiento Tapas Corona S.A.

### **2.2.2.1 Pretratamiento. Separación de sólidos**

Las aguas residuales provenientes del edificio administrativo y de los talleres, son enviadas a un tanque subterráneo construido de concreto, del cual se envían los efluentes a la planta de tratamiento mediante dos bombas sumergibles, las cuales se controlan automáticamente por un sensor de nivel. En el fondo del tanque se encuentra una rejilla, de la cual no se pueden apreciar sus características, aquí quedan retenidos los sólidos flotantes que puedan estar contenidos en el líquido residual.



**Figura 2.6** Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de Tapas Corona S.A.

El tanque subterráneo tiene las siguientes dimensiones:

Largo: 1,50 m

Ancho: 1,50m

Profundidad útil: 1,50 m

Profundidad: 5,0 m

En la figura 2.7 se muestra el tanque subterráneo de la planta de tratamiento Tapas Corona S.A.

### 2.2.2.2 Tanque de aireación. Sistema de Tratamiento Biológico

El agua residual es enviada al tanque de aireación utilizando una bomba sumergible. Aquí se lleva a cabo la digestión aeróbica de las aguas pretratadas, donde son mezcladas y aireadas por medio de dos difusores (Marca: Siemens, Motor: 1LA7), ubicados en el fondo del tanque, provocando turbulencia para satisfacer la demanda de oxígeno requerida en este proceso. Este tanque esta construido de concreto y posee forma rectangular.



**Figura 2.7** Tanque subterráneo. Planta de tratamiento Tapas Corona S.A



**Figura 2.8** Tanque de aireación. Planta de tratamiento Tapas Corona S.A.

### 2.2.2.3 Tanque de sedimentación

El efluente proveniente del tanque de aireación es transferido por medio de una tubería de 10 pulg a la siguiente etapa del proceso: un tanque de sedimentación, de forma rectangular sin cubierta y construido en concreto. Aquí se lleva a cabo el proceso de sedimentación de las aguas residuales de esta empresa, asentándose los sólidos bajo influencia de la gravedad y reduciendo las cargas orgánicas. En este proceso no hay turbulencia [5].

El tanque de sedimentación presenta las siguientes dimensiones:

Largo: 2,70 m

Ancho: 1,00 m

Profundidad: 1,50 m

Profundidad útil: 1,35 m

En la figura 2.9 se visualiza el tanque de sedimentación de la planta de tratamiento Tapas Corona S.A.



**Figura 2.9** Tanque de sedimentación. Planta de tratamiento Tapas Corona S.A.

#### **2.2.2.4 Tanque dosificador de solución de $\text{CaClO}_2$**

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales, es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente.

La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que sea utilizada, de la dosis de desinfectante y de otras variables ambientales. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, la adición de cloro o la luz UV [5].

En esta planta de tratamiento se lleva a cabo el proceso de desinfección del agua residual utilizando una solución de  $\text{CaClO}_2$ , la cual es dosificada directamente en la tubería de 8 pulg que transporta el efluente hacia la salida de la planta de tratamiento.

Dicha solución de  $\text{CaClO}_2$  es preparada en un tanque de polietileno de 2.000,00 L de capacidad.

En la figura 2.10 se muestra el tanque dosificador de la solución de  $\text{CaClO}_2$  de la planta de tratamiento Tapas Corona S.A.

En la figura 2.11 se señala la dosificación de la solución de  $\text{CaClO}_2$  del efluente en la planta de tratamiento Tapas Corona S.A.

#### **2.2.2.5 Disposición final del efluente tratado**

El efluente ya tratado de esta planta de tratamiento es descargado por medio de tuberías en el río Aragua, siguiendo su curso hasta llegar finalmente al río Neverí.

En la figura 2.12 se muestra la imagen del Río Aragua aguas abajo, lugar donde descarga esta planta.



**Figura 2.10** Tanque de dosificador de la solución de  $\text{CaClO}_2$ . Planta de tratamiento Tapas Corona S.A.



**Figura 2.11** Dosificación de la solución de  $\text{CaClO}_2$ . Planta de tratamiento Tapas Corona S.A.



**Figura 2.12** Ubicación de la descarga final de la planta de tratamiento Tapas Corona S.A.

## **2.3 Constituyentes del agua residual**

El agua residual es la mezcla de residuos y sólidos originados en los hogares, centros comerciales, instalaciones industriales e instituciones públicas, junto con cualquier agua que pueda penetrar en el sistema de alcantarillado. Como mínimo se requiere tratar los sólidos y la materia orgánica disuelta; para los primeros se emplean procesos físicos para eliminarlos, mientras que para la materia orgánica disuelta se tratan generalmente mediante procesos biológicos.

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden clasificarse como: características químicas (compuestos orgánicos e inorgánicos), características físicas y características biológicas. A continuación se describen los constituyentes principales en la determinación de la calidad de las aguas residuales [5,9].

### **2.3.1 Características biológicas**

La composición biológica de las aguas residuales es de esencial importancia, ya que está asociado al control de enfermedades provocado a la gran variedad de organismos vivientes presentes bien sea en las plantas de tratamiento de aguas residuales y en las aguas receptoras.

Existe una gran variedad de estos organismos: bacterias, algas, hongos, protozoarios, plantas y virus, responsables de enfermedades de origen hídrico: tifoidea, cólera, fiebre tifoidea, disentería por nombrar solo algunas.

En la tabla 2.1 se enuncian los agentes infecciosos presentes en aguas residuales no tratadas, evidenciando así la importancia de su tratamiento [5].

**Tabla 2.1** Agentes infecciosos presentes en el agua residual no tratada

Organismo	Enfermedad	Síntomas
Bacterias: campylobacter, leptospira, salmonella, vibrio cholerae.	Gastroenteritis, leptospirosis, fiebre tifoidea, cólera.	Diarrea, fiebre, envenenamiento por comida.
Protozoos: balantidium coli, cyclospora, giardia lamblia.	Balantidiasis, amebiasis, giardiasis.	Diarrea, disentería, náuseas.
Helminetos: áscaris, taenia saginata, trichuris trichiura.	Ascariasis, enterobiasis, teniasis, trichuriasis.	Infestación de gusanos intestinales, gusanos.
Virus: adenovirus, hepatitis A, rotavirus.	Hepatitis, gastroenteritis, enfermedades respiratorias.	Ictericia, fiebre, vómito.

### 2.3.2 Características químicas

#### A. Compuestos orgánicos

Los compuestos orgánicos presentes en el agua residual son los responsables de la mayor parte de los problemas de contaminación, como resultado de su efecto sobre los recursos de oxígeno en el medio ambiente. Los compuestos orgánicos solubles en agua y de bajo peso molecular tienden a biodegradarse por la acción de las bacterias y de los hongos, con consumo de oxígeno. Los ensayos de laboratorio más significativos que representan el poder polucional lo constituyen: la prueba del quinto día para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y el carbono orgánico total (COT) [5].

### **A.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Este parámetro es el de mayor significación dentro de los análisis realizados a las aguas residuales y a las masas hídras receptoras, representando el poder polucional del agua. Esta influenciada directamente por los factores de tiempo y de temperatura. Los resultados de la DBO se emplean para determinar la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la oxidación de la materia orgánica, a través de su actividad metabólica en medio aeróbico, dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y como control en el cumplimiento de las normativas ambientales de la calidad del efluente a verter en los cuerpos de agua receptores [5].

### **A.2 Demanda química de oxígeno (DQO)**

El ensayo DQO es utilizado especialmente en aguas residuales industriales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica y a veces es utilizado como sustituto de la prueba de DBO. Representa una medida de la cantidad de materia carbonosa contenida en los diferentes tipos de materia orgánica presentes en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido.

En muchos tipos de aguas residuales es posible precisar una relación entre los valores de la DQO y la DBO. Esta relación puede resultar de gran utilidad debido al factor tiempo: la DQO se puede determinar en dos horas y media, mientras que la DBO es necesario 5 días para la culminación del ensayo [5].

## **B. Compuestos inorgánicos**

Estos compuestos presentes en la mayor parte de los desperdicios industriales, son resultado directo de los compuestos inorgánicos existentes en las aguas residuales. La determinación del pH y alcalinidad, permite predecir a *grosso modo* el comportamiento esperado de un líquido residual cuando es sometido a tratamiento.

Para que el impacto sobre el medio ambiente sea mínimo, las aguas tratadas deben tener valores de pH que varían entre 6 y 9.

Si el pH es inferior a 6, el agua residual tiende a ser corrosiva, como resultado de un exceso de iones de hidrógeno.

Por otra parte, al elevarse el pH arriba de 9, algunos iones metálicos se precipitan como carbonatos o hidróxidos.

La alcalinidad es importante para mantener los valores de pH en los niveles adecuados.

La biodegradación de los compuestos inorgánicos requiere cantidades adecuadas de nitrógeno, fósforo, hierro y rastros de sales, siendo la determinación del nitrógeno en sus distintas formas (nitrógeno orgánico, amoniacal, de nitritos y nitratos) en los efluentes de las plantas de tratamiento, un parámetro de particular interés, ya que permite predecir de acuerdo al estado y concentración de los compuestos nitrogenados, el grado de eutricación a que puedan estar sometidos los receptores finales [5].

### **2.3.3 Características físicas**

#### **A. Sólidos suspendidos, disueltos, sedimentables y totales**

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta.

Permiten determinar la operación más apropiada para los líquidos residuales y posteriormente utilizados para el control de la operación de las plantas de tratamiento [9].

## **B. Temperatura, color, olor y turbiedad**

Otras características físicas son la temperatura, color, olor y turbiedad. Son de particular interés conocer sus valores, ya que estiman el comportamiento de los sistemas de tratamientos utilizados.

La determinación de los valores de temperatura permite estimar el comportamiento de los procesos aeróbicos y anaeróbicos que se aplican, porque la mayor o menor intensidad de las reacciones químicas y procesos biológicos dependen de la temperatura del ambiente.

El color refleja parcialmente la condición general del agua residual. Es de particular interés en los efluentes de plantas de tratamiento cuando son vertidos en masas hídricas receptoras.

En líquidos residuales el olor muestra el grado de septización del líquido residual: fresco, rancio o séptico, por ello el cuidado en el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales con el fin de evitar condiciones que generen la aparición de malos olores.

La turbiedad permite tener una idea de la cantidad de materias extrañas en suspensión que pueden estar presentes en las aguas residuales: arcilla, limo, plankton.

También se le considera por las razones estéticas que tengan los efluentes a verter [5].

### **2.4 Clasificación de los métodos de tratamiento de las aguas residuales**

Los constituyentes presentes en el agua residual se remueven por mecanismo de tipo físico, químico y biológico. Estos métodos se clasifican en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios.

La selección más apropiada de los procesos a utilizar en un tratamiento para aguas residuales depende de los constituyentes a remover y del grado de remoción de los mismos, persiguiendo como objetivo el transformar las características iniciales del agua residual a niveles aceptables para cumplir con las normativas de vertimiento.

A continuación la clasificación de los diferentes métodos empleados para el tratamiento del agua residual.

### **2.4.1 Tratamientos preliminares**

Las corrientes de aguas residuales bien sean domésticas ó industriales deben pretratarse, antes de continuar a las siguientes etapas del proceso de tratamiento dispuesto, para eliminar o reducir el tamaño de las partículas presentes en el agua residual como: arenas, grava, materiales flotantes, grasas y aceites y así evitar problemas operacionales, con los procesos y operaciones en el sistema de tratamiento.

El tratamiento preliminar de las aguas residuales consta de: tamizado, homogeneización de caudales, mezcla, remoción de grasas y aceites y remoción de arenas [5,9].

#### **A. Tamizado**

En el tamizado es por lo general la primera operación unitaria encontrada en plantas de tratamiento de aguas residuales. El equipo a utilizar en esta operación unitaria depende del material a remover, en plantas de tratamiento pequeñas lo usual es encontrar el tamizado utilizando las llamadas rejillas (o también tamiza de barras), clasificándose en gruesas, medianas o finas. Otros equipos empleados son: platos perforados, tambor rotatorio y disco rotatorio. El tamizado fino es realizado por medio de rejillas finas, tamiz de tambor rotatorio y tamiz de disco rotatorio. El tamizado grueso retiene escombros presentes en el agua residual cruda, utilizándose rejillas, mallas en sección de cuñas y

tamiz perforado. Es aplicable desde el tratamiento primario hasta la eliminación de los sólidos en suspensión de los efluentes procedentes de los procesos biológicos [5,9].

### A.1 Rejillas. Consideraciones de diseño

El problema operacional más serio que se presenta en sistemas de tratamiento se relaciona con el arrastre de sólidos. La presencia de residuos de gran tamaño en el agua residual ocasiona problemas mecánicos en las bombas y demás equipos de la planta de tratamiento.

Gran cantidad de material flotante tienden a acumularse en los sedimentadores, formando una desagradable capa de nata.

Existen diferentes formas de sección transversal de las barras, la más común es la rectangular, colocadas en paralelo y sus características se muestran en las tablas 2.2 y 2.3.

**Tabla 2.2** Información usual para el diseño de rejillas de limpieza manual [5]

Tipo de rejillas	Inclinación con la vertical	Espaciamiento entre rejillas (cm)	Material a retener
Gruesa	30	> 5	Plásticos, rocas, pedazos de madera, trapos.
Mediana	30	2 a 5	Papel, Heces, bolsas.
Fina	70	1 a 2	Arenas. Como sustituto de la sedimentación

**Tabla 2.3** Información usual para el diseño de rejillas [9]

Parámetro	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Tamaño de la barra:			
Ancho	cm	0,80 – 2,40	0,80 – 2,40
Profundidad	cm	4,0 – 6,0	4,0 – 6,0
Velocidad de aproximación	m/s	0,30 – 0,70	0,70 – 1,00
Pérdidas de carga máxima	cm	15,0	15,0

## A.2 Pérdidas por carga en las rejillas ( $hf$ )

Según el Manual de Diseño de la Federación para el Control de la Polución del Agua se calcula por la siguiente ecuación [5]:

$$hf = \frac{K \times V^2}{2g} \quad (\text{Ec.2.1})$$

donde:

$hf$ : Pérdidas por carga en las rejillas (m)

$K$ : Coeficiente de descarga (puede tomarse por 0,54)

$V$ : Velocidad de aproximación del agua (m/s)

$g$ : Aceleración debido a la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

### **A.3 Material y mantenimiento de las rejillas**

En términos generales, las rejillas se elaboran con acero inoxidable, el cual contiene entre 12 y 27 % de Cr, dependiendo de la resistencia a la corrosión que se desee. Otros materiales empleados en su fabricación pueden ser: aluminio, aluminio-bronce, babbitt, brass, bronce, acero inoxidable, cobre, cobre-níquel, hierro gris, monel, neopropeno, polietileno, poliuretano, hierro blanco, etc. Los métodos comúnmente empleados para evitar la corrosión incluyen la selección adecuada del material de fabricación, el uso de revestimientos o la instalación de sistemas de protección catódica.

Los sólidos retenidos por las rejillas tienden a pudrirse, por lo cual es necesario removerlos y desecharlos periódicamente, de ser posible diariamente. De acuerdo con el método de limpieza, las rejillas se clasifican como de limpieza manual o limpieza mecánica. Las rejillas de limpieza manual se usan con bastante frecuencia en plantas de tratamiento pequeñas. Las rejillas de limpieza mecánica emplean cadenas sin fin, cables o mecanismos con ruedas dentadas recíprocantes, que mueven un rastrillo empleado para remover los sólidos acumulados por las rejillas [15].

### **B. Homogeneización de caudales**

Se utiliza un tanque como unidad de homogeneización, siendo su principal función la de mantener constante el caudal del afluente del sistema de tratamiento, aunque también es utilizado para amortiguar variaciones de pH y la concentración de constituyentes tóxicos del afluente. La homogeneización de caudales es muy útil en plantas pequeñas de tratamiento que experimentan variaciones considerables entre los valores máximos y promedio, de caudal y carga orgánica. Para su dimensionamiento es necesario realizar un análisis basado en un balance de masas [9,10].

### **C. Mezcla**

En las plantas de tratamiento una de las operaciones más importantes es la mezcla, empleada para homogeneizar materiales de desecho y mezclar aditivos químicos. En los tratamientos biológicos es muy utilizada para acelerar el proceso biológico.

Los equipos que usualmente son utilizados para la mezcla en plantas de tratamiento son: agitador de hélice en canal abierto, mezclador estático en línea para tuberías, mezclador mecánico en línea para tuberías. El parámetro de diseño a considerar en los mezcladores, para lograr una mezcla efectiva es la potencia disipada [9].

### **D. Remoción de arenas**

Las arenas, término que engloba a partículas inertes duras: gravas, cenizas y cualquier otro material pesado, son removidas para evitar problemas operacionales en otros equipos del sistema de tratamiento. En algunas plantas de tratamiento los desarenadores preceden al tamizado, sin embargo algunos autores sugieren que sean ubicados después del tamizado y antes del tanque de sedimentación [9]. Los desarenadores más usados: a) de flujo horizontal de tipo canal b) rectangulares de flujo horizontal c) cuadrados de flujo horizontal d) desarenadores aireados y e) desarenadores de vórtice [9].

### **E. Remoción de grasas y aceites**

La separación de las grasas y aceites del agua residual, se pueden separar fácilmente siempre y cuando no se encuentren bien mezclados con el agua.

A menudo se utiliza para separarlos:

- La floculación al inyectarles aire y separa los materiales hidrofóbicos de la fase acuosa.
- Trampas de grasas y aceites.
- Tanques sépticos.

- Para grandes cantidades de grasas y aceites se emplea un sistema combinado de remoción de arena por aireación y la remoción de espumas o natas por barrido superficial.
- Adicionando productos químicos [10].

#### **2.4.2 Tratamientos primarios**

Para evitar interferencias con operaciones posteriores de bombeo o algunas operaciones unitarias es necesario eliminar los sólidos en suspensión, mediante técnicas de separación físicas o químicas y siendo manejados posteriormente como sólidos concentrados, esto conlleva a la reducción de la DBO [10].

##### **A. Flotación**

En esta operación unitaria se facilita la separación de sólidos en un líquido a través de la presencia de pequeñas burbujas generalmente de aire, introducidas en la fase líquida, utilizándose tres métodos: a) inyección de aire líquido presurizado b) aireación a presión atmosférica y c) saturación con aire a presión atmosférica.

La flotación por aire disuelto, es el sistema de flotación más utilizado en el área del tratamiento de aguas residuales [10].

##### **B. Sedimentación**

La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión en las mismas. En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual.

La etapa de sedimentación debe contar por lo menos con dos unidades, uno de sedimentación primaria y otro de sedimentación secundaria. La sedimentación primaria

tiene básicamente como objetivo la remoción de sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en este tanque.

Los parámetros de diseño a considerar en un sedimentador primario son: a) caudal, b) volumen del reactor, c) tiempo de retención, d) tasa de carga superficial, e) velocidad de sedimentación, f) carga de sólidos en el tanque de sedimentación y g) cargas sobre vertederos [8,9].

### **B.1 Parámetros de diseño de sedimentador primario**

Los tanques de sedimentación primaria dimensionados y operados de manera eficiente pueden eliminar entre el 50% y 70% de los sólidos suspendidos totales (SST) y entre el 25% y 40% de la DBO.

La eficiencia en la remoción de la DBO y SST en tanques de sedimentación primaria, como función de la concentración de estos parámetros en el efluente y el tiempo de retención puede determinarse matemáticamente por la ecuación 2.2 la cual fue obtenida a partir de observaciones realizadas a sedimentadores en funcionamiento [9].

$$R = \frac{t}{a + b \times t} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

donde:

R: porcentaje de remoción esperado %

t: tiempo de retención (h)

a, b: constantes empíricas

En la tabla 2.4 se presentan los valores usuales de las constantes empíricas:

### B.1.1 Volumen del reactor

El volumen del reactor es indispensable determinarlo, ya que de este depende el período de contacto para que la acción de la biomasa sea efectiva en remover la DBO aplicada al sistema.

El volumen para tanques rectangulares se calcula aplicando la siguiente ecuación [8]:

$$V_R = A \times B \times H \quad (\text{Ec. 2.3})$$

donde:

$V_R$  : volumen del tanque (L)

A: ancho del tanque (m)

B: largo del tanque (m)

H: profundidad del tanque (m)

**Tabla 2.4** Valores de las constantes empíricas usadas en el porcentaje de remoción de DBO y SST en sedimentadores primarios [9]

Variable	a	B
DBO	0,018	0,020
SST	0,0075	0,014

### B.1.2 Carga (Caudal) de diseño (Q)

La elección racional del caudal de diseño se basa en consideraciones de tipo hidráulico y del proceso. Las unidades de proceso y los conductos para el transporte del agua residual se deben dimensionar en forma tal que permitan soportar el caudal esperado de operación.

$$Q = \frac{v}{t} \quad (\text{Ec.2.4})$$

donde:

Q: caudal existente en el sistema (L/h)

v: cantidad de agua existente en el sistema (L)

t: tiempo (h)

### B.1.3 Tiempo de retención

Es el tiempo necesario para que la digestión de la materia orgánica sea completa. Puede variar dependiendo de la cantidad de materia orgánica de las aguas residuales, de la temperatura y del proceso a utilizar.

El tiempo de retención esta dado por [9]:

$$t_R = \frac{V_R}{Q} \quad (\text{Ec.2.5})$$

donde:

$t_R$ : tiempo de retención (h)

$V_R$ : cantidad de agua existente en el sistema (L)

Q: caudal existente en el sistema (L/h)

### B.1.4 Carga superficial (CS)

La elección de una tasa adecuada de carga superficial depende del tipo de material en suspensión a sedimentar. El efecto que la tasa de carga superficial ejerce sobre la eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos varía ampliamente dependiendo de las características del agua residual.

La ecuación que representa la tasa de carga superficial es la siguiente [9]:

$$CS = \frac{Q}{AreaSuperficial} \quad (Ec.2.6)$$

donde:

CS carga superficial en el sistema (L/m<sup>2</sup>d)

Q: caudal existente en el sistema (L/d)

Área superficial de la unidad: en (m<sup>2</sup>)

### B.1.5 Carga sobre el vertedero

El vertedero es una estructura de control hidráulico, su función es presentar un obstáculo al libre flujo del agua. Un caso particular es el vertedero lateral, el cual se instala en una de las paredes de un canal para derivar hacia otro canal o para descargar excesos de agua. La carga sobre el vertedero tiene una pequeña influencia sobre la eficiencia de tanques de sedimentación, a menos que se presentan velocidades extremas en la salida del efluente, debido a las limitaciones de la longitud del vertedero.

La carga sobre el vertedero lateral se obtiene empleando [9]:

$$Cv = \frac{Q}{Lv} \quad (Ec. 2.7)$$

donde:

$C_v$ : carga sobre el vertedero lateral ( $m^2/h$ )

$Q$ : caudal existente en el sistema ( $m^3/h$ )

$L_v$ : longitud del vertedero (m)

### **B.1.6 Cargas de sólidos en el tanque de sedimentación (SLR)**

La carga de sólidos varía en función del caudal y es un aspecto que se utiliza comúnmente para el diseño de sedimentadores. Si los sólidos se manejan adecuadamente se obtiene un efluente de óptima calidad. La carga de sólidos se determina por la siguiente expresión [9]:

$$SLR = \frac{X \times Q}{\text{Área Superficial} \times 10^6} \quad (\text{Ec.2.8})$$

donde:

SLR: cargas de sólidos ( $kg/m^2 h$ )

$Q$ : caudal existente en el sistema (L/h)

$X$ : concentración de sólidos suspendidos en el afluente (mg/L)

Área superficial: en ( $m^2$ )

$10^6$ : factor de conversión ( $1 kg./ 10^6 mg$ )

En la tabla 2.5 se aprecian valores usuales de los parámetros usados en el diseño de sedimentadores primarios para diferentes clases de suspensiones [9].

### **2.4.3 Tratamientos secundarios**

Los sistemas de tratamiento biológicos son utilizados en el tratamiento secundario para líquidos que provienen de tratamientos primarios y eliminar los compuestos orgánicos solubles y coloidales por medio del metabolismo de los microbios. Los objetivos principales del tratamiento biológico son reducir el contenido en materia orgánica de las

aguas, reducir su contenido en nutrientes y eliminar tanto patógenos como parásitos. Estos tratamientos pueden clasificarse según su función metabólica en:

- **Procesos aeróbicos:** Procesos en el tratamiento biológico que ocurren en presencia de oxígeno.

- **Procesos anaeróbicos:** Procesos en el tratamiento biológico que ocurren en ausencia de oxígeno.

- **Procesos anóxicos:** Proceso por medio del cual el nitrógeno de los nitratos se convierte biológicamente en nitrógeno gaseoso en ausencia de oxígeno.

- **Procesos facultativos:** Proceso en el cual los organismos pueden actuar en ausencia de oxígeno molecular.

- **Procesos combinados o híbridos:** Conjunto de procesos en el tratamiento biológico que son combinaciones de procesos aerobios, anaerobios y anóxicos agrupados con el fin de conseguir un objetivo particular. Los principales procesos del tratamiento biológico utilizados en el tratamiento de aguas residuales son: a) procesos de lodos activados, b) aireación extendida (modificación del proceso de lodos activados), c) digestión aeróbica e anaeróbica, d) filtros percoladores, e) sistemas biológicos de contactos rotatorios, f) reactor de lecho empacado, g) filtros percoladores, h) desnitrificación por crecimiento en suspensión, i) reactor de manto de lodo, j) lagunas aeróbicas, anaeróbicas y facultativas [9,15].

**Tabla 2.5** Parámetros usuales para diseño de sedimentadores primarios empleados en el tratamiento de aguas residuales [9]

<b>Sedimentador primario seguido por tratamiento secundario</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Valor usual</b>
Tiempo de retención	h	1,5 a 2,5	2,0
Carga superficial			
Para caudal promedio máximo	L/m <sup>2</sup> d	30.150,00 a 50.100,00	40.750,00
Para caudal pico registrado	L/m <sup>2</sup> d	81.500,00 a 122.200,00	89.600,00
Carga sobre vertedero	L/m d	124.000,00 a 496.000,00	186.000,00
<b>Sedimentador primario con retorno de lodo activado de purga</b>			
Tiempo de retención	h	1,5 a 2,5	2,0
Carga superficial			
Para caudal promedio máximo	L/m <sup>2</sup> d	24.400,00 a 32.500,00	28.500,00
Para caudal pico registrado	L/m <sup>2</sup> d	49.000,00 a 69.200,00	61.000,00
Carga sobre vertedero	L/m d	124.000,00 a 496.000,00	248.000,00

### **A. Procesos de lodos activados**

El proceso de lodos activados y sedimentación, físicamente se lleva a cabo en un tanque sencillo con entrada permanente de aguas residuales, donde los procesos de aireación y sedimentación se llevan a cabo simultáneamente.

En este proceso la materia orgánica biodegradable es removida de las aguas residuales, a través de una oxidación biológica. El efluente proveniente de un tratamiento primario, entra al tanque de aireación donde se mezclan los organismos con grandes

cantidades de aire, aquí los organismos oxidan una parte del desecho orgánico a dióxido de carbono y agua, sintetizando la otra parte en forma de células microbianas nuevas obtenidas del proceso de oxidación.

Seguidamente la mezcla pasa a un tanque de sedimentación donde los microorganismos floculantes se asientan y son removidos de la corriente del efluente, estos microorganismos sedimentados, llamados lodos activados son recirculados hacia el tanque de aireación para ser nuevamente mezclados con el agua residual del sedimentador [5,9,15].

Los lodos activados formados en este proceso esta constituido por hongos, bacterias, protozoarios, rotíferos, masas floculantes de Zooglea Ramígera, Escherichia Intermedium, Narcodia Actinomorfa, cuando estos organismos crecen excesivamente, causan unos de los problemas operacionales más serios en el proceso de lodos activados, que es el desarrollo de espuma biológica en la superficie de los tanques de aireación y sedimentación.

Los principales procesos que se utilizan comúnmente para lodos activados son los siguientes [9,15]:

- Flujo de pistón convencional: Tanto el agua residual sedimentada como el lodo activado recirculado entran en el inicio de tanque de aireación y son mezclados por aireación mecánica o difusores de aire, este debe ser uniforme a lo largo del tanque. Los sólidos del lodo activado son separados en un sedimentador.
- Flujo de pistón con alimentación escalonada: Se diferencia del proceso de flujo de pistón convencional, en que el agua residual sedimentada es introducida en diferentes puntos del tanque de aireación. La demanda de oxígeno y la carga orgánica pueden variar durante el proceso.
- Mezcla completa: El agua residual sedimentada y el lodo activado recirculado se introducen en determinados puntos del tanque de aireación. La demanda de oxígeno y la carga orgánica deben permanecer uniformes en el tanque.

- Nitrificación en una sola etapa: Pueden ser un conjunto de reactores de mezcla completa o de flujo de pistón. La reducción del amonio y de la DBO ocurre en una etapa biológica.
- Remoción de nitrógeno y de fósforo: Ocurren simultáneamente los procesos de desnitrificación y nitrificación.
- Aireación extendida: Es similar al de flujo de pistón convencional, con las condicionantes de una carga orgánica baja y tiempo aireación largo. Es usado para comunidades pequeñas.
- Aireación extendida y sedimentación intermitente: El flujo hacia el reactor debe ser continuo, debido a que la aireación y sedimentación ocurren en el mismo tanque. Debido a que en la fase de aireación se produce la reducción de la DBO, el lodo es purgado durante esta fase.

Los parámetros de diseños utilizados para el tanque de aireación en procesos biológicos se detallan a continuación.

### **A.1 Carga (Caudal) de diseño (Q)**

Se calcula usando la ecuación 2.4

### **A.2 Carga orgánica (B)**

Es la cantidad de materia orgánica, generalmente medida como  $DBO_{5,20}$  aplicada a un proceso de tratamiento determinado expresada como peso por unidad de tiempo, por unidad de superficie o por unidad de peso [9].

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$B = DBO_{5,20} \times Q \times 10^6 \quad (\text{Ec.2.9})$$

donde:

B: carga orgánica (k. de  $DBO_{5,20}/d$ )

$DBO_{5,20}$ : demanda bioquímica de oxígeno aplicada al sistema (mg/L)

Q: caudal existente en el sistema (L/h)

$10^6$ : factor de conversión (1 kg/  $10^6$  mg)

### A.3 Sólidos Suspendedos(S) y Sólidos volátiles (SR) contenidos en el aireador

La determinación de S y SR considerando que ambas plantas de tratamiento operan con sistemas biológicos de tratamiento, Rivas [5] propone utilizar las siguientes ecuaciones:

$$S = \frac{a \times B \times E}{b} \quad (\text{Ec.2.10})$$

donde:

S: sólidos suspendidos contenidos en el aireador (kg)

a: constante de fracciones de DBO sintetizada por día

B: carga orgánica (kg de  $DBO_{5,20}/d$ )

E: eficiencia del sistema como de decimal

b: rata de autooxidación

$$SR = 0,8 \times S \quad (\text{Ec.2.11})$$

donde:

SR: sólidos volátiles contenidos en el aireador (kg)

#### A.4 Factor de carga. Relación alimento-microorganismo (K)

Este parámetro es uno de los más importantes en el diseño de procesos, es la representación del sustrato biodegradable por unidad de tiempo, expresada por el parámetro que es más representativo a este respecto, la demanda bioquímica de oxígeno.

En efecto cuando los valores de K son muy pequeños del orden de 0,10 a 0,80 (días<sup>-1</sup>), el sistema es altamente eficiente y un efluente de muy baja DBO, para valores intermedios de 0,20 a 0,80 (días<sup>-1</sup>), la oxidación del sustrato no es completa, sin embargo la concentración de la DBO es aún baja.

El factor de carga requerido para este equipo está dado por [5]:

$$K = \frac{\text{kg DBO aplicada / d}}{\text{kg sólidos suspendidos volátiles}} \quad (\text{Ec.2.12})$$

donde:

K: factor de carga (día<sup>-1</sup>)

Cristes y Tchobanoglous [9] presentan diferentes ecuaciones para determinar el volumen del tanque de aireación en procesos biológicos. Dentro de las ecuaciones propuestas se encuentra la determinación del volumen de esta unidad basado en el factor de carga (K). Siendo expresada de la siguiente manera:

$$V = \frac{Q \times S_0}{X \times K} \quad (\text{Ec.2.13})$$

donde:

V: volumen tanque de aireación (L)

Q: caudal existente en el sistema (L/d)

So: concentración de DBO a la entrada del tanque de aireación (mg/L)

X: sólidos suspendidos contenidos en el aireador (mg/L)

K: factor de carga (día<sup>-1</sup>)

### A.5 Tiempo de retención ( $t_R$ )

El tiempo de retención esta dado por la ecuación 2.5.

### A.6 Cantidad de sólidos suspendidos en el aireador ( $C_{sa}$ )

El contenido del tanque de aireación se conoce con el nombre de licor mixto, conteniendo sólidos biológicos sedimentables provenientes de la recirculación del tanque de sedimentación.

La carga de sólidos que llega al tanque de aireación son comunes los valores de 6 a 9 kg de sólidos en suspensión del licor mixto por m<sup>2</sup> de área de superficie del tanque de sedimentación por hora [8].

Por lo antes expuesto es importante conocer la concentración de los sólidos suspendidos que puede tolerar el tanque de aireación.

La cantidad de  $C_{sa}$  es calculado según la ecuación [8]:

$$C_{sa} = \frac{DBO_{5,20}}{K \times 0,8 \times t_R} \quad (\text{Ec.2.14})$$

donde:

$C_{sa}$ : concentración de los sólidos de aireación en el licor mixto (mg/L)

$t_R$ : tiempo de retención (d)

K: factor de carga (día<sup>-1</sup>)

### A.7 Concentración de sólidos de recirculación (C<sub>sr</sub>)

La recirculación además de ofrecer uniformidad y flexibilidad en la operación de plantas, distribuye las cargas orgánicas más efectivamente. La calidad del efluente es alterada apreciablemente por la recirculación. Es aconsejable utilizar para la recirculación entre un 25% a 50% del caudal existente del sistema [5].

La cantidad de C<sub>sr</sub> es calculado según la ecuación:

$$C_{sr} = \frac{C_{sa} (A + R)}{R} \quad (\text{Ec.2.15})$$

donde:

C<sub>sr</sub>: concentración de los sólidos de recirculación (mg/L)

C<sub>sa</sub>: concentración de los sólidos de aireación en el licor mixto (mg/L)

R: recirculación del lodo activado (L/h)

### A.8 Requerimientos de oxígeno (RO<sub>2</sub>)

Es la cantidad a suministrar necesaria de oxígeno molecular para asegurar la biodegradabilidad del substrato orgánico. Este oxígeno es suministrado generalmente, a través del oxígeno contenido en el aire atmosférico.

Respecto a los requerimientos de oxígeno pueden ser calculados por [5]:

$$RO_2 = [a' \times B \times E] + [b' \times V \times C_{sa} \times 0,8] \quad (\text{Ec.2.16})$$

donde:

RO<sub>2</sub>: L de O<sub>2</sub> requeridos en el sistema/d

a': coeficiente que representa la fracción de DBO removida (0,35 a 0,55)

B: kg de DBO agregados al sistema/d

E: eficiencia de remoción de DBO del sistema, como decimal

V: volumen del tanque (L)

b': coeficiente que representa la rata de respiración endógena (0,010 a 0,12 día<sup>-1</sup>)

S': kg de sólidos suspendidos volátiles contenidos en el aireador

### **A.9 Flujo requerido de aire (V'aire)**

En procesos biológicos la eficiencia estimada de transferencia de aire requerida en la aireación con difusores de aire es de aproximadamente un 5%. El flujo requerido de aire se determina utilizando las siguientes ecuaciones [9]:

$$V'_{\text{aire}} = \frac{RO_2}{C_{\text{aire}} \times E_f} \quad (\text{Ec.2.17})$$

donde:

V'aire: flujo requerido de aire (L aire/d)

Caire: cantidad de aire existente por 100% de oxígeno (21%)

Ef: eficiencia de transferencia de aire (5%)

### **B. Parámetros de diseño de sedimentador secundario**

El objetivo del sedimentador secundario es remover la DBO, DQO y cantidades adicionales de sólidos suspendidos que escapan de un tratamiento primario. Las instalaciones de toda planta de tratamiento que opere bajo el régimen de lodos activados, debe poseer como parte integral de su proceso a la sedimentación secundaria, para separar los lodos activados del líquido mezclado. Esta separación de sólidos es el último paso, antes de la descarga requerida para la producción de un efluente estable.

En el diseño de sedimentadores secundarios se deben considerar los siguientes factores: tipos de tanques, características de sedimentabilidad de los lodos en relación con las necesidades de espesamiento para la correcta operación de la planta, cargas de

superficie y cargas de sólidos, profundidad del agua, reparto del caudal, diseño de entrada de agua, carga sobre el vertedero, eliminación de espumas. En la tabla 2.6 se presentan valores usuales para el diseño de sedimentadores secundarios para varios tipos de tratamiento biológicos.

### **B.1 Tipos de tanques**

Los tipos de tanques empleados en el tratamiento de aguas residuales son los tanques rectangulares y circulares. También existen tanques cuadrados, pero no son tan eficaces en la retención de sólidos. En los tanques rectangulares se recomienda: longitud total del tanque no exceda de 10 a 15 veces su profundidad y relación largo/ancho de 4.

Los tanques circulares tienen diámetros de entre 10,0 a 40,0m teniendo en cuenta que el radio no exceda 5 veces la profundidad del agua en la periferia del tanque.

**Tabla 2.6** Valores usuales para el diseño de sedimentadotes secundarios para varios tipos de tratamientos biológicos

Tipo de tratamiento	Carga superficial (L/m <sup>2</sup> d)		Carga de sólidos (kg/m <sup>2</sup> h)		Profundidad (m)
	Promedio	Pico	Promedio	Pico	
Lodo activado	16.300,00 a 32.600,00	40.750,00 a 48.900,00	0,16 a 0,24	0,41	3,70 a 6,00
Aireación extendida	8.000,00 a 16.300,00	24.400,00 a 32.600,00	0,041 a 0,20	0,28	3,70 a 6,00
Planta compacta con aireación extendida	8.000,00 a 12.200,00	20.400,00 a 24.400,00	0,020 a 0,20	0,24	2,10 a 5,00
Filtros percoladores	16.300,00 a 24.400,00	40.750,00 a 48.900,00	0,12 a 0,20	0,33	3,00 a 5,50
Sistema biológicos de contacto rotatorios	16.300,00 a 32.600,00	40.750,00 a 48.900,00	0,12 a 0,20	0,33	3,00 a 5,50
Efluente secundario	16.300,00 a 32.600,00	40.750,00 a 48.900,00	0,16 a 0,24	0,41	3,00 a 5,50
Efluente nitrificado	16.300,00 a 24.400,00	32.600,00 a 40.750,00	0,12 a 0,20	0,33	3,00 a 5,50

**B.2 Volumen del tanque**

Se determina por la ecuación 2.3

**B.3 Tiempo de retención ( $t_R$ )**

Esta dado por la ecuación 2.5.

**B.4 Carga superficial (CS)**

Se determina por la ecuación 2.6.

**B.5 Carga sobre el vertedero ( $C_v$ )**

La carga sobre el vertedero lateral se obtiene empleando la expresión 2.7.

**B.6 Cargas de sólidos (SLR)**

Se calcula por la expresión 2.8.

**2.4.4 Tratamientos terciarios**

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.).

Entre los tratamientos terciarios más utilizados para lograr que los efluentes resultantes de un líquido residual bajo tratamiento, adquieran una pureza determinada para poder ser reutilizados en otros usos son descriptos a continuación [5].

### **A. Remoción de nitrógeno y fósforo**

Existen casos en particular donde los efluentes tratados, es necesario removerle el exceso de nitrógeno y fósforo. Debido a que estos componentes, son los constituyentes principales para sobrellevar el crecimiento de productores primarios en un ecosistema acuático, por ello su exceso, se traduce en una excesiva concentración de algas en los cuerpos de agua receptoras.

La remoción de estos nutrientes puede llevarse a cabo a través:

- De lagunas de estabilización.
- Coagulación-floculación.
- Remoción de ambos nutrientes utilizando las algas.
- Remoción de nitrógeno por
- Despojamiento de nitrógeno por el proceso “*Ammonia Striping*”.
- Uso de intercambiadores iónicos para la remoción de fósforo.

### **B. Procesos de oxidación química. Ozonación y cloración**

En la tabla 2.7 se muestran los factores que justifican la aplicación de ambos métodos para la desinfección de aguas residuales.

La cloración es un proceso muy usado en la desinfección de aguas residuales urbanas e industriales, persiguiendo como objetivo una disminución significativa de gérmenes coliformes mediante el empleo de cloro.

La adición de cloro se realiza mediante bombas dosificadoras, en un tanque o cámara de contacto continuo donde se supone condiciones de equilibrio y de mezcla completa para asegurar la reacción del cloro con el efluente procedente de la sedimentación [5,15].

Los parámetros de diseño para el proceso de desinfección son considerados a continuación.

**Tabla 2.7** Factores que intervienen en la aplicación de los procesos de desinfección utilizando la ozonación y cloración

Ozonación	Cloración
El ozono reacciona fácilmente con los productos orgánicos no saturados presentes en el agua residual	Destruye e inhibe el crecimiento de algas y bacterias
Reducción en la tendencia a formar espumas, después de la adición del ozono	Reducción de la DBO por efecto de la oxidación de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual
El ozono presente en el efluente se convierte en oxígeno una vez que ha servido a sus fines. Este oxígeno es beneficioso para las corrientes receptoras y ayuda a mantener la vida acuática	Oxidación de las sustancias que producen olor y color en el agua residual
La desinfección por medio de ozono puede sustituir al cloro en el tratamiento de las aguas residuales que contienen cianuro	Oxidación de iones metálicos
Las aguas residuales provenientes de tratamientos biológicos quedan más susceptibles al utilizar ozono, ya que esto lleva lugar a la ruptura de los anillos y a la oxidación parcial de los productos aromáticos presentes en el efluente	Oxidación de los cianuros a productos inocuos

### B.1 Volumen del tanque

Es indispensable determinarlo, ya que de este depende el período de retención en el tanque. Para tanques rectangulares se calcula aplicando la ecuación 2.3.

### B.2 Tiempo de retención

El tiempo de retención esta dado por la ecuación 2.5.

### B.3 Cantidad de cloro

Es necesario determinar la cantidad de cloro a utilizar a razón del caudal que maneje la planta de tratamiento, para así lograr una óptima desinfección. Las bibliografías consultadas [5,15] a este respecto, siguieren que se debe mantener una concentración de cloro residual a la salida de la planta de 1 mg/L. Se determina usando la siguiente ecuación:

$$g \text{ Cl}_2 = Q \times Cf \times 0,001 \quad (\text{Ec.2.18})$$

donde:

$g \text{ Cl}_2 / d$ : cantidad de cloro (g)

$Cf$ : concentración esperada de cloro en el efluente (mg/L)

0,001: conversión de mg a g

Usualmente se trabaja con hipoclorito de calcio ( $\text{CaClO}_2$ ) granulado, con 65% a 70% de  $\text{Cl}_2$ . El peso a utilizar de  $\text{CaClO}_2$  para preparar la solución se puede determinar a partir de la ecuación:

$$P = \frac{V \times Cf}{\%} \quad (\text{Ec.2.19})$$

donde:

P: peso del sólido  $\text{CaClO}_2$  (kg)

V: cantidad de agua a usar para la dilución (L)

%: porcentaje de cloro activo presente en el producto

### **C. Remoción de despojos radioactivos de baja concentración**

Muchos líquidos residuales industriales tratados, presentan concentraciones fuera de los límites ambientales permisibles de radioisótopos, provocando problemas de saneamiento ambiental en los cuerpos de aguas receptores donde son vertidos.

A continuación son nombrados los métodos de remoción de radioactividad comúnmente usados [5]:

- La adición de coagulantes resulta en la precipitación de algunos de los constituyentes solubles del líquido residual provocando reducciones de la radioactividad hasta un 75%.
- Ablandamiento con cal-carbonato de sodio produce buenos resultados, con remociones hasta de un 99%.
- La filtración remueve flóculos ya formados, presenta buenos resultados en la remoción de la radioactividad.
- Los intercambiadores iónicos con resinas ofrecen resultados de remoción de hasta un 99%.
- La destilación permite concentrar material radioactivo y así separarlo del líquido bajo tratamiento.

## **2.5 Operaciones físicas unitarias para el tratamiento de aguas residuales**

En estas operaciones se realizan cambios en las características y propiedades del agua, mediante la aplicación de las fuerzas físicas, las más comúnmente utilizadas son: a) desbaste, b) homogenización de caudales, c) mezclado, d) floculación, e) sedimentación, f) transferencia de gases y g) filtración [6,11].

### **2.5.1 Desbaste**

La primera operación que tiene lugar en una planta de tratamiento es la operación de desbaste. Una rejilla es un elemento con aberturas, generalmente de tamaño uniforme, que se utiliza para retener los sólidos gruesos existentes en el agua residual, también puede utilizarse un tamiz [6].

### **2.5.2 Homogenización de caudales**

En la depuración de agua residual, los efectos de los tratamientos físicos y químicos combinados o por separado, es uno de los aspectos más importantes. La homogenización se emplea para minimizar la variabilidad en el caudal y composición del agua residual [6].

### **2.5.3 Mezclado**

El mezclado es en general el primer escalón del tratamiento. Es esencial para el mezclado y dispersión completa y rápida del coagulante ya que la esencia del mezclado puede tener como resultado un exceso de turbiedad en el efluente [6].

### **2.5.4 Floculación**

Normalmente es la etapa que sigue a la mezcla rápida en las plantas de tratamiento convencionales.

El proceso se desarrolla en un recipiente equipado con un agitador y proporciona múltiples oportunidades a las partículas suspendidas en el agua para que colisionen y se agreguen unas a otras, gracias a una agitación suave y prolongada [11].

### **2.5.5 Sedimentación**

Los procesos de sedimentación para la retirada de sólidos particulados y coloidales, así como suspensiones son parte integral de casi todas las plantas de tratamiento de agua residual.

Dependiendo de las características de las partículas suspendidas y de su concentración, los procesos de sedimentación se dividen en cuatro tipos: a) clase I se aplica a partículas, b) clase II se aplica a partículas y suspensiones, c) clase III se aplica a suspensiones y d) clase IV se aplica al espesamiento [11].

### **2.5.6 Filtración**

La eliminación eficaz de sólidos en suspensión mediante el procedimiento de filtración requiere un efluente de baja concentración en sólidos, como puede ser el efluente de un tratamiento secundario. Las alternativas incluyen la filtración en medio granular, filtración con tierra de diatomeas y la ultrafiltración [6].

## **2.6 Procesos químicos unitarios en el tratamiento de aguas residuales**

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos, se conocen como procesos químicos unitarios. Entre ellos se pueden citar: precipitación, adsorción y desinfección [6,11].

### **2.6.1 Adsorción**

A temperaturas ordinarias, la adsorción es causada por lo general por las fuerzas intermoleculares en vez de la formación de nuevos enlaces químicos y, en este caso, se conoce como adsorción física o fisisorción. A temperaturas elevadas (200 °C a 400 °C) se dispone de la energía de activación necesaria para romper las uniones químicas y, si dicho mecanismo prevalece, la adsorción se conoce como quimisorción o adsorción activada. Es utilizada en la purificación de los efluentes de procesos para control de la contaminación, para el tratamiento del suministro del agua por lo que respecta a olor, sabor y color, entre otros [6].

### **2.6.2 Precipitación**

En el tratamiento de aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, facilitando su eliminación por sedimentación y filtración. La reacción química de precipitación puede realizarse a temperatura ambiente (proceso frío) o temperaturas altas de entre 100 °C y 121 °C (proceso caliente) [6].

### **2.6.3 Desinfección**

La desinfección de las aguas y aguas residuales, es decir la destrucción de los patógenos hídricos, no se logra a través de medios biológicos, sino físicos y químicos. Siendo la desinfección química la que ofrece mayores posibilidades de éxito que la desinfección física. Los patógenos de todo tipo y clases son removidos en un grado variable, por la mayoría de los procesos convencionales de tratamiento. El agua se puede desinfectar en una serie de formas categóricas. Entre las más prácticas de ellas están el calor y la luz, así como los agentes químicos (cloro, ozono) [6].

## 2.7 Eficiencia del sistema de tratamiento

La eficiencia de las plantas de tratamiento se determina sobre los resultados obtenidos de la prueba de DBO<sub>5,20</sub> según la ecuación [6]:

$$Eficiencia = \frac{DBO\ entrada - DBO\ salida}{DBO\ entrada} \times 100 \quad (Ec.2.20)$$

donde:

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno a la entrada de la planta.

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno a la salida de la planta.

## 2.8 Análisis y diseño de sistemas de tratamiento para el agua residual. Factores a considerar en la selección de los sistemas de tratamiento

Dependiendo de los constituyentes a remover y del grado de remoción de los mismos, dependerá la elección de los métodos y procesos de tratamientos a utilizar en un sistema de tratamiento, esto involucra la consideración de los factores que afectarán el dimensionamiento, el desempeño y la confiabilidad de las instalaciones.

El uso específico de uno de ellos o su combinación se determina de acuerdo al estudio realizado a diversos factores, dentro de los que se pueden citar [9].

### 2.8.1 Aplicabilidad del proceso

Se realizan estudios en plantas piloto con caudales mayores a lo establecido en el diseño, para así establecer la adecuación del proceso en el tratamiento del agua residual particular, bajo otras condiciones de operación, llevando a cabo simulaciones de los procesos.

### **2.8.2 Caudal de operaciones**

Es necesario tomar en cuenta al momento de diseñar un sistema de tratamiento las condiciones críticas de diseño, causadas por variaciones en aspectos del agua a tratar como caudal y carga másica, ya que estos factores definen el tamaño de las instalaciones de una planta de tratamiento.

### **2.8.3 Características del agua residual a tratar**

Son parámetros claves dentro de la elección de los procesos, ya que afectan directamente tanto a los procesos de tratamiento como los requisitos de operación de los mismos.

Para realizar esta caracterización se realiza un muestreo comúnmente en la captación de muestras compuestas, las cuales están conformadas por varias fracciones recolectadas a intervalos de tiempos iguales durante el día de muestreo.

La composición del agua residual doméstica es diferente a la de origen industrial, como resultado de los diferentes usos que se le dan al agua, como por ejemplo en el agua residual doméstica por lo general se aprecian mayor cantidad de organismos patógenos, esto derivado de la existencia de individuos enfermos en la comunidad, mientras que en la de origen industrial dependerá de las actividades inherentes a la producción de cada industria.

### **2.8.4 Procesos adicionales cuando la calidad del efluente esté fuera de operación**

Cuando la calidad del efluente no es el esperado, es necesario considerar si es debido a ineficiencias en el sistema de tratamiento ya establecido o a la carencia de otros tratamientos adicionales, para así lograr un efluente mejor acondicionado que pueda ser de descargado en cuerpos de aguas receptores.

### **2.8.5 Disponibilidad del terreno**

Las operaciones y procesos del sistema de tratamiento se ubican sobre el plano del terreno, agrupando en la medida de lo posible los equipos que desarrollan procesos similares, de este modo es considerado si es suficiente el espacio para ubicar las instalaciones propuestas y para eventuales futuras ampliaciones de ser necesarias.

### **2.9 Plantas de tratamiento**

Las plantas de tratamiento de aguas son elementos clave en los sistemas de abastecimiento de aguas y en los de evacuación de aguas residuales.

Dentro de los confines específicos de los sistemas de agua que se vayan a diseñar normalmente, se deberá determinar óptimamente la posición, la naturaleza y el tamaño de las plantas de tratamiento respecto a [12]:

- La fuente y calidad del agua a ser tratada.
- El origen y composición de las aguas residuales producidas.
- La naturaleza de las aguas receptoras en las que se vayan a dispersar las aguas residuales.
- La configuración y topografía de la comunidad y sus zonas circundantes.
- La población anticipada, el crecimiento industrial y la expansión del área.
- Los costos de tratamiento.

### **2.10 Disposición final de líquidos residuales**

Una descarga incontrolada de las aguas residuales atenta, contra la posible utilización de las masas hídricas receptoras. Los líquidos residuales deben ser descargados en tal forma que no constituyan un problema social, ya que en muchos casos reduce notablemente la fauna acuática, alterando las condiciones físicas, químicas y especialmente micro biológicas de las aguas. Para la disposición de las aguas residuales es necesario

establecer las características de los líquidos que se van a descargar, comprendiendo: gastos y variaciones de volumen, composición de los líquidos residuales domésticos e industriales y de igual manera las características del receptor. La evaluación de las características tanto de los líquidos a descargar como de la masa receptora permite, establecer el tratamiento que sea necesario para garantizar la preservación integral de los receptores acuáticos [9].

El sistema de control para la disposición de aguas residuales consiste en establecer normas de calidad que deben ser aplicadas a las aguas servidas cuando han de ser descargadas en los cuerpos de aguas receptoras y las condiciones mínimas que deben ser exigidas al receptor en relación con su uso, esto conlleva a establecer el grado de tratamiento requerido para los líquidos residuales en función de las condiciones actuales de los receptores acuáticos. Por lo tanto las normas de calidad de agua son un conjunto de limitaciones, tanto cuantitativas como cualitativas, establecidas para mantener o mejorar la calidad de los cuerpos de aguas receptoras. Los cuerpos de aguas receptoras se clasifican en diversas categorías en función de su uso, actual o previsto, estableciéndose para cada uno de ellos un conjunto de limitaciones para la protección de sus usos como abastecimiento de agua potable, baño, pesca, deportes a campo abierto, cosecha de mariscos en estuarios y zonas costeras. En nuestro país estas limitaciones se encuentran establecidas por el Ministerio del Poder Popular del Ambiente. Este organismo es el encargado de la regulación, formulación y seguimiento de la política ambiental del Estado venezolano.

### **2.10.1 Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos**

El objetivo principal de estas normas es controlar la calidad de los cuerpos de agua, tomando en consideración sus usos actuales y potenciales. Para lograr este objetivo, el Decreto 883 establece límites de efluentes y obliga a la creación de planes de calidad para cada uno de los cuerpos de agua, estableciendo prioridades dependiendo de los problemas de cada uno [13]. La disposición final del efluente de las plantas de tratamiento que son

evaluadas en este trabajo es el río Neverí, debido a ello sus caracterizaciones físicas químicas y bacteriológicas son regidas por el artículo 10 del mencionado decreto, donde se establecen los rangos y límites de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses.

En la tabla 2.8 se muestran los límites máximos para la aplicación del artículo 10 del decreto 883.

**Tabla 2.8** Límites máximos de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses [13]

Parámetros fisicoquímicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos (mg/L)	20,0
Aceites y grasas vegetales y animales (mg/L)	20,0
Alfil mercurio	No detectable (*)
Aldehídos (mg/L)	2,0
Aluminio total (mg/L)	5,0
Arsénico total (mg/L)	0,5
Boro (mg/L)	5,0
Cadmio total (mg/L)	0,2
Cianuro total (mg/L)	0,2
Cloruros (mg/L)	1000,0
Cobalto total (mg/L)	0,5
Cobre total (mg/L)	1,0
Color real	500 unidades de Pt-Co
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> ) (mg/L)	60,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)	350,0
Detergentes (mg/L)	2,0
Dispersantes (mg/L)	2,0
Espuma	Ausente
Estaño (mg/L)	5,0
Fenoles (mg/L)	0,5
Fluoruros (mg/L)	5,0
Fósforo total (expresado como fósforo) (mg/L)	10,0
Hierro total (mg/L)	10,0
Manganeso total (mg/L)	2,0
Mercurio total (mg/L)	0,01
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno) (mg/L)	40,0
Nitritos + nitratos (mg/L)	10,0
Ph	6-9
Plata total (mg/L)	0,1
Plomo total (mg/L)	0,5
Selenio (mg/L)	0,05
Sólidos flotantes	Ausente
Sólidos suspendidos (mg/L)	80,0
Sólidos sedimentables	1,0

**Tabla 2.8** Límites máximos de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses (continuación)

Sulfatos (mg/L)	1000,0
Sulfitos (mg/L)	2,0
Sulfuros (mg/L)	0,5
Zinc (mg/L)	5,0
Organo fosforados y Carbamatos (mg/L)	0,25
Organo clorados (mg/L)	0,05
Actividad $\alpha$ (Bq/L)	máximo 0,1
Actividad $\beta$ (Bq/L)	máximo 1,0
Coliformes totales (NMP/ml)	no mayor 1000,0

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TRABAJO**

#### **3.1 Diagnóstico de la situación actual en cuanto a la operatividad en las plantas de tratamiento de agua residual: tapas corona s.a. y c.c. sigo la proveeduría.**

Para la elaboración del diagnóstico de la operatividad actual de las plantas de tratamiento evaluadas, se ejecutó en dos partes: primero se realizó la descripción de las plantas evaluadas, en cuanto a la condición de sus equipos y sistemas de tratamientos; en segundo lugar se calcularon los parámetros de diseño en las condiciones operacionales. En los siguientes apartados de esta sección se describen como se realizó este diagnóstico.

##### **3.1.1 Descripción de las condiciones operacionales de las plantas**

La primera parte de este diagnóstico, comprende los siguientes pasos:

###### **A. Reconocimiento del área de estudio. Identificación de los sistemas de tratamiento**

Se realizó un recorrido por las plantas de tratamiento conjuntamente con los operadores de las instalaciones, delimitándose el área objeto a estudio y la identificación de los sistemas de tratamientos utilizados.

La planta C.C. Sigo La Proveeduría se encuentra ubicada en el área de desembarque del centro comercial, esta planta es de tipo compacta y opera bajo el proceso de lodos activados, consta de cuatro elementos: a) pretratamiento utilizando dos dispositivos, primero un sistema trampa grasa y segundo el uso de rejillas para la retención de objetos y evitar que estos pasen a la planta, b) un tanque de aireación, donde se lleva a cabo la digestión aeróbica inyectándose aire por medio de difusores, c) un tanque de

sedimentación, en este equipo los sólidos sedimentan al fondo del tanque y regresan al tanque de aireación por medio del sistema de retorno de lodos, contiene un desnatador cuya función es remover partículas o materia flotante que puedan estar presentes en este tanque, d) finalmente para culminar el tratamiento, las aguas residuales pasan a una cámara de cloración, donde se dosifica una solución de hipoclorito de calcio proveniente de un tanque de almacenamiento ubicado en la caseta de equipos de la planta.

El efluente derivado de esta planta de tratamiento es enviado por medio de tuberías subterráneas hacia una tanquilla ubicada en las afueras del centro comercial, donde continúa su recorrido hasta finalmente llegar al drenaje pluvial de la zona.

Referente a esta planta es importante mencionar el uso inadecuado de los canales pluviales del centro comercial.

Estos canales también son usados como medio de descarga de las aguas residuales producto de las actividades de limpieza de las cavas, siendo desviados estos afluentes de la planta de tratamiento y enviados directamente a la tanquilla antes mencionada ubicada a las afueras del centro comercial.

En cuanto a la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. está ubicada en un área vecina a los talleres donde se producen las tapas, utilizando el proceso biológico de aireación extendida, conformado por: a) una etapa de pretratamiento en un tanque subterráneo, donde usando rejillas se retienen objetos que puedan venir en el líquido residual, b) seguidamente por medio de bombas sumergibles es transferido a un tanque de aireación, donde se inyecta aire a través de difusores ubicados en el fondo del tanque, c) continua su recorrido por medio de tuberías pasando a un tanque de sedimentación, cuyo objetivo es disminuir la concentración de sólidos sedimentables. Después que el líquido tratado sale del tanque de sedimentación se le adiciona de manera directa una solución de hipoclorito de calcio. Inmediatamente el efluente es enviado por tuberías al río Aragua siguiendo su curso hasta llegar finalmente al río Neverí.

## **B. Identificación de los procesos generadores del agua residual**

La planta C.C. Sigo La Proveeduría fue diseñada para tratar el líquido residual proveniente de los sanitarios del centro comercial, de las generadas en las actividades tanto del área de perecederos: carnicería, supermercado, charcutería, panadería y de las actividades de limpieza de los aires acondicionados y cavas del centro comercial. Mientras que la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. el agua residual a tratar son las provenientes del edificio administrativo y del proceso de fabricación de las tapas.

## **C. Reconocimiento de las condiciones operacionales de los equipos que conforman las plantas de tratamiento evaluadas**

Durante el recorrido por las plantas se recaudaron datos de interés de las unidades de tratamiento siendo recopiladas en listas de chequeo permitiendo esto determinar las condiciones de operabilidad de las plantas. En las tablas 3.1 y 3.2 se muestran las condiciones operacionales de las plantas evaluadas plasmadas en las listas de chequeo.

## **D. Definición de los nodos del proceso**

Los nodos o puntos representan el subsistema o sistema de un proceso donde se va evaluar una serie de variables de interés. Se fijaron los nodos en las unidades de proceso de las plantas de tratamiento Tapas Corona S.A. y C.C. Sigo La Proveeduría, información que ayudara a cumplir con el objetivo de la determinación de la eficiencia de las plantas.

Cada punto o nodo etiquetado, posteriormente será caracterizado con valores determinados de las variables de proceso obtenidas en los monitoreos a las plantas, como son: composición de las aguas residuales, caudal, temperatura, oxígeno disuelto y pH datos necesarios para la realizar la segunda parte de este diagnóstico como es la determinación de los parámetros de diseño.

**Tabla 3.1** Descripción de las condiciones operacionales de la planta de tratamiento C.C.

## Sigo La Proveduría

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE C.C. SIGO LA PROVEEDURÍA</b>			
<b><u>EQUIPO: Tanquilla de prebombeo</u></b>			
Estado físico	Bien ( )	Regular ( <b>X</b> )	Malo ( )
Rejilla	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
Sólidos retenidos en rejilla	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
Agua residual	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
<b>Características del agua residual en este equipo:</b>			
Color	Claro( )	Marrón claro( )	Marrón obs.( ) Negro( ) Gris( <b>X</b> )
Olor	Ninguno( )	Moho( )	Ligeramente séptico( <b>X</b> ) Séptico( )
Sólidos flotantes	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
<b><u>EQUIPO: Tanque de aireación</u></b>			
Estado físico	Bien ( )	Regular( <b>X</b> )	Malo ( )
Agua residual	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
<b>Características del agua residual en este equipo:</b>			
Color	Cristalino( )	Marrón claro( )	Marrón obs.( ) Negro( <b>X</b> )
Olor	Ninguno( )	Moho( )	Ligeramente séptico( ) Séptico( <b>X</b> )
Sólidos flotantes	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
Espuma	Ausente ( )	Poca ( <b>X</b> )	Exceso ( )
Grasa en flotación	Ausente ( )	Poca ( <b>X</b> )	Exceso ( )
Turbulencia	Ausente ( )	Poca ( <b>X</b> )	Regular ( ) Exceso( )
Capa de lodo en la superficie del equipo	Ausente ( )	Presente ( <b>X</b> )	
Grasa en flotación	Ausente ( )	Poca ( <b>X</b> )	Exceso ( )
<b><u>Equipo: Tanque de sedimentación</u></b>			
Estado físico	Bien ( )	Regular ( <b>X</b> )	Malo ( )
Agua residual	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
<b>Características del agua residual en este equipo:</b>			
Color	Cristalino( )	Marrón claro( )	Marrón obs.( ) Negro( <b>X</b> )
Olor	Ninguno( )	Moho( )	Ligeramente séptico( ) Séptico( <b>X</b> )
Sólidos flotantes	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
Espuma	Ausente ( )	Poca ( )	Exceso ( <b>X</b> )
Grasa en flotación	Ausente ( )	Poca ( <b>X</b> )	Exceso ( )
Capa de lodo en la superficie del equipo	Ausente ( )	Presente ( <b>X</b> )	

**Tabla 3.1** Descripción de las condiciones operacionales de la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveduría (continuación)

<b><u>EQUIPO: Cámara de cloración</u></b>	
Estado físico	Bien ( )      Regular ( <b>X</b> )      Malo ( )
Agua residual	Presente ( <b>X</b> )      Ausente ( )
<b>Características del agua residual en este equipo:</b>	
Color	Cristalino( ) Marrón claro( ) Marrón obs.( ) Negro( <b>X</b> )
Olor	Ninguno( ) Moho( ) Ligeramente séptico( ) Séptico( <b>X</b> )
Sólidos flotantes	Presente ( <b>X</b> )      Ausente ( )
Espuma	Ausente ( )      Poca ( <b>X</b> )      Exceso ( )
Grasa en flotación	Ausente ( <b>X</b> )      Poca ( )      Exceso ( )
Capa de lodo en la superficie del equipo	Ausente ( <b>X</b> )      Presente ( )

**Tabla 3.2** Descripción de las condiciones operacionales de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE TAPAS CORONA S.A.</b>			
<b><u>EQUIPO: Tanque subterráneo</u></b>			
Estado físico	Bien ( <b>X</b> )	Regular ( )	Malo ( )
Rejilla	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
Sólidos retenidos en rejilla	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
Agua residual	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
<b>Características del agua residual en este equipo:</b>			
Color	Cristalino( ) Marrón claro( <b>X</b> ) Marrón obs.( ) Negro( )		
Olor	Ninguno( ) Moho( ) Ligeramente séptico( <b>X</b> ) Séptico( )		
Sólidos flotantes	Presente ( )	Ausente ( <b>X</b> )	
<b><u>EQUIPO: Tanque de aireación</u></b>			
Estado físico	Bien ( )	Regular ( <b>X</b> )	Malo ( )
Agua residual	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
<b>Características del agua residual en este equipo:</b>			
Color	Cristalino( <b>X</b> ) Marrón claro( ) Marrón obs.( ) Negro( )		
Olor	Ninguno( ) Moho( ) Ligeramente séptico( <b>X</b> ) Séptico( )		
Sólidos flotantes	Presente ( )	Ausente ( <b>X</b> )	
Espuma	Ausente ( <b>X</b> )	Poca ( )	Exceso ( )
Grasa en flotación	Ausente ( <b>X</b> )	Poca ( )	Exceso ( )
Turbulencia	Ausente ( )	Poca ( )	Regular ( <b>X</b> ) Exceso( )
Capa de lodo en la superficie del equipo	Ausente ( <b>X</b> )	Presente ( )	

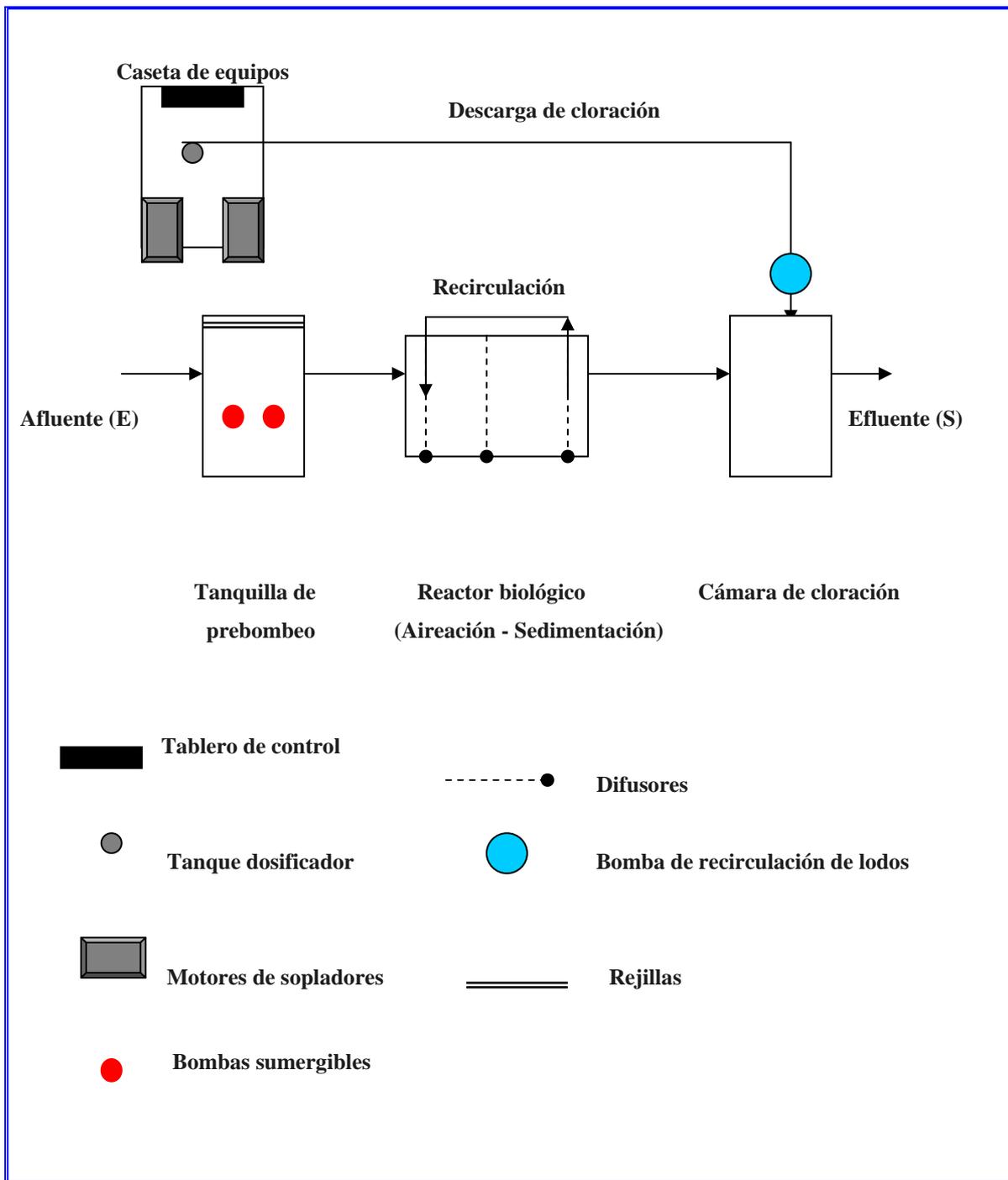
**Tabla 3.2** Descripción de las condiciones operacionales de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. (continuación)

<b><u>Equipo: Tanque de sedimentación</u></b>			
Estado físico	Bien ( )	Regular ( <b>X</b> )	Malo ( )
Agua residual	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
<b>Características del agua residual en este equipo:</b>			
Color	Cristalino( ) Marrón claro( <b>X</b> ) Marrón obs.( ) Negro( )		
Olor	Ninguno( ) Moho( ) Ligeramente séptico( <b>X</b> ) Séptico( )		
Sólidos flotantes	Presente ( )	Ausente ( <b>X</b> )	
Espuma	Ausente ( )	Poca ( <b>X</b> )	Exceso ( )
Grasa en flotación	Ausente ( <b>X</b> )	Poca ( )	Exceso ( )
Capa de lodo en la superficie del equipo	Ausente ( <b>X</b> )	Presente ( )	
<b><u>EQUIPO: Tanque dosificador de solución hipoclorito de calcio</u></b>			
Estado físico	Bien ( )	Regular ( <b>X</b> )	Malo ( )
Agua residual	Presente ( <b>X</b> )	Ausente ( )	
<b>Características del agua residual en este equipo:</b>			
Color	Cristalino( <b>X</b> ) Marrón claro( ) Marrón obs.( ) Negro( )		
Olor	Ninguno( <b>X</b> ) Moho( ) Ligeramente séptico( ) Séptico( )		
Sólidos flotantes	Presente ( )	Ausente ( <b>X</b> )	
Espuma	Ausente ( <b>X</b> )	Poca ( )	Exceso ( )
Grasa en flotación	Ausente ( <b>X</b> )	Poca ( )	Exceso ( )
Capa de lodo en la superficie del equipo	Ausente ( <b>X</b> )	Presente ( )	

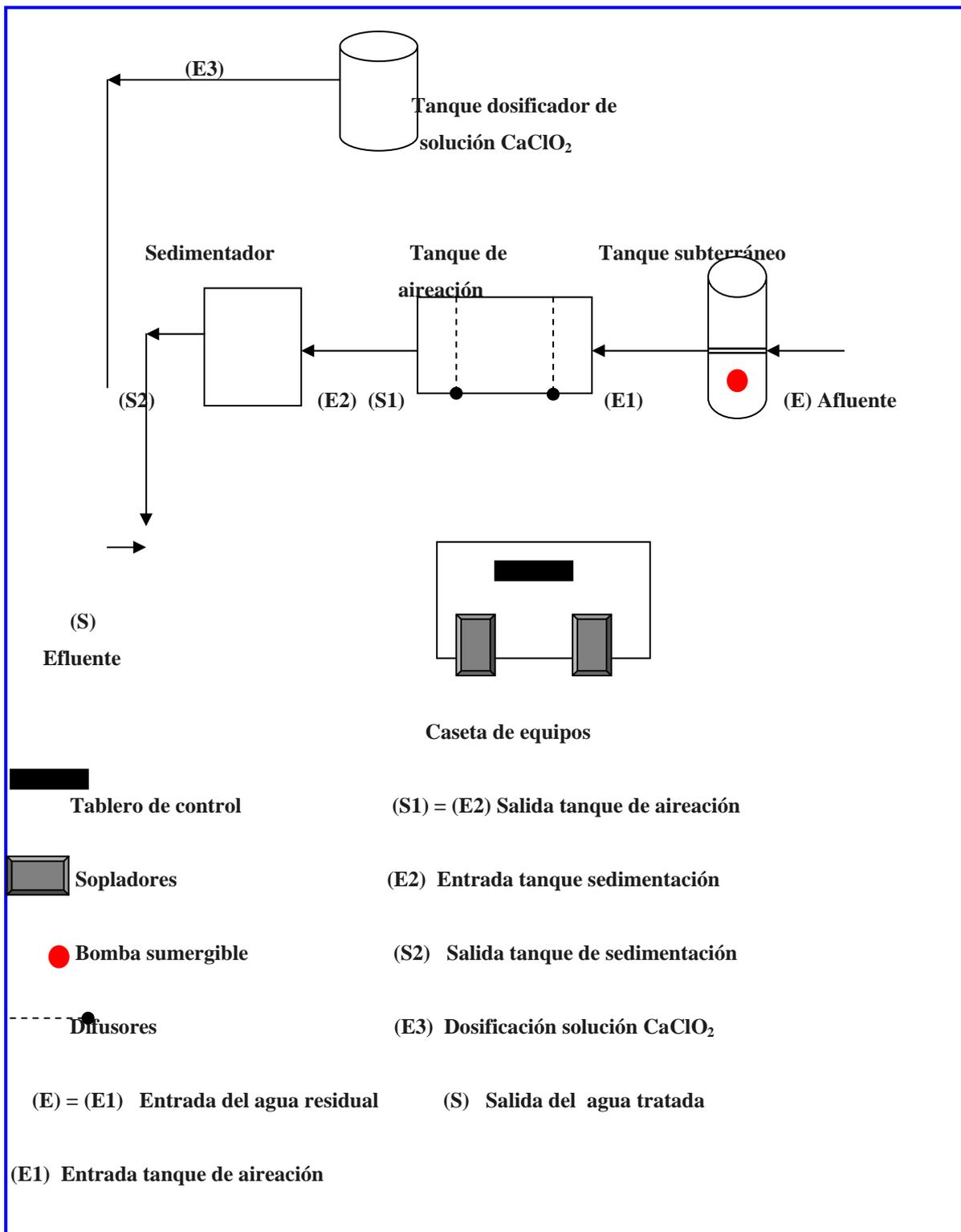
Estas variables de proceso obtenidas son mostradas en los anexos de este trabajo, encontrándose distribuidas de la siguiente forma: anexo B caracterización del agua residual, anexo C representación gráfica de los caudales de las plantas de tratamiento evaluadas y anexo D parámetros medidos *in situ* de las plantas de tratamiento, contentivas de la representación gráfica del comportamiento del pH, temperatura y oxígeno disuelto.

Es importante mencionar que la planta de tratamiento C.C Sigo La Proveduría por ser de tipo compacta, no es posible determinar las variables mencionadas anteriormente para cada una de las unidades que conforman el proceso de tratamiento.

En las figuras 3.1 y 3.2 se muestran los nudos fijados en las unidades de proceso de las plantas de tratamiento evaluadas, utilizando diagramas de flujo.



**Figura 3.1** Identificación de los nudos del proceso de la planta de tratamiento de C.C.  
Sigo La Proveeduría.



**Figura 3.2** Identificación de los nudos del proceso de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.

### **3.1.2 Determinación de los parámetros de diseño**

Con base en las variables de proceso obtenidas *in situ* a través del monitoreo realizado a las plantas de tratamiento se determinaran los parámetros de diseño (sección 3.5.1 del presente capítulo), esto permitirá establecer una comparación entre lo teórico y lo práctico, es decir chequear si ambas plantas operan actualmente, bajo las condiciones a las cuales fueron diseñadas.

## **3.2 Caracterización fisicoquímico y bacteriológica del agua residual**

En esta sección se describen los procedimientos y métodos de análisis utilizados para la caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua residual.

### **3.2.1 Muestreo**

La técnica de captación de muestra empleada fue un muestreo de tipo compuesto. En esta técnica se captan submuestras instantáneas durante un periodo de tiempo regular, para representar las características promedio del agua residual.

Para las dos plantas de tratamiento en estudio se realizaron muestreos a la entrada y salida de los sistemas de tratamiento de manera global, mientras que en la planta Tapas Corona S.A. se realizó en cada una de las unidades de tratamiento que conforman la planta.

### **3.2.2 Puntos de muestreo**

Para ser posible la determinación de la eficiencia de las plantas de tratamiento, el muestreo se realizó en los nudos definidos en la sección 3.1.1 parte D. Los cuales se aprecian en las figuras 3.3; 3.4; 3.5; 3,6 y 3.7



**Figura 3.3** Punto de muestreo a la entrada del tanque de aireación de la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.



**Figura 3.4** Punto de muestreo a la entrada del tanque de sedimentación de la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.



**Figura 3.5** Punto de muestreo a la salida de de la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.



**Figura 3.6** Punto de muestreo a la entrada de Planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría



**Figura 3.7** Punto de muestreo a la salida de Planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría

### 3.2.3 Captación, preservación y manejo de las muestras

Se estableció un programa de muestreo, el cual tiene como objetivo determinar los caudales del agua residual, sus variaciones y las características fisicoquímicas del líquido residual. El programa de muestreo se desarrolló mediante la captación de muestras interdiarias durante una semana (lunes, miércoles y viernes), en un horario de 8:00am a 3:00pm a la entrada y salida de los sistemas de tratamiento de las plantas.

En el caso de la planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría debido a la actividad económica, los muestreos se programaron en días que coincidieran con pagos de quincenas: 27, 29 y 31 de Octubre, para así obtener caudales máximos significativos en el sistema de tratamiento.

Empleando el método de llenado de recipientes, se fijo un tiempo de intervalos de media hora para recolectar volúmenes de muestras de 400mL utilizando un cilindro graduado, combinando las muestras instantáneas para un volumen total de 6000mL anotando el tiempo de llenado.

En las tablas 3.3 y 3.4 se aprecian las mediciones de volumen y tiempo de llenado a la entrada y salida de ambas plantas de tratamiento. Datos necesarios para la posterior determinación del caudal actual de las plantas.

**Tabla 3.3** Volúmenes recolectados en la Planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE C.C. SIGO LA PROVEEDURÍA (ENTRADA)</b>				
		<b>(27-10-08)</b>	<b>(29-10-08)</b>	<b>(31-10-08)</b>
<b>HORA</b>	<b>VOLUMEN (ml)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>
08:00 AM	400	13,11	2,22	1,35
08:30 AM	400	17,47	14,23	0,96
09:00 AM	400	22,15	29,41	1,44
09:30 AM	400	13,04	20,30	4,94
10:00 AM	400	13,38	21,39	4,79
10:30 AM	400	4,00	1,15	5,58
11:00 AM	400	2,28	1,16	8,33
11:30 AM	400	5,95	6,35	10,81
12:00 PM	400	15,12	1,12	0,86
12:30 PM	400	21,88	2,50	0,73
01:00 PM	400	37,39	1,01	0,72
01:30 PM	400	47,61	13,70	0,83
02:00 PM	400	1,11	15,38	0,97
02:30 PM	400	0,92	1,30	0,90
03:00 PM	400	3,18	16,60	0,85

**Tabla 3.3** Volúmenes recolectados en la Planta de tratamiento de C.C. Sigo La  
Proveeduría (continuación).

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE C.C. SIGO LA PROVEEDURIA (SALIDA)</b>				
		<b>(27-10-08)</b>	<b>(29-10-08)</b>	<b>(31-10-08)</b>
<b>HORA</b>	<b>VOLUMEN (ml)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>
08:00 AM	400	14,13	2,47	1,45
08:30 AM	400	18,41	19,43	1,57
09:00 AM	400	17,31	28,922	1,73
09:30 AM	400	15,50	23,23	9,02
10:00 AM	400	15,62	16,61	4,88
10:30 AM	400	9,81	1,19	5,41
11:00 AM	400	2,43	1,29	9,47
11:30 AM	400	7,29	6,56	12,78
12:00 PM	400	14,88	1,18	1,25
12:30 PM	400	19,10	3,56	1,26
01:00 PM	400	62,94	1,63	1,28
01:30 PM	400	35,40	21,05	0,85
02:00 PM	400	1,17	20,62	1,17
02:30 PM	400	0,99	1,48	1,04
03:00 PM	400	3,02	19,51	0,97

**Tabla 3.4** Volúmenes recolectados en la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE TAPAS CORONA S.A. (ENTRADA)</b>				
		<b>(29-09-08)</b>	<b>(01-10-08)</b>	<b>(03-10-08)</b>
<b>HORA</b>	<b>VOLUMEN (ml)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>
08:00 AM	400	3,95	4,84	5,39
08:30 AM	400	4,04	4,37	4,06
9:00 AM	400	3,40	3,48	3,56
09:30 AM	400	2,68	3,40	3,39
10:00 AM	400	3,42	4,21	3,19
10:30 AM	400	2,82	4,91	2,63
11:00 AM	400	2,45	4,98	2,61
11:30 AM	400	2,75	3,00	2,68
12:00 PM	400	3,01	3,16	2,65
12:30 PM	400	3,02	3,81	3,72
01:00 PM	400	3,63	4,10	3,95
01:30 PM	400	3,32	4,29	3,63
02:00 PM	400	3,23	4,00	1,89
02:30 PM	400	2,34	5,00	2,19
03:00 PM	400	3,28	3,90	2,44
<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE TAPAS CORONA S.A. (SALIDA)</b>				
		<b>(29-09-08)</b>	<b>(01-10-08)</b>	<b>(03-10-08)</b>
<b>HORA</b>	<b>VOLUMEN (ml)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>	<b>TIEMPO DE LLENADO (s)</b>
08:00 AM	400	3,94	6,01	5,61
08:30 AM	400	4,55	4,95	4,17
09:00 AM	400	3,42	4,27	3,50
09:30 AM	400	2,76	3,89	3,19
10:00 AM	400	3,42	4,22	3,20
10:30 AM	400	3,31	5,09	3,49
11:00 AM	400	2,67	6,87	2,97
11:30 AM	400	3,54	3,70	2,77
12:00 PM	400	3,20	4,00	3,06
12:30 PM	400	4,76	5,46	4,30
01:00 PM	400	3,67	5,43	4,39
01:30 PM	400	3,82	3,59	3,96
02:00 PM	400	3,47	5,77	2,78
02:30 PM	400	2,49	6,03	2,53
03:00 PM	400	3,48	4,55	2,99

En la jornada de muestreo se cumplieron las condicionantes establecidas en la Norma Covenin 2709:2002 mostrada en el anexo A para prevenir la degradación de la muestra. Se emplearon métodos de prevención para el análisis de aquellas propiedades que puedan verse afectadas por el deterioro de la muestra, como el recipiente para captar y preservar los patrones, el cual fue de vidrio, siendo mostrados en la figura 3.8; se utilizaron preservantes químicos, con la finalidad de conservar las muestras para el análisis de algunos parámetros: para la demanda química de oxígeno, aceites grasas y fenoles se utilizó ácido sulfúrico. Finalmente las muestras, se colocaron bajo refrigeración en cavas con hielo, para su preservación y traslado.



**Figura 3.8** Recipientes empleados para la captación de muestras

### 3.2.4 Técnicas de análisis

Una vez captadas las muestras, se trasladaron siguiendo el protocolo de rigor al Laboratorio Ambiental de Aguas y Suelos del Ministerio del Poder Popular del Ambiente, Estatal Ambiental Anzoátegui.

Seguidamente tomando en cuenta los métodos establecidos en el Standard Methods [16] se realizaron los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos: coliformes fecales y totales, cloruro, detergentes, fenoles, sólidos disueltos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), aceites y grasas e hidrocarburos, fósforo, hierro, nitrógeno total, aluminio, sólidos totales, sólidos suspendidos totales.

En las tablas 4.4 y 4.5 se encuentran los resultados promedios obtenidos de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica a la entrada y salida de ambas plantas de tratamiento y son comparados con las especificaciones de la normativa ambiental establecida en el decreto 883 [13], normas para la clasificación y control de calidad de los cuerpos de agua residual y vertidos o efluentes líquidos, para verificar el cumplimiento de la misma en estas plantas de tratamiento evaluadas, de igual manera como se mencionó en la sección 3.1.1 apartado D de este capítulo, en el anexo B se aprecian los resultados diarios de las caracterizaciones fisicoquímicas realizadas al agua residual de las plantas evaluadas.

### **3.3 Determinación de la eficiencia en las plantas de tratamiento**

Los sistemas de tratamientos empleados por las plantas de tratamiento evaluadas como ya se ha mencionado anteriormente son sistemas biológicos, persiguiendo como objetivo la remoción de materia orgánica, en términos de  $DBO_{5,20}$  de las aguas residuales, por tal motivo se determinó la eficiencia global en ambas plantas en función de este parámetro, utilizando la ecuación descrita en la sección 2.7 del capítulo II, siendo desarrollada en la sección 3.5.4 apartados A y B de la muestra de cálculo del presente capítulo.

Para estos cálculos se utilizaron los valores de la caracterización de los efluentes contenidos en las tablas 4.4 y 4.5.

### **3.4 Propuestas de mejoras a las plantas de tratamiento evaluadas**

Con el objetivo de contribuir con el aumento de la eficiencia en las plantas evaluadas y en base a los resultados de los análisis de las caracterizaciones de las aguas residuales (tablas 4.4 y 4.5), conjuntamente con la determinación de los parámetros operacionales de ambas plantas de tratamiento (cálculos presentados en la sección 3.5.1 del presente capítulo), permitirá diagnosticar la operatividad del sistema de tratamiento utilizados, por lo cual se plantean las siguientes mejoras en los sistemas de tratamientos de las plantas:

Tapas Corona S.A y C.C. Sigo La Proveeduría, permitiendo optimizar el proceso de tratamiento de las aguas residuales generadas por estas empresas, mejorando así las características de los efluentes cooperando con el mejoramiento ambiental del cuerpo de agua receptor, en este caso el río Neverí.

En la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría se plantea realizar mejoras en el sistema de separación de sólidos, debido a la presencia de sólidos flotantes en todas las unidades que conforman el sistema de tratamiento de esta planta, por lo cual se sugiere el uso de rejillas adicionales a las ya existentes en el tanque de pretratamiento de esta planta.

La planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. realiza su proceso de desinfección del fluente suministrando directamente una solución de  $\text{CaClO}_2$  en la tubería que transporta el agua tratada a la salida de la planta, motivado a lo antes expuesto se propone la incorporación de un tanque de contacto en el proceso de desinfección de las aguas residuales generadas por esta empresa.

Por no contar ambas plantas con una concentración adecuada de cloro residual, se determinará la cantidad de  $\text{CaClO}_2$  acorde con la cantidad de solución a preparar de  $\text{CaClO}_2$  a suministrar en las plantas evaluadas.

### **3.5 Muestra de cálculo**

En el siguiente apartado se describe la metodología utilizada para la determinación de los parámetros operacionales de las plantas de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría y Tapas Corona S.A. siendo comparados contra los parámetros de diseño y sugeridos por bibliografías, permitiendo determinar la operatividad de las plantas evaluadas.

### 3.5.1 Determinación de los parámetros operacionales. Tanque de aireación

#### A. Carga (caudal) de diseño (Q)

El análisis de la carga de diseño de las plantas de tratamiento, es un factor muy importantes, ya que de él depende todos los parámetros a considerar en el diseño de sus unidades, por lo cual se realizará una estimación teórica del caudal promedio de ambas plantas de tratamiento, según datos suministrados por Cristes y Tchobanglous [9] en donde se registran en tablas, caudales habituales de agua residuales de diferentes actividades.

Para la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría se tomo en consideración el aporte de: 155 empleados, 12 baños y 2 lavaderos.

Según [9] el aporte habitual para grandes almacenes es: baños (1900,00 L/d por unidad), empleado (38 L/d por unidad) y lavaderos (19 L/d por unidad), entonces realizando los cálculos se tiene:

$$\text{Baños: } 1900,00 \text{ L/ baños d} \times 12 \text{ baños} = 22.800, 00 \text{ L/d}$$

$$\text{Empleado: } 38 \text{ L/ empleados d} \times 155 \text{ empleados} = 5.890,00 \text{ L/d}$$

$$\text{Lavadero: } 19 \text{ L/ unidad d} \times 2 \text{ unidades} = 38 \text{ L/d}$$

$$\text{Total: } \boxed{28.728,00 \text{ L/d}}$$

Entonces el caudal promedio estimado para la planta de C.C. Sigo La Proveeduría es de 28.728,00 L/d. Este resultado es reportado en la tabla 4.3

En cuanto a la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. se considera el aporte de 274 empleados.

Según [9] el aporte habitual de agua sanitaria residual para edificio administrativo industrial por empleado es: 49 L/d. La corriente proveniente de las actividades industriales no es posible estimar ya que no se registra en las bibliografías consultadas el caudal habitual para este tipo de industria.

Realizando cálculos se tiene:

Edificio administrativo industrial: 49 L/ empleado d × 274 empleados

Total: 13.426,00 L/d

Por lo cual el caudal promedio estimado para la planta de Tapas Corona S.A. es de 13.426,00 L/d. Este resultado es reportado en la tabla 4.3

Ahora utilizando los datos de las tablas 3.3 y 3.4 y la ecuación 2.4 se obtiene el caudal a la entrada y salida de las plantas de tratamiento evaluadas, para cada uno de los días en los intervalos de tiempo cuando se captaron las muestras.

Tomando de la tabla 3.3 para la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría a la entrada de la planta el día 27/10/2008 a las 8:00 AM un volumen de 400 mL y 13,11 s se tiene:

$$Q = \frac{400\text{mL} \times 1\text{L}/1000\text{mL}}{13,11\text{s} \times 1\text{h}/3600\text{s}} = 109,84 \text{ L/h}$$

Igual procedimiento se realiza para la salida de la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría y para la entrada y salida de la planta de Tapas Corona S.A. Estos resultados son reportados en las tablas 4.1 y 4.2.

En el diseño y operación de unidades de proceso para el tratamiento de aguas residuales Cristes y Tchobanoglous [9] sugieren utilizar el promedio de los caudales máximos presentados en el registro examinado. Por lo tanto para la determinación de la carga de diseño actual de las plantas de tratamiento evaluadas, se sigue la siguiente

metodología: utilizando los caudales de entrada máximos registrados en las plantas (figuras C.1 y C.3) se realiza un promedio diario de los caudales máximos registrados, posteriormente con estos resultados se calcula un nuevo promedio, designando este valor como la carga de diseño actual de las plantas.

Entonces para la planta de C.C. Sigo La Proveeduría el promedio diario de los caudales máximos registrados en la figura C.1 son:

$$Q_{m\acute{a}x}_{(27-10-08)} = \frac{(631,58 + 1.565,22) L/h}{2} = 1.098,4 L/h$$

$$Q_{m\acute{a}x}_{(29-10-08)} = \frac{(1.252,17 + 1.285,71 + 1.425,74 + 1.107,69) L/h}{4} = 1.267,83 L/h$$

$$Q_{m\acute{a}x}_{(31-10-08)} = \frac{(1.500,00 + 2.000,00 + 1.694,12) L/h}{3} = 1.731,37 L/h$$

$$Carga\ de\ dise\~{n}o\ actual = \frac{(1.098,4 + 1.267,83 + 1.731,37) L/h}{3}$$

$$\boxed{Carga\ de\ dise\~{n}o\ actual = 1.365,87 L/h}$$

Igual procedimiento se realiza para la determinación de la carga de diseño actual de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. y ambos resultados son reportados en la tabla 4.3.

## **B. Carga orgánica (B)**

Se verificó la carga orgánica a la que están trabajando las plantas de tratamiento evaluadas, para lo cual se utilizó la ecuación 2.9.

Tomando de la tabla 4.5 para la entrada de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. un valor de  $DBO_{5,20}$  igual a 13,33 mg/L y de la tabla 4.3 una carga de diseño igual a 535,78 L/h, se sustituye en la ecuación 3.1 obteniendo:

$$B = 13,33 \text{ mg/L} \times 1 \text{ kg} / 10^6 \text{ mg} \times 535,78 \text{ L/h} \times 24 \text{ h/1 d}$$

$$\boxed{B = 0,17 \text{ kg de } DBO_{5,20}/d}$$

De igual manera se obtiene la carga orgánica para la planta de C.C. Sigo La Proveeduría utilizando los datos pertinentes. Estos resultados son reportados en la tabla 4.3.

### C. Sólidos Suspendidos (S) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SR)

Usando la ecuación 2.10 para la determinación de (S), se tiene que el valor de las constantes a y b pueden ser tomados como 0,50 a 0,60 y 0,04 y 0,05 respectivamente.

La eficiencia del sistema puede ser estimada cuantitativamente por ensayos de laboratorio [5], por lo antes expuesto la eficiencia a utilizar en esta ecuación será el resultado obtenido en la sección 3.5.2 de este apartado. Para la determinación de (SR) se utilizará la ecuación 2.11.

Tomando los valores de las constantes a y b igual a 0,5 y 0,04 respectivamente, se tiene para la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.,  $B = 0,17 \text{ Kg de } DBO/d$ ,  $E = 35,48\%$ , mientras que C.C. Sigo La Proveeduría  $B = 7,22 \text{ Kg de } DBO/d$ ,  $E = 16,75\%$  y sustituyendo en la ecuación 2.10:

$$S_{SIGO} = \frac{0,5 \times 7,24 \text{ kg de } DBO / d \times 0,1675}{0,04}$$

$$\boxed{S_{SIGO} = 15,16 \text{ kg}}$$

$$S_{TAPAS CORONA} = \frac{0,5 \times 0,17 \text{ kg de DBO} / d \times 0,3548}{0,04}$$

$$\boxed{S_{TAPAS CORONA} = 0,75 \text{ kg}}$$

Ahora sustituyendo en la ecuación 2.11:

$$SR_{SIGO} = 0,8 \times 15,16 \text{ kg}$$

$$\boxed{SR_{SIGO} = 12,13 \text{ kg}}$$

$$SR_{TAPAS CORONA} = 0,8 \times 0,75 \text{ kg}$$

$$\boxed{SR_{TAPAS CORONA} = 0,60 \text{ kg}}$$

Estos resultados son reportados en la tabla 4.3.

#### D. Factor de carga (K)

Sustituyendo en la ecuación 2.12 para la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. se tiene B= 0,17 kg de DBO/d y SR= 0,60:

$$K = \frac{0,17 \text{ kg de DBO} / d}{0,60}$$

$$\boxed{K = 0,28 \text{ día}^{-1}}$$

De igual manera se obtiene el factor de carga de la planta de C.C. Sigo La Proveduría utilizando los datos pertinentes. Estos resultados son reportados en la tabla 4.3.

#### E. Volumen del tanque de aireación (V)

Este cálculo sólo aplica para la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A., debido a que no posee las especificaciones técnicas de diseño. Usando la ecuación 2.13 y sustituyendo:  $Q = 535,78 \text{ L/h}$ ,  $S_o = 13,33 \text{ mg/L}$ ,  $X = 105,32 \text{ mg/L}$  (tabla 4.5) y  $K = 0,28 \text{ día}^{-1}$ :

$$V = \frac{535,78 \text{ L/H} \times 24 \text{ h/d} \times 13,33 \text{ mg/L}}{105,32 \text{ mg/L} \times 0,28 \text{ día}^{-1}}$$

$$\boxed{V = 5.812,45 \text{ L}}$$

Este resultado es reportado en la tabla 4.3.

#### **F. Tiempo de retención ( $t_R$ ). Tanque aireación**

Usando la ecuación 2.5 y sustituyendo para la planta de C.C. Sigo La Proveeduría un volumen en el tanque de aireación igual a  $30.000 \text{ L}$  y  $Q = 1.365,87 \text{ L/h}$  se tiene:

$$t_R = \frac{30.000 \text{ L}}{1.365,87 \text{ L/h}}$$

$$\boxed{t_R = 21,96 \text{ h}}$$

Igual procedimiento se realiza para la determinación del tiempo de retención en la laguna de aireación de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. y son reportados conjuntamente los resultados en la tabla 4.3.

#### **G. Cantidad de sólidos suspendidos en el aireador ( $C_{sa}$ )**

Aplicando la ecuación 2.14 y para la planta de C.C. Sigo La Proveeduría sustituyendo  $DBO_{5,20} = 220,97 \text{ mg/L}$ ,  $t_R = 0,92 \text{ d}$  y  $K = 0,60 \text{ día}^{-1}$  se tiene:

$$C_{sa} = \frac{220,97 \text{ mg/L}}{0,92 \text{ d} \times 0,80 \times 0,60 \text{ día}^{-1}}$$

$$\boxed{C_{sa} = 500,38 \text{ mg/L}}$$

De igual manera se obtiene la cantidad de sólidos suspendidos en el aireador para la planta de Tapas Corona S.A. utilizando los datos pertinentes. Estos resultados son reportados en la tabla 4.3.

#### H. Concentración de sólidos de recirculación ( $C_{sr}$ )

En las especificaciones técnicas de diseño [7] para la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría, considera una recirculación de 100% del caudal existente. Sustituyendo en la ecuación 2.15 los valores de  $Q = R = 1.365,87 \text{ L/h}$ ,  $C_{sa} = 500,38 \text{ mg/L}$  se tiene:

$$C_{sr} = \frac{500,38 \text{ mg/L} \times (1.365,87 \text{ L/h} + 1.365,87 \text{ L/h})}{1.365,87 \text{ L/h}}$$

$$\boxed{C_{sr} = 1.000,76 \text{ mg/L}}$$

Este resultado es reportado en la tabla 4.3. Cabe mencionar que este cálculo no aplica en la planta de Tapas Corona S.A. debido a no poseer recirculación en su tratamiento.

#### I. Requerimientos de oxígeno ( $RO_2$ )

Usando la ecuación 2.16 y sustituyendo para la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. los valores de las constantes  $a'$  y  $b'$  0,35 y 0,01 respectivamente,  $C_{sa} = 152,59 \text{ mg/L}$ ,  $E = 35,48\%$ ,  $V = 5010,78 \text{ L}$  y  $B = 0,17 \text{ kg/d}$  se tiene:

$$RO_2 = [0,35 \times 0,17 \text{ kg/d} \times 0,35] + [0,01 \times 5010,78 \text{ L} \times 152,59 \text{ mg/L} \times 1 \text{ kg}/10^{-6} \times 0,8]$$

$$\boxed{RO_2 = 19,16 \text{ L } O_2/\text{d}}$$

De igual manera se obtiene el requerimiento de oxígeno necesario para la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría, utilizando los datos adecuados. Ambos resultados son reportados en la tabla 4.3.

#### **J. Flujo requerido de aire ( $V'$ aire)**

Sustituyendo en la ecuación 2.17 el valor de  $RO_2$  para la planta de C.C. Sigo La Proveeduría se obtiene:

$$V'_{\text{aire}} = \frac{380,28 \text{ L } O_2 / \text{d}}{0,21 \text{ L } O_2 / \text{L aire} \times 0,05}$$

$$\boxed{V'_{\text{aire}} = 36.217,14 \text{ L aire/d}}$$

### **3.5.2 Determinación de los parámetros operacionales. Tanque de sedimentación**

#### **A. Volumen del tanque**

Este cálculo solo aplica para la planta de tratamiento Tapas Corona S.A., debido a que no posee las especificaciones técnicas de diseño. Para la determinación del volumen el

tanque de sedimentación se utilizara la ecuación 2.3 y sustituyendo  $A = 2,70$  m,  $B = 1,00$  m y  $H = 1,50$  m se tiene:

$$\text{Volumen tanque sedimentación} = 2,70 \text{ m} \times 1,00 \text{ m} \times 1,50 \text{ m}$$

$$\boxed{\text{Volumen tanque sedimentación} = 3,65 \text{ m}^3 = 3.650,00 \text{ L}}$$

### B. Tiempo de retención ( $t_R$ )

Sustituyendo para la planta de C.C. Sigo La Proveduría los datos respectivos en la ecuación 2.5 se obtiene el tiempo de retención para el tanque de sedimentación:

$$t_R = \frac{6,4 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ L} / 1 \text{ m}^3}{1.365,87 \text{ L} / \text{h}}$$

$$\boxed{t_R = 4,69 \text{ h} = 0,19 \text{ d}}$$

Igual procedimiento se realiza para la determinación del tiempo de retención en el tanque de sedimentación de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. y ambos resultados son reportados en la tabla 4.3.

### C. Tasa de carga superficial

Utilizando la expresión 2.6. Sustituyendo para la planta de C.C. Sigo La Proveduría se tiene: El área superficial para un tanque circular es igual a:  $4\pi \times r^2$  sustituyendo  $r = 1,17$ m

$$CS = \frac{1365,87 \text{ L} / \text{h}}{4 \pi \times (1,17 \text{ m})^2}$$

$$\boxed{CS = 79,41 \text{ L} / \text{m}^2 \text{ h}}$$

Igual procedimiento se realiza para la planta de Tapas Corona S.A. considerando el área superficial para una superficie rectangular y ambos resultados se reportan en la tabla 4.3

#### D. Cargas de sólidos (SLR)

Utilizando la expresión 2.8 y sustituyendo  $X= 126,86 \text{ mg/L}$ ,  $Q= 535,78 \text{ L/h}$  para la planta de Tapas Corona S.A., considerando que esta unidad es de forma rectangular, por lo cual el área superficial está definida por el producto del largo por el ancho, entonces se tiene:

$$SLR = \frac{126,86 \text{ mg / L} \times 535,78 \text{ L / h}}{1,0\text{m} \times 2,70\text{m} \times 10^6}$$

$$\boxed{SLR = 0,025 \text{ kg/m}^2\text{h}}$$

De igual manera se determina la carga de sólidos para planta de C.C. Sigo La Proveeduría y se reportan los resultados en la tabla 4.3.

#### E. Carga sobre el vertedero (Cv)

Sustituyendo en la ecuación 2.7 para la planta de Tapas Corona S.A.  $L_v = 0,30 \text{ m}$ ,  $Q = 535,78 \text{ L/h}$ :

$$C_v = \frac{535,78 \text{ L / h} \times 1\text{m}^3 / 1000\text{L}}{0,30\text{m}}$$

$$\boxed{C_v = 42,96 \text{ m}^2/\text{h}}$$

Los resultados de este parámetro de ambas plantas son reportados en tabla 4.3.

### 3.5.3 Determinación de los parámetros operacionales. Tanque de desinfección

#### A. Tiempo de retención ( $t_R$ )

Este cálculo no aplica para la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A., debido a que no posee unidad para la desinfección del efluente, ya que tal tratamiento es efectuado directamente en la tubería por donde el efluente es descargado al medio ambiente.

Mientras que la planta de C.C. Sigo La Proveeduría si cuenta con una unidad para el tratamiento de desinfección del efluente, por lo cual sustituyendo en la ecuación 2.5,  $V = 0,63 \text{ m}^3$  y  $Q = 1.365,87 \text{ L/h}$  se tiene:

$$t_R = \frac{0,63 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ L} / 1 \text{ m}^3}{1.365,87 \text{ L/h}}$$

$$t_R = 0,46 \text{ h} = 0,019 \text{ d}$$

#### B. Cantidad de cloro actual suministrado al sistema

La cantidad de cloro actual es posible determinarla utilizando la ecuación 2.18. El caudal a utilizar es el aplicado de la solución de  $\text{CaClO}_2$  al agua residual contentiva en el sistema. El caudal de la solución de  $\text{CaClO}_2$  para la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. es 506 ml/min., mientras que la planta de C.C. Sigo La Proveeduría es igual 46 ml/min., tomando de las tablas 4.4 y 4.5 el cloro residual a la salida de las plantas se tiene:

$$\text{Tapas Corona S.A.: } C_f = 0,70 \text{ mg/L} \quad Q_{\text{solución CaClO}_2} = 506 \text{ ml/min.}$$

$$Q_{\text{solución CaClO}_2} = 506 \text{ ml/min} \times 1440 \text{ min/d} \times 1 \text{ L/1000ml}$$

Entonces el caudal de la solución de  $\text{CaClO}_2$  expresado en L/d es:

$$Q_{\text{solución CaClO}_2} = 728,64 \text{ L/d}$$

Aplicando ecuación 2.18 se obtiene la cantidad de  $\text{CaClO}_2$  contenida en 728,64 L/d:

$$\text{g Cl}_2/\text{d} = 0,70 \text{ mg/L} \times 728,64 \text{ L/d}$$

$$\boxed{\text{g Cl}_2/\text{d} = 510,05 \text{ mg/d} = 0,51 \text{ g/d contenidos en } 728,64 \text{ L/d}}$$

Ahora para obtener el peso de  $\text{g Cl}_2/\text{d}$  contenidos en el tanque de 2.000,00 L de capacidad se tiene:

$$\text{g Cl}_2/\text{d} = \frac{0,51 \text{ g/d}}{728,64 \text{ L/d}} \times 2.000,00 \text{ L}$$

$$\boxed{\text{g Cl}_2/\text{d} = 1,40 \text{ g}}$$

Realizando igual procedimiento para la Planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría:

$$Cf = 0,40 \text{ mg/L} \quad Q_{\text{solución CaClO}_2} = 46 \text{ ml/min.}$$

$$Q_{\text{solución CaClO}_2} = 46 \text{ ml/min} \times 1440 \text{ min/d} \times 1 \text{ L/1000ml}$$

$$Q_{\text{solución CaClO}_2} = 66,24 \text{ L/d}$$

$$\text{g Cl}_2/\text{d} = 0,40 \text{ mg/L} \times 66,24 \text{ L/d}$$

$$\boxed{\text{g Cl}_2/\text{d} = 26,50 \text{ mg/d} = 0,026 \text{ g/d contenidos en } 66,24 \text{ L/d}}$$

Ahora para obtener el peso de g Cl<sub>2</sub>/d contenidos en el tanque de 160 L de capacidad se tiene:

$$g \text{ Cl}_2/d = \frac{0,026 \text{ g/d} \times 160 \text{ L}}{66,24 \text{ L/d}}$$

$$\boxed{g \text{ Cl}_2/d = 0,063 \text{ g contenidos en 160 L de solución}}$$

### 3.5.4 Cálculo de las eficiencias

#### A. Eficiencia global de los sistemas de tratamiento

Sustituyendo en la ecuación 2.20 los datos respectivos tomados de la tabla 4.4 para la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría se tiene:

$$Eficiencia \text{ global }_{SIGO} = \frac{220,97 \text{ mg / L} - 183,96 \text{ mg / L}}{220,97 \text{ mg / L}}$$

$$\boxed{Eficiencia \text{ global }_{SIGO} = 16,75 \%}$$

Igual procedimiento se efectuó para la planta de Tapas Corona S.A. tomando los resultados del parámetro DBO<sub>5,20</sub> de la tabla 4.5. Ambos resultados se reportan en la tabla 4.6.

#### B. Eficiencia en los equipos de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.

Adicionalmente se determinó la eficiencia en las unidades de tratamiento de esta planta, tomando los resultados del parámetro DBO<sub>5,20</sub> de la tabla 4.5 y sustituyendo en la ecuación 2.20 se tiene:

$$\text{Eficiencia tanque aireación}_{TAPAS CORONA} = \frac{13,33 \text{ mg/L} - 10,90 \text{ mg/L}}{13,33 \text{ mg/L}}$$

$$\boxed{\text{Eficiencia tanque aireación}_{TAPAS CORONA} = 18,21 \%}$$

$$\text{Eficiencia tanque sedimentación}_{TAPAS CORONA} = \frac{10,90 \text{ mg/L} - 9,87 \text{ mg/L}}{10,90 \text{ mg/L}}$$

$$\boxed{\text{Eficiencia tanque sedimentación}_{TAPAS CORONA} = 9,44 \%}$$

### 3.5.5 Propuestas de rediseño a la planta de tratamiento de Sigo La Proveeduría

#### A. Dimensionamiento de rejillas

Rivas [5] plantea utilizar rejillas medianas, cuando el agua residual va a ser sometido a pretratamiento antes del tratamiento secundario y según el material a remover, entonces a partir de la tabla 2.2 se plantea para la planta de C.C. Sigo la Proveeduría el uso de rejillas medianas, las cuales estarán colocadas seguidamente a las rejillas ya existentes en la tanquilla de prebombeo de esta planta.

Las pérdidas por carga producidas por el paso del agua a través de las rejillas es necesario determinarse, por lo tanto usando la ecuación 2.1 se calculara las pérdidas de carga en el caso de que las rejillas estén limpias, ya que las pérdidas de cargas aumentan en la medida en que las rejas se van saturando con los residuos retenidos.

Tomando de la tabla 2.3 una velocidad de aproximación igual 0,7 m/s, se tiene:

$$hf = 0,54 \times \frac{(0,7 \text{ m/s})^2}{(2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$\boxed{hf = 0,013 \text{ m} = 1,34 \text{ cm}}$$

Para el dimensionamiento de las rejillas se hacen las siguientes consideraciones, a partir de los datos suministrados en las tablas 2.2 y 2.3:

- El tipo de sección transversal de las barras es rectangular.
- Las rejillas a utilizar es de tipo de mediana, colocadas en paralelo.
- Tipo de limpieza a usar: manual.
- El material a utilizar en las rejillas, es el acero inoxidable.

En la tabla 4.8 se presentan las dimensiones recomendadas de las rejillas propuestas.

### C. Cantidad de $\text{CaClO}_2$ necesaria

Para poder lograr una concentración de cloro residual de 1 mg/L en un tiempo de retención de 30 minutos [7,8] es necesario calcular el peso de  $\text{CaClO}_2$  necesario para el volumen del tanque de almacenamiento de la solución  $\text{CaClO}_2$ , acorde con la mencionada concentración de cloro residual a esperar.

Usando la ecuación 2.19 se determina el peso de  $\text{CaClO}_2$  a utilizar en el tanque dosificador de la solución de  $\text{CaClO}_2$ , cuyo volumen es de 160 L. Entonces para un porcentaje de cloro activo en el producto = 70% y concentración de cloro esperada en el efluente = 1 mg/L se tiene:

$$P = \frac{160L \times 1mg / L}{0,7}$$

$$P = 228,57 \text{ mg} = 0,228 \text{ g a utilizar de } \text{CaClO}_2$$

La cantidad a utilizar de  $\text{CaClO}_2$  para preparar 160 L de solución es 0,23 g con lo cual se debe obtener un efluente de concentración de cloro residual igual a 1 mg/L.

### 3.5.6 Propuestas de rediseño a la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.

#### A. Cantidad de $\text{CaClO}_2$ necesaria

Con el objetivo de tratar de mantener una concentración de cloro residual de 1 mg/L [9] se realizan igual metodología realizada en la sección 3.5.5 apartado C.

Usando la ecuación 2.19 se determina el peso de  $\text{CaClO}_2$  a utilizar y sustituyendo  $V = 2000 \text{ L}$ , porcentaje de cloro activo en el producto = 70% y concentración de cloro esperada en el efluente = 1 mg/L se tiene:

$$P = \frac{2.000 \text{ L} \times 1 \text{ mg} / \text{L}}{0,7}$$

$$P = 2857,14 \text{ mg} = 2,85 \text{ g a utilizar de } \text{CaClO}_2$$

#### B. Tanque de contacto para proceso de desinfección

En esta unidad se debe mantener un tiempo de retención de 30 min [5], utilizando la ecuación 2.5 se despeja el volumen del tanque a necesitar para este proceso:

$$V_R = t_R \times Q$$

Entonces se tiene para un caudal en esta planta de 535,78 L/h:

$$V_R = 0,5 \text{ h} \times 535,78 \text{ L/h}$$

$$V_R = 267,89 \text{ L}$$

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Diagnostico de operatibilidad de las plantas de tratamiento C.C. Sigo la Proveeduría y Tapas Corona S.A.**

Los datos recopilados de las inspecciones realizadas a las plantas evaluadas y representados en las tablas 3.1 y 3.2, permiten determinar que: la planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría recibe dos líneas de afluentes: una de los sanitarios y la segunda de las actividades de charcutería, labores de mantenimiento tanto de aires acondicionados como de las cavas, se visualizó el recorrido de estos afluentes hasta su ingreso a la tanquilla de prebombeo de la planta, sin embargo no es notorio la transferencia de estos afluentes a las unidades de la planta, debido a su estructura física siendo de tipo compacta.

No posee un operador dedicado a la inspección periódica de las instalaciones de tratamiento; se observó en todas las unidades de la planta presencia de sólidos flotantes (heces, bolsas, trapos), el líquido residual presente en todas las unidades inclusive en la cámara de cloración es de color negro y de olor séptico; en el tanque de aireación es muy poca la turbulencia observada y en el sedimentador no se aprecia el funcionamiento del desnatador, visualizándose la presencia de espuma abarcando toda la superficie del líquido residual en esta unidad, presumiendo la existencia de hongos, bacterias y protozoarios.

En esta planta de tratamiento se pudo constatar en reiteradas oportunidades a través de las inspecciones técnicas realizadas por comisiones del MPPA: todos los equipos de la mencionada planta de tratamiento se encontraban sin funcionamiento, motivado por fallas de electricidad en la zona según lo manifestado por el personal del C.C. Sigo La Proveeduría, lo cual no permite la continuidad en el tratamiento biológico utilizado en esta planta, conllevando a la baja eficiencia del sistema; falta de mantenimiento en el área

delimitada de la planta de tratamiento observándose presencia de escombros y basura; se evidenció el uso inadecuado de los canales pluviales del centro comercial, los cuales son utilizados como drenajes de aguas residuales generadas de las actividades de limpieza de las cavas y de los aseadores del centro comercial.

Esta agua residual no es enviada a la planta de tratamiento, siendo desviada y posteriormente conectada a la tanquilla ubicada a las afueras del centro comercial, incurriendo en el incumplimiento de las normativas ambientales. Por lo cual se decide iniciar la averiguación administrativa correspondiente al caso conjuntamente con personal de las Coordinaciones de Conservación Ambiental y Guardería Ambiental.

Por lo antes expuesto es evidente la inadecuada operación en esta planta de tratamiento, permitiendo establecer la baja operatividad de la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría.

En cuanto a la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. se observó: los afluentes que ingresan a esta planta son los conformados por dos líneas: líquidos residuales domésticos del edificio administrativo y de los talleres donde se lleva a cabo la fabricación de tapas.

Estos afluentes al momento de ingresar al tanque subterráneo de pretratamiento de la planta no son posibles visualizarlos, ya que son transferidos por medio de tuberías subterráneas al mencionado tanque, desde el cual es bombeado el líquido residual al tanque de aireación continuando con su recorrido por la planta de tratamiento.

La planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. cuenta con un operador permanente; se observó en las inspecciones realizadas por personal del MPPA turbulencia en el tanque de aireación; falta de mantenimiento interno en el sedimentador debido a la presencia de limo en su estructura; en cuanto al estado físico de las unidades es notorio la falta de mantenimiento a las estructuras de las unidades de aireación y sedimentación presentando grietas, lo cual puede llevar a la filtración del efluente por sus paredes, en las tuberías

también se observaron grietas en algunas de ellas; ausencia de sólidos flotantes en las unidades; buen mantenimiento en el área de la planta. En base a lo antes expuesto se determina una regular operatividad de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.

En la tabla 4.1 se reportan los caudales diarios obtenidos en las jornadas de muestreo a la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría, el caudal máximo se presentó en el tercer día (viernes 31/10/08) a las 01:00 PM, alcanzando un valor de 2.000,00 L/h esperándose este comportamiento debido a la actividad económica de la empresa. De igual manera se registró un rango de caudales máximos entre las horas 12:00 PM a 2:30 PM. El caudal mínimo registrado se presentó el lunes 27/10/08 con un valor de 30,25 L/h. Examinando los caudales registrados en los tres días de las jornadas de muestreo a la entrada y salida de la planta, es notoria la diferencia en sus valores, siendo este comportamiento inusual, ya que el mismo caudal que entra a la planta debe ser el mismo o similar a la salida, lo cual hace suponer la existencia de by-pass que desvía el caudal a la entrada del reactor biológico, valiéndose de la estructura física de la planta, conllevando a la disminución apreciable del caudal a la salida.

En la tabla 4.2 se aprecian los caudales registrados de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A., observándose el máximo caudal registrado el día 03/10/08 a las 2:00 PM con un valor de 761,90 L/h. Se puede apreciar caudales máximos en las últimas horas tanto de la mañana de 11:00 AM a 12:00 PM como en la tarde de 01:30 PM a 2:30 PM, estas variaciones se correlacionan con las actividades propias de los empleados. El caudal de esta planta se mantiene relativamente constante, ya que las fluctuaciones en las jornadas de muestreo son ligeras. Estudiando el comportamiento del caudal a la entrada y salida se aprecia una ligera disminución en casi todas las horas del monitoreo, esto puede deberse a las múltiples filtraciones que posee la planta en sus estructuras y tuberías.

En las gráficas del anexo C se pueden visualizar el comportamiento diario presentado en las jornadas de monitoreo de los caudales diarios a la entrada y salida de las plantas de tratamientos evaluadas.

**Tabla 4.1** Caudales diarios a la entrada y salida de la Planta de tratamiento de C.C. Sigo  
La Proveduría

PLANTA DE TRATAMIENTO DE C.C. SIGO LA PROVEEDURIA						
HORA	CAUDAL (L/h) ENTRADA			CAUDAL (L/h) SALIDA		
	(27-10-08)	(29-10-08)	(31-10-08)	(27-10-08)	(29-10-08)	(31-10-08)
08:00 AM	109,84	648,65	1066,67	101,91	582,99	993,10
08:30 AM	82,43	101,19	1500,00	78,22	74,11	917,20
09:00 AM	65,01	48,96	1000,00	83,19	49,79	832,37
09:30 AM	110,43	70,94	291,50	92,90	61,99	159,64
10:00 AM	107,62	67,32	300,63	92,19	86,69	295,08
10:30 AM	360,00	1252,17	258,06	146,79	1210,08	266,17
11:00 AM	631,58	1241,38	172,87	592,59	1116,28	152,06
11:30 AM	242,02	226,77	133,21	197,53	219,51	112,68
12:00 PM	95,24	1285,71	1674,42	96,77	1220,34	1152,00
12:30 PM	65,81	576,00	1972,60	75,39	404,49	1142,86
01:00 PM	38,51	1425,74	2000,00	22,88	883,44	1125,00
01:30 PM	30,25	105,11	1734,94	40,68	68,41	1694,12
02:00 PM	1297,30	93,63	1484,54	1230,77	69,84	1230,77
02:30 PM	1565,22	1107,69	1600,00	1454,55	972,97	1384,62
03:00 PM	452,83	86,75	1694,12	476,82	73,81	1484,54
<b>PROMEDIO</b>	<b>350,27</b>	<b>555,87</b>	<b>1125,57</b>	<b>318,88</b>	<b>472,98</b>	<b>862,81</b>

**Tabla 4.2** Caudales diarios a la entrada y salida de la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.

PLANTA DE TRATAMIENTO DETAPAS CORONA S.A.						
HORA	CAUDAL (L/h) ENTRADA			CAUDAL (L/h) SALIDA		
	(29-09-08)	(01-10-080)	(03-10-08)	(29-09-08)	(01-10-08)	(03-10-08)
08:00 AM	364,56	297,52	267,16	365,48	239,60	256,68
08:30 AM	356,44	329,52	354,68	316,48	290,91	345,32
09:00 AM	423,53	413,79	404,49	421,05	337,24	411,43
09:30 AM	537,31	423,53	424,78	521,74	370,18	451,41
10:00 AM	421,05	342,04	451,41	421,05	341,23	450,00
10:30 AM	510,64	293,28	547,53	435,04	282,91	412,61
11:00 AM	587,76	289,16	551,72	539,33	209,61	484,85
11:30 AM	523,64	480,00	537,31	406,78	389,19	519,86
12:00 PM	478,41	455,69	543,40	450,00	360,00	470,59
12:30 PM	476,82	377,95	387,09	302,52	263,74	334,88
01:00 PM	396,69	351,22	364,57	392,37	265,19	328,02
01:30 PM	433,74	335,66	396,69	376,96	401,11	363,64
02:00 PM	445,82	360,00	761,90	414,98	249,57	517,98
02:30 PM	615,38	288,00	657,53	578,31	238,81	569,17
03:00 PM	439,02	369,23	590,16	413,79	316,48	481,61
<b>PROMEDIO</b>	<b>467,39</b>	<b>360,44</b>	<b>482,70</b>	<b>423,73</b>	<b>303,72</b>	<b>426,49</b>

Los resultados obtenidos de los parámetros operacionales son reportados en la tabla 4.3 realizándose los siguientes comentarios: La carga de diseño cuantificada de la planta de C.C. Sigo La Proveeduría presenta un valor de 1.197,00 L/h, por otro lado la carga operacional promedio en las jornadas de muestreo registra un caudal de 677,24 L/h, mientras que el caudal máximo promedio en dicha planta es de 1.365,87 L/h al compararlo con el caudal de diseño de 1.250,00 L/h se encuentra sobre el valor de diseño esperado para esta planta, la carga orgánica operacional presenta igual comportamiento reportando un valor de 7,24 siendo el de diseño de 6.6. Estos parámetros están relacionados al momento de diseñar las plantas de tratamiento, afectando el dimensionamiento, el desempeño y la confiabilidad de las unidades de tratamiento.

El rendimiento de la planta de tratamiento es afectado, debido a que el sistema está trabajando sobre lo diseñado en base a estos parámetros, haciendo insuficiente el tratamiento biológico a efectuar en el afluente, comprendiendo así las altas concentraciones de DBO obtenidos tanto en el afluente como efluente de esta planta; en cuanto a la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. el afluente contabilizado fue nada más el caudal doméstico de esta planta obteniéndose un valor de 559,42 L/h, mientras que el caudal medido *in situ* en las jornadas de monitoreo reportan un valor de 436,84 L/h; el caudal máximo promedio manipulado en esta planta presentó un valor de 535,78 L/h, presentando similitud con el caudal contabilizado.

El caudal recomendado para procesos biológicos de aireación extendida está por el orden de 1.500,00 L/h a 700.000,00 L/h valores muy superiores a los mostrados anteriormente. En cuanto a la carga orgánica de la planta de Tapas Corona S.A. reporta un valor de 0,17 kg de DBO/agregados al sistema, encontrándose dentro de lo establecido en procesos biológicos de aireación extendida.

Los resultados reportados en la tabla 4.3 de ambas plantas de tratamiento del parámetro factor de carga permiten ubicarlas según Rivas [5], como procesos biológicos de rata intermedia, siendo su característica principal la obtención de efluentes con concentraciones bajas de  $DBO_{5, 20}$ . La planta de Tapas Corona S.A. se encuentra dentro del orden de lo sugerido para proceso de rata intermedia con un valor de  $0,28 \text{ día}^{-1}$ , cumpliendo además con su característica básica, es decir, concentraciones de  $DBO_{5, 20}$  bajas. El factor de carga de la planta de C.C. Sigo La Proveeduría presenta un valor de  $0,60 \text{ día}^{-1}$  encontrándose sobre el valor establecido en el dimensionamiento de esta instalación de  $0,109 \text{ día}^{-1}$  y además incumple en cuanto a la obtención de efluentes de concentraciones bajas de DBO. El elevado factor de carga obtenido en la planta de C.C. Sigo La Proveeduría permite también predecir un bajo rendimiento en el sistema.

La concentración de los sólidos de recirculación de la planta de C.C. Sigo La Proveeduría reportada en la tabla 4.3 con un valor 1.0076,00 mg/L se encuentra por debajo a lo establecido en las condiciones de diseño (5.580,00 mg/L), lo cual conduce a deducir la

deficiente recirculación del agua residual en el sistema, ya que la recirculación ofrece uniformidad y flexibilidad en el sistema de tratamiento.

Esto confirma las elevadas concentraciones de sólidos sedimentables y suspendidos del efluente generado por esta planta producto de las caracterizaciones físicas químicas.

Al haber una inadecuada recirculación en el sistema, no garantiza una concentración adecuada de los sólidos suspendidos en el aireador ( $C_{sa}$ ) explicando el resultado reportado en la tabla 4.3 de la planta de C.C. Sigo La Proveeduría de 500,38 mg/L apreciándose una baja concentración de  $C_{sa}$  según los valores de diseño de esta planta (2.790,00 mg/L).

Referente a los tiempos de retención ( $t_R$ ) de las unidades se observa lo siguiente: en lo que respecta al tanque de aireación, la planta de C.C. Sigo La Proveeduría muestra una ligera disminución (21,96 h) con respecto al  $t_R$  considerado en el diseño de esta unidad (24,0 h), esta disminución es otra consecuencia de operar la planta sobre lo estimado de la carga de diseño considerada, mientras que en el caso de Tapas Corona S.A. muestra un incremento en el  $t_R$  operacional (10,85 h) en comparación a los valores sugeridos en bibliografías para este tipo de unidades, siendo de 4 h a 8h, demostrando que el espacio físico del tanque de aireación de esta planta es grande para el bajo caudal que maneja el sistema. Continuando con este parámetro ahora en el tanque de sedimentación, donde el volumen de esta unidad es menor a la del tanque de aireación, se observa en los resultados reportados en la tabla 4.3 igual comportamiento para ambas plantas, en de C.C. Sigo La Proveeduría una disminución del  $t_R$  en esta unidad (4,69 h) en comparación con el estimado en el diseño (5,11 h) y en Tapas Corona S.A. presenta igual condición a la unidad anteriormente planteada es decir, un aumento en el  $t_R$  operacional (6,81 h) L a lo sugerido en bibliografías (1,0 h a 1,5 h) motivado de igual manera a lo extenso del área para el caudal manejado por la planta.

Se determinó los requerimientos de oxígeno y el flujo de aire teóricamente suministrados al tanque de aireación de ambas plantas, reportando estos valores en la tabla 4.3. La planta de C.C. Sigo La Proveeduría reporta un flujo de aire requerido teóricamente

de 36.217,14 L aire/día y para Tapas Corona S.A se obtuvo 1.824,80 L aire/día, estos valores fueron determinados según el caudal operacional de las plantas, al compararlos con los sugeridos por bibliografías son muy inferiores al requerimiento de flujo de aire a esperar en estos procesos. En la planta de C.C. Sigo La Proveeduría es notoria esta deficiencia, al observar las características del efluente en esta unidad descritas en la tabla 3.1: coloración negra, de olor séptico, poca turbulencia, entre otras. En Tapas Corona S.A. aun cuando los requerimientos del flujo de aire están por debajo de los sugeridos, esto no afecta al efluente de esta planta en cuanto a los parámetros que miden la materia orgánica, justificando esto a la baja carga orgánica que presento el agua residual a tratar en esta planta.

En cuanto al parámetro de la tasa de carga superficial se aprecia en los resultados de la tabla 4.3 para ambas plantas una baja tasa de carga superficial en los sistemas actuales de tratamiento, la planta de C.C. Sigo La Proveeduría presenta 79,41 L/m<sup>2</sup>d y Tapas Corona S.A. 198,44 L/m<sup>2</sup>d. La adecuada selección de la tasa de carga superficial, acorde con el caudal y con el área superficial considerada para las unidades de sedimentación, garantizara una eficiencia aceptable en el proceso.

Por lo cual los resultados obtenidos ponen de manifiesto la inadecuada operación de estas unidades, bien sea en el caso de C.C. Sigo La Proveeduría por el aumento del caudal y en lo que respecta a Tapas Corona S.A. fallas en el área superficial de la unidad.

La concentración de cloro residual del efluente de ambas plantas esta por debajo de lo sugerido en bibliografías, observándose en la tabla 4.3 lo siguiente: C.C. Sigo La Proveeduría con concentración de cloro residual de 0,4 mg/L y Tapas Corona S.A con concentración de 0,7 mg/L. El tiempo de retención operacional en la cámara de cloración de la planta de C.C Sigo La Proveeduría es de 0,46 h, siendo el establecido en el diseño de esta unidad de 0,50 h. Al haber una disminución de tiempo de retención disminuye la acción desinfectante, explicando la baja concentración de cloro residual en el efluente.

**Tabla 4.3** Parámetros de diseños de las Plantas de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría y Tapas Corona S.A.

PARÁMETRO	C.C. SIGO LA PROVEEDURIA		TAPAS CORONA S.A.	
	VALOR ACTUAL	VALOR DE DISEÑO	VALOR ACTUAL	SUGERIDOS EN BIBLIOGRAFIA
<b>Estimación teórica de carga de diseño (L/h)</b>	1.197,00 (caudal estimado, según tablas)	1.250,00 (caudal considerado en diseño)	559,42 (caudal estimado, según tablas)	436,84 (caudal determinado <i>in situ</i> )
<b>Carga de diseño (L/h)</b>	677,24	1.250,00	436,84	1500,00 a 700.000
<b>Carga Orgánica (kg de DBO<sub>5, 20</sub>/d)</b>	7,24	6,6	0,17	NO REPORTA
<b>Sólidos suspendidos en el aireador (kg)</b>	15,16	75,6	0,75	NO REPORTA
<b>Sólidos volátiles en el aireador (kg)</b>	12,13	60,48	0,60	NO REPORTA
<b>Factor de carga (día<sup>-1</sup>)</b>	0,60	0,109	0,28	0,2 a 1,0
<b>Volumen del tanque de aireación (L)</b>	30.000,00	30.000,00	5.010,78	DEPENDE DEL VALOR CONSIDERADO DE Csa
<b>Tiempo de retención, tanque aireación (h)</b>	21,96	24,0	10,85	18-36 y 4- 8 respectivamente

**Tabla 4.3** Parámetros de diseños de las Plantas de tratamiento de C.C. Sigo La  
Proveeduría y Tapas Corona S.A. (continuación)

<b>Cantidad de sólidos suspendidos en el aireador (mg/L)</b>	500,38	2.790,0	152,59	150 a 990
<b>Concentración de sólidos de recirculación (mg/L)</b>	1.000,76	5.580,0	NO APLICA	RELACIONANDO CON LA RELACION DE RECIRCULACIÓN ASUMIDA
<b>Requerimiento de oxígeno (L O<sub>2</sub>/d)</b>	380,28	6.809,86	19,16	NO REPORTA
<b>Flujo requerido de aire (L aire/d)</b>	36.217,14	648.558,0	1.824,80	75000,0 a 112000 y 31200,0 a 43700,0
<b>Volumen del tanque sedimentación (L)</b>	6.400,0	6.400,0	3.650,0	NO REPORTA
<b>Tiempo de retención, tanque sedimentación (h)</b>	4,69	5,11	6,81	1,0 a 1,5
<b>Cargas de sólidos (kg/m<sup>2</sup>h)</b>	0,012	NO REPORTA	0,025	0,24 y 0,28 respectivamente
<b>Tasa de carga superficial (L/m<sup>2</sup>d)</b>	79,41	NO REPORTA	198,44	20.400,00 a 24.400 y 24.400,00 a 32.600,00 respectivamente
<b>Carga sobre el vertedero (m<sup>3</sup>/m. d)</b>	81,95	1.25000,0	42,96	124,0 a 186,0 y no mayor de 248,0 respectivamente
<b>Tiempo de retención, tanque desinfección (h)</b>	0,46	0,50	NO APLICA	NO REPORTA
<b>Cantidad de cloro actual suministrada al sistema mg (g Cl<sub>2</sub>/d)</b>	0,063	NO REPORTA	1,40	NO REPORTA
<b>Concentración de cloro residual (mg/L)</b>	0,40	1,0	0,70	1,0

## 4.2 Caracterización del agua residual de las plantas de tratamiento C.C Sigo la Proveeduría y Tapas Corona S.A.

En las tablas 4.4 y 4.5 se reportan los resultados promedios de los parámetros evaluados en la caracterización del agua residual a las plantas de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría y Tapas Corona S.A. y son comparados con los límites establecidos en el Decreto 883 que controla la calidad de los cuerpos de agua. Posteriormente los parámetros que se encuentran fuera de la normativa ambiental son representados son visualizados en las figuras 4.1 a 4.5.

**Tabla 4.4** Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados a la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría.

PLANTA DE C.C. SIGO LA PROVEEDURIA				
PARAMETRO	UNIDAD	DECRETO 883	ENTRADA	SALIDA
		ART. 10		
Aceites, grasas animales y vegetales	Mg/L	20,0	0,017	0,011
Aluminio	Mg/L	5,0	0,017	ND
Cloruros	Mg/L	1000,0	82,72	41,36
Conductividad eléctrica	Mg/L	NR	804,40	786,17
Cloro residual	Mg/L	NR	-----	0,40
Coliformes fecales	NMP/100ml	NR	≥16.000	≥16.000
Coliformes totales	NMP/100ml	1000	≥16.000	≥16.000
Detergentes	Mg/L	2,0	2,40	0,61
DBO	Mg/L	60,0	220,97	183,96
DQO	Mg/L	350,0	389,90	367,34
Espuma	NR	Ausente	Ausente	Presente
Fósforo	Mg/L	10,0	1,05	1,01
Hierro	Mg/L	10,0	0,62	0,32
Nitrógeno Total	Mg/L	40,0	16,84	9,72
Oxígeno disuelto	mg/L	NR	0,050	0,66
pH	NR	6 – 9	6,82	7,02
Sólido disuelto	mg/L	NR	72,00	47,87
Sólido flotantes	mg/L	Ausentes	Presente	Presente
Sólidos suspendidos	mg/L	80,0	152,47	101,65
Sólidos sedimentables	mg/L	1,0	1,33	1,13
Sólidos volátiles	mg/L	NR	121,97	81,32
Sulfatos	mg/L	1000,0	71,50	67,14
Temperatura	°C	NR	29,37	29,32

NR.: No requiere

ND: No detectable

Art. 10: Norma para la descarga de los cuerpos de agua

Valor fuera de norma

La tabla 4.4 resume los parámetros analizados a la planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveduría. Indicando los siguientes parámetros fuera de los límites permisibles en el Decreto 883: coliformes totales, DBO, DQO, espuma, sólidos flotantes, sólidos suspendidos y sólidos sedimentables.

Las concentraciones de coliformes fecales y totales en el efluente y mostradas en la figura 4.1 son superiores a los límites establecidos, debido a la inadecuada dosificación en el tratamiento a utilizar por esta planta para el proceso de desinfección.

Los resultados obtenidos rectifican lo anteriormente determinado en los parámetros de diseño actuales para esta planta, poniendo de manifiesto un bajo rendimiento en el tanque de aireación y evidenciando la insuficiente disminución de los parámetros que miden la materia orgánica (DBO, DQO) pudiéndose apreciar en las figura 4.2 y 4.3. La concentración de oxígeno disuelto presente en el efluente de esta planta, obedece un llamado de atención por sus bajos valores, ya que no representa la característica primordial de los procesos aeróbicos, es decir suministrar suficiente oxígeno al efluente para estabilizar la materia orgánica.

En cuanto a las altas concentraciones de sólidos suspendidos y sedimentables, visualizados en las figuras 4.4 y 4.5 se evidencia el inadecuado manejo de éstos en el tanque de sedimentación. Los demás parámetros analizados se encuentran dentro de los límites permisibles en la normativa ambiental.

La tabla 4.5 indica los parámetros analizados a la planta de tratamiento Tapas Corona, donde la concentración de los sólidos suspendidos del efluente (86,01 mg/L) registra valores por encima de 80 mg/L, siendo expresados gráficamente en la figura 4.4.

Igual comportamiento presenta el parámetro de la espuma. Estos resultados indican una inapropiada operación de sedimentación en esta planta, debido tanto a las dimensiones del tanque de sedimentación y a la falta de recirculación del efluente en esta planta.

Con base en los resultados de las concentraciones de: DQO, DBO, oxígeno disuelto confirman la baja carga orgánica que posee el efluente de esta planta, confirmando lo obtenido en los resultados de los parámetros de diseño actuales. Sin embargo, la concentración de cloro residual es baja en comparación a lo sugerido para los procesos aeróbicos, pero debido a su baja carga orgánica no representa un desmejoramiento en las características del efluente de esta planta. Al examinar los demás parámetros reportados en la tabla 4.5, se aprecia que se encuentran dentro de los límites aceptables en el Decreto 883.

**Tabla 4.5** Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados a la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.

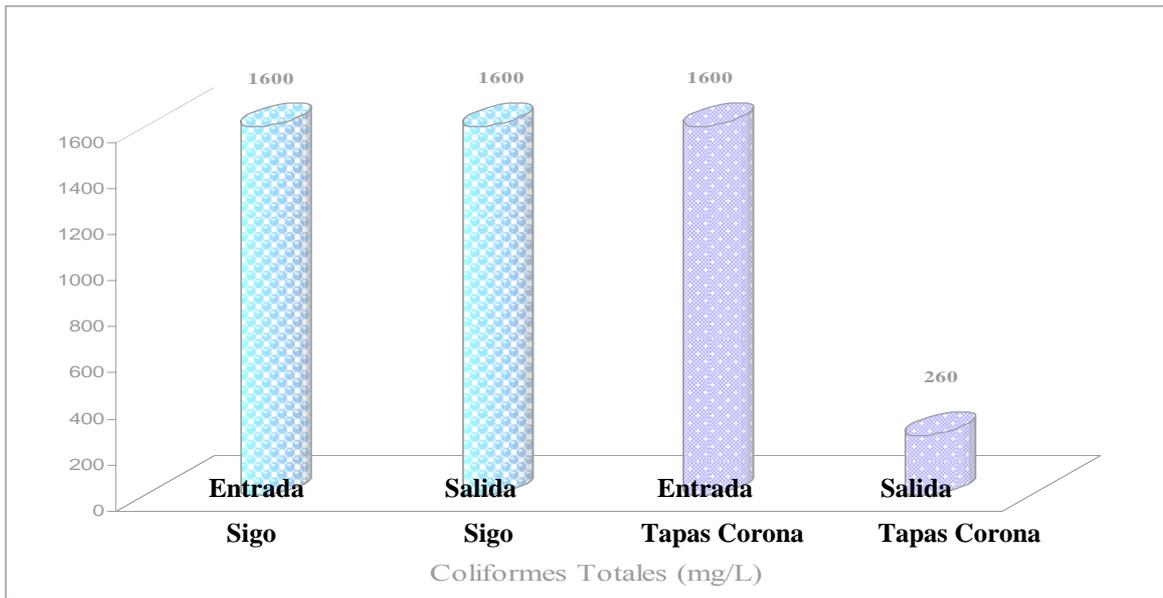
PLANTA DE TAPAS CORONA S.A.					
PARAMETRO	UNIDAD	DECRETO	E	S	E2
		883			
		ART. 10			
Aceites, grasas animales y vegetales	mg/L	20,0	0,42	0,042	---
Aluminio	mg/L	5,0	0,024	0,013	---
Cloruros	mg/L	1000,0	129,98	82,72	---
Conductividad eléctrica	mg/L	NR	505,62	525,35	---
Cloro residual	mg/L	NR	-----	0,70	
Coliformes fecales	NMP/100ml	NR	≥16.000	40	---
Coliformes totales	NMP/100ml	1000	≥16.000	260	---
Detergentes	mg/L	2,0	1,18	0,82	---
DBO	mg/L	60,0	13,33	8,60	10,91
DQO	mg/L	350,0	44,77	34,19	38,49
Espuma	NR	Ausente	Ausente	Presente	Ausente
Fósforo	mg/L	10,0	0,90	0,81	---
Hierro	mg/L	10,0	0,74	0,26	---
Nitrógeno Total	mg/L	40,0	15,98	8,97	---
Oxígeno disuelto	mg/L	NR	4,35	4,74	---
pH	NR	6 – 9	7,54	7,460	---
Sólido disuelto	mg/L	NR	78,72	58,46	75,64
Sólido flotantes	mg/L	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Sólidos suspendidos	mg/L	80,0	110,19	86,01	105,32
Sólidos sedimentables	mg/L	1,0	0,75	0,58	0,68
Sólidos volátiles	mg/L	NR	88,15	68,81	84,41
Sulfatos	mg/L	1000,0	83,63	56,25	---
Temperatura	°C	NR	28,27	28,34	---

E2: Entrada tanque de sedimentación

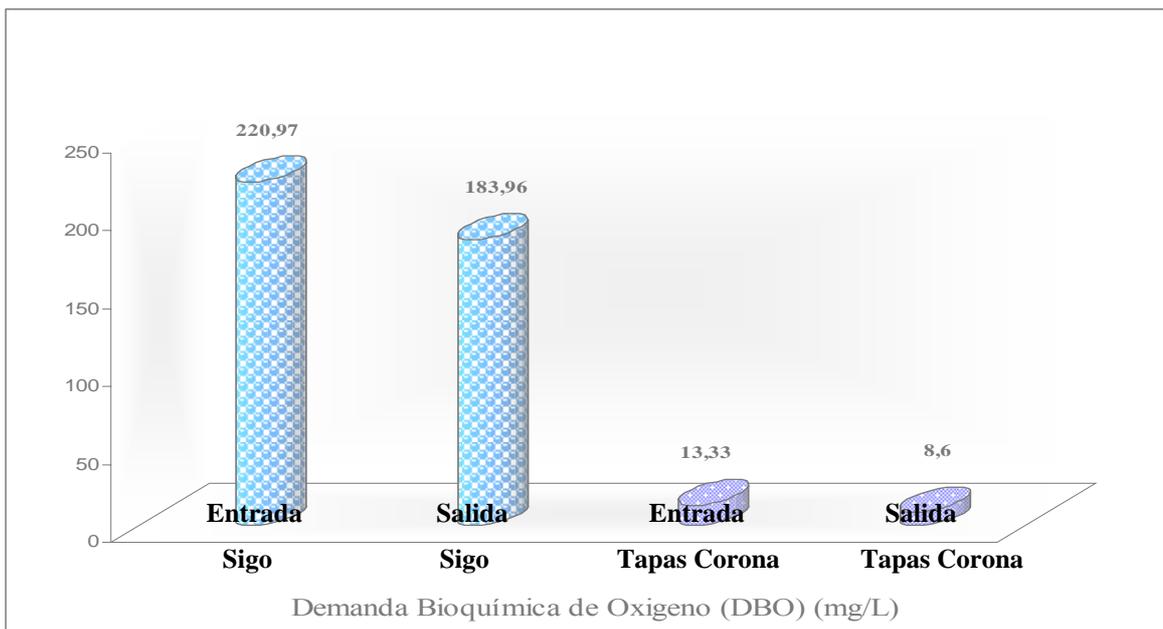
NR.: No requiere

Art. 10: Norma para la descarga de los cuerpos de agua

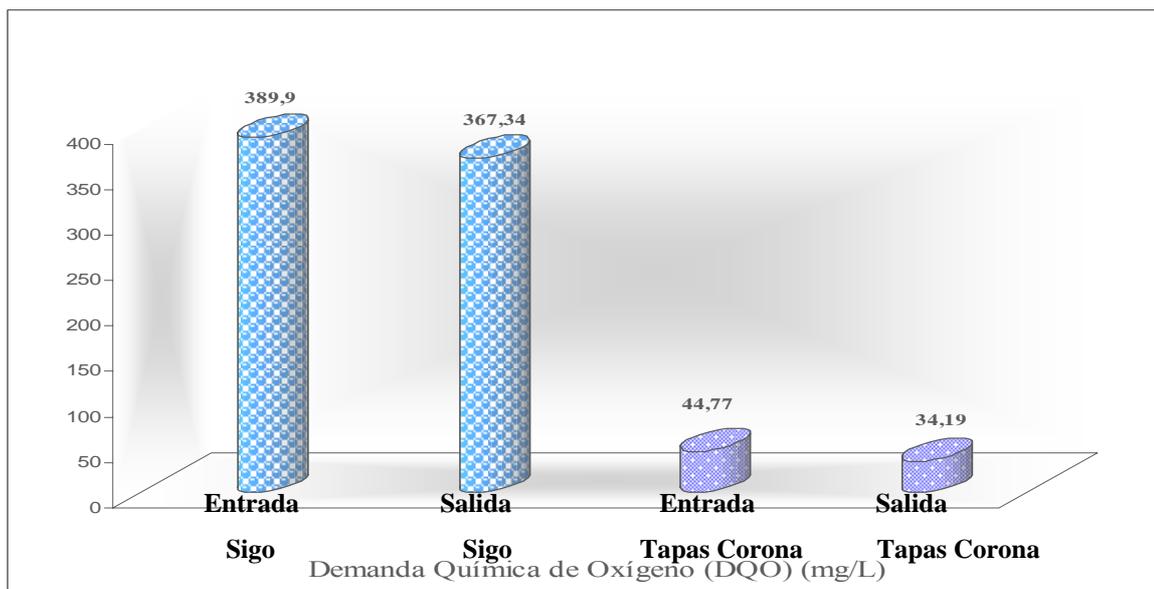
Valor fuera de norma



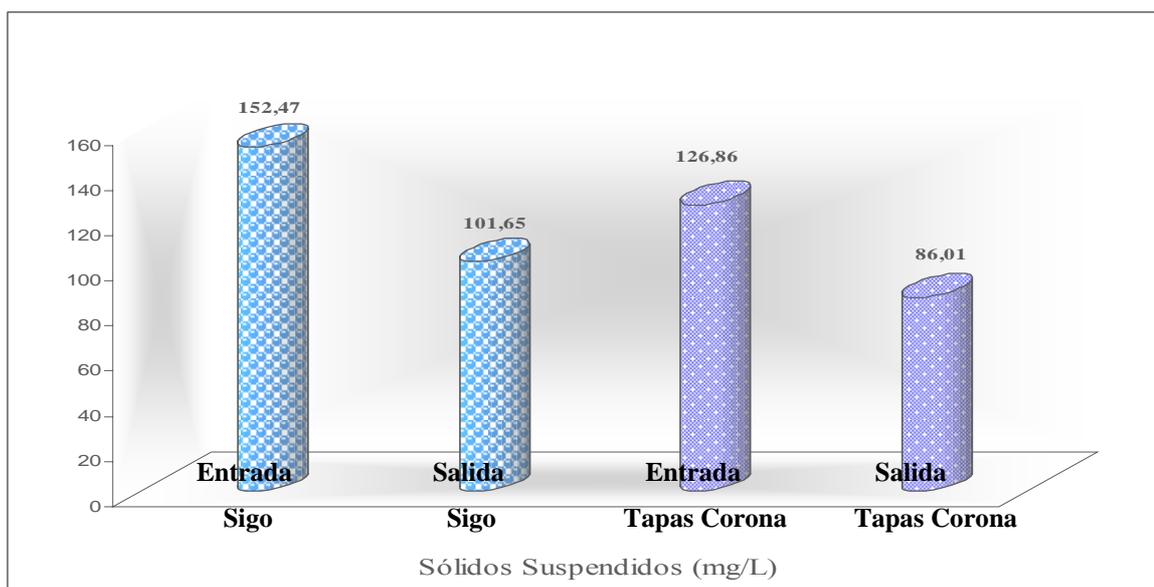
**Figura 4.1** Valores de concentración de Coliformes Totales



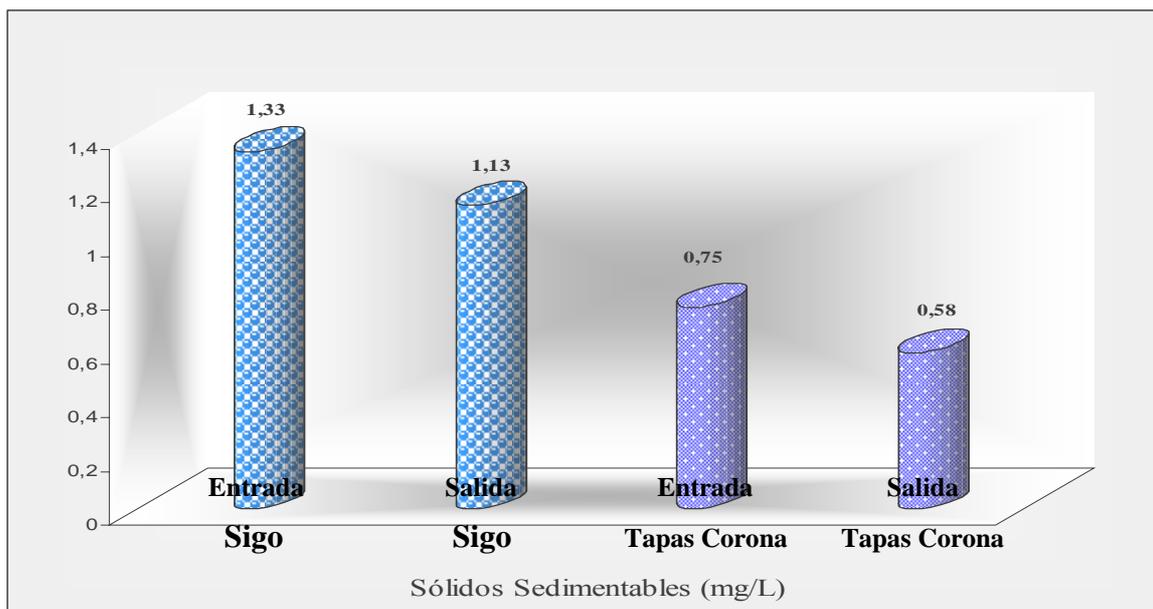
**Figura 4.2** Valores de concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)



**Figura 4.3** Valores de concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)



**Figura 4.4** Valores de concentración de Sólidos Suspendidos



**Fig. 4.5** Valores de concentración de Sólidos Sedimentables

### 4.3 Eficiencia de las plantas de tratamiento

En las tablas 4.6 y 4.7 se aprecian los resultados obtenidos de la eficiencia de las plantas evaluadas.

**Tabla 4.6** Eficiencia global de las plantas de tratamiento evaluadas

<b>EFICIENCIA GLOBAL DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO EVALUADAS</b>		
<b>C.C. SIGO LA PROVEEURIA</b>	<b>TAPAS CORONA S.A.</b>	<b>SUGERIDOS EN BIBLIOGRAFIAS</b>
<b>16,75%</b>	<b>35,48%</b>	<b>90% a 100 %</b>

**Tabla 4.7** Eficiencia por equipo de la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A.

<b>EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO TAPAS CLORONA S.A.</b>	
<b>TANQUE DE AIREACIÓN</b>	<b>TANQUE SEDIMENTACIÓN</b>
<b>18,21%</b>	<b>9,44%</b>

La baja eficiencia global determinada en la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría, en base a los resultados obtenidos de la DBO reflejan un bajo nivel en el tratamiento biológico suministrado al agua residual que manipula esta planta, esto se atribuye a diversos factores ya antes citados: falta de continuidad en el proceso biológico aplicado, sobrecarga tanto en el caudal como en la carga orgánica, aireación insuficiente, retorno de lodos inadecuado, baja dosificación en el proceso de desinfección del efluente.

En la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. se cuantificó de igual manera una baja eficiencia global y en los equipos de la planta, aun cuando las concentraciones de DBO tanto del afluente como del efluente son sustancialmente bajas. Este resultado se atribuye esencialmente a que la planta de tratamiento físicamente, es grande para el caudal que se manipula actualmente, esto se evidencia en los altos tiempos de retención determinados de las unidades de tratamiento, interfiriendo esto en una óptima eficiencia del sistema.

#### **4.4 Propuestas de diseño a las plantas evaluadas**

En base a los resultados obtenidos de las caracterizaciones físicas químicas realizadas al efluente de las plantas de tratamiento evaluadas, se presentan la siguiente propuesta para las plantas en cuestión.

Para la planta C.C Sigo La Proveeduría se sugieren las siguientes propuestas:

- Rejillas adicionales a las ya existentes en el sistema.
- Cantidad acorde de  $\text{CaClO}_2$  para preparar solución usada en el proceso de desinfección del efluente.

En cuanto a la planta de tratamiento Tapas Corono S.A. se propone:

- Cantidad acorde de  $\text{CaClO}_2$  para preparar solución usada en el proceso de desinfección del efluente.
- Incorporar una unidad de contacto para el proceso de desinfección del efluente.

En las tablas 4.8 y 4.9 se presentan las propuestas recomendadas en este trabajo.

**Tabla 4.8** Propuesta de rejillas. Planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría

<b>DIMENSIONES DE REJILLAS</b>	
<b>TIPO DE REJILLA</b>	Mediana
<b>TIPO DE LIMPIEZA</b>	Manual
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA BARRA</b>	Rectangular
<b>INCLINACIÓN CON LA VERTICAL</b>	30 grados
<b>ESPACIAMIENTO ENTRE REJILLAS</b>	3 (cm)
<b>PROFUNDIDAD DE LA BARRA</b>	4 (cm)
<b>ANCHO DE LA BARRA</b>	1,5 (cm)
<b>PÉRDIDA DE CARGA MÁXIMA</b>	1,34 (cm)

El dimensionamiento de las rejillas para la planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría se realizó en base a la existencia de sólidos flotantes en las unidades de esta

planta como lo son: heces, trapos, bolsas para lo cual se plantea rejillas medianas con las características expuestas en la tabla 4.8.

El material a utilizar en las rejillas es el acero inoxidable, ya que es resistente a la corrosión.

Este sistema de rejillas servirá como complemento a las rejillas ya existentes en la planta, siendo ubicadas posterior a las antes mencionadas que son de espaciamiento superiores a las planteadas en esta propuesta.

Por lo cual esta propuesta de rejillas adicionales con menor abertura, solucionara la existencia del parámetro de sólidos flotantes en la planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría.

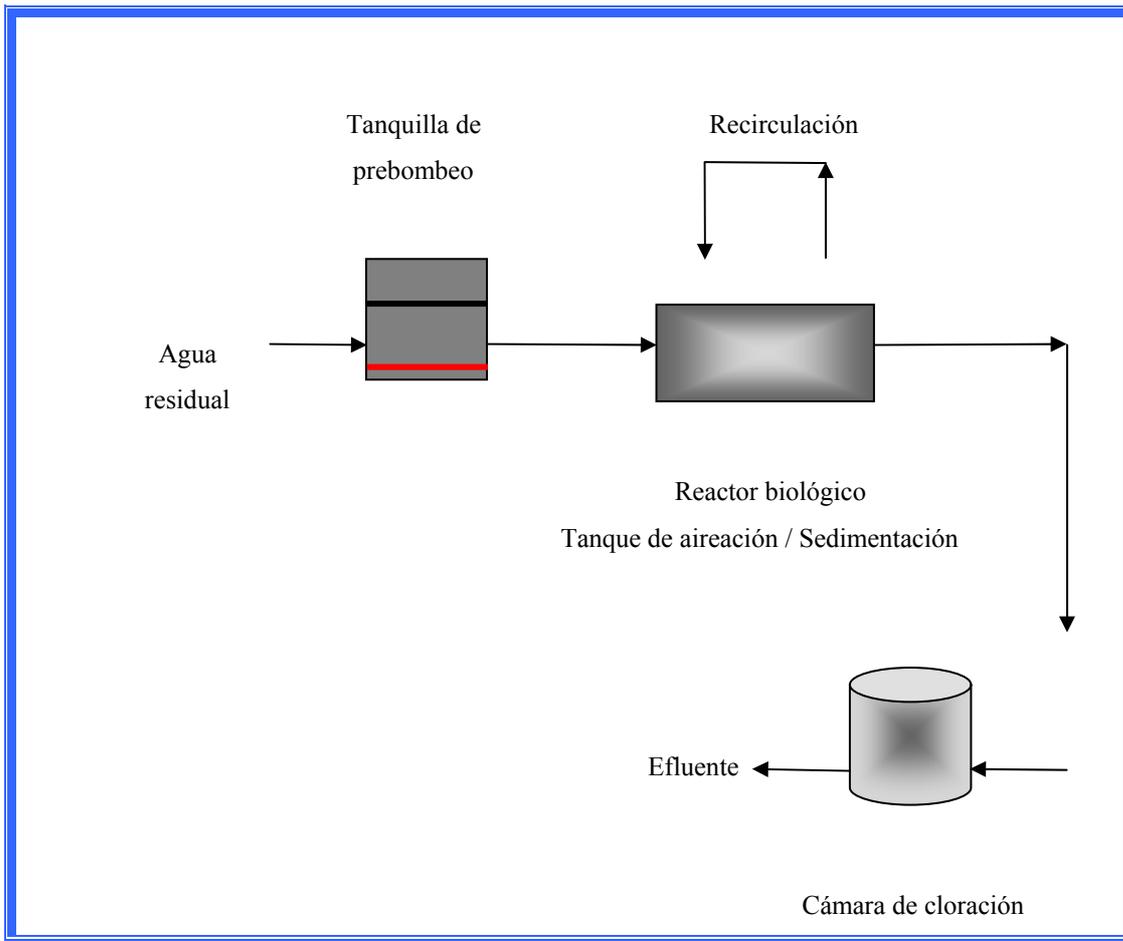
En la tabla 4.9 se muestran las cantidades actuales suministradas de hipoclorito de calcio utilizadas para preparar la solución con dicho compuesto, la cual es utilizada para la desinfección del efluente de las plantas evaluadas. Se determinó la cantidad requerida de hipoclorito de calcio necesaria para obtener un efluente con concentración de 1 mg/L. La planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. no cuenta con una unidad donde el afluente cumpla con el tiempo de contacto necesario con la solución de hipoclorito de calcio suministrada, motivo por el cual se determinó considerando un tiempo de retención de 30 min utilizar un tanque con capacidad de 267,89 L redondeando este resultado a 300 L.

Se sugiere un tanque de polietileno con capacidad de 300 L, siendo esta propuesta económicamente factible.

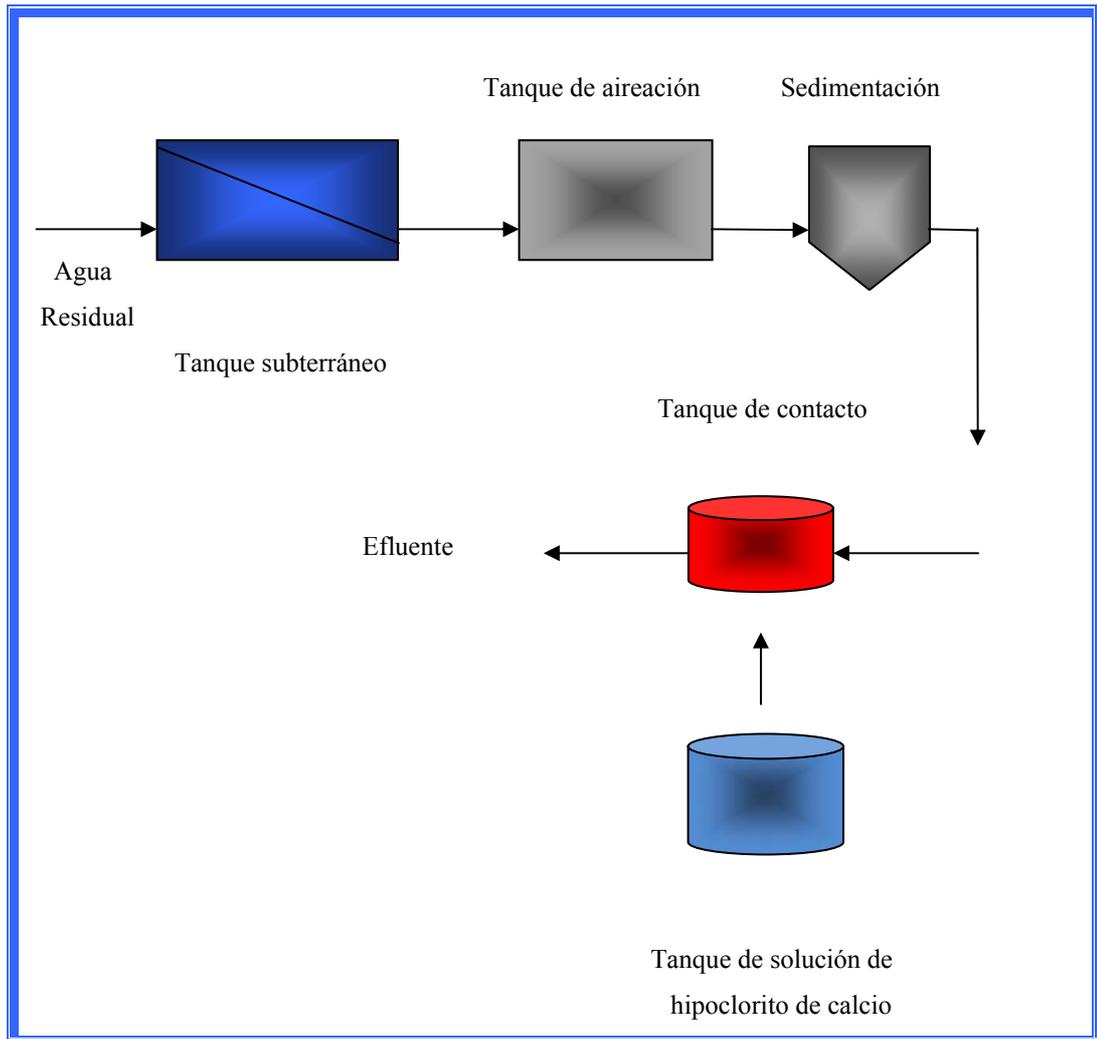
**Tabla 4.9** Propuesta de dosificación de solución de hipoclorito de calcio

<b>CANTIDAD DE HIPOCLORITO DE CALCIO</b>		
<b>PLANTA DE TRATAMIENTO</b>	<b>DOSIS ACTUAL</b>	<b>DOSIS RECOMENDADA</b>
<b>C.C. SIGO LA PROVEEDURÍA</b>	0,063 g	0,23 g
<b>TAPAS CORONA S.A.</b>	1,40 g	2,85 g

En las figuras 4.6 y 4.7 se aprecian los diagramas de flujo de las plantas de tratamiento evaluadas con la adición de las propuestas realizadas en este trabajo. Las unidades de tratamiento sugeridas en esta propuesta son los equipos de color rojo.



**Figura 4.6** Diagrama de flujo de la Planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveduría con propuestas sugeridas



**Figura 4.7** Diagrama de flujo de la Planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. con propuestas sugeridas

## CONCLUSIONES

- 1) La planta de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría presenta baja operatividad en sus unidades de tratamiento y se determina una regular operatividad en la planta de tratamiento Tapas Corona S.A.
- 2) La carga de diseño operacional en la planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría es superior para la cual fue diseñada. La planta Tapas Corona S.A. presenta una carga operacional inferior a lo indicado en las bibliografías consultadas.
- 3) Un 82 % de los parámetros operacionales de la planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría se encuentran fuera de lo establecido en las condiciones de diseño de la planta.
- 4) Los parámetros operacionales de la planta Tapas Corona S.A están en un 63,6% fuera de los parámetros usuales sugeridos en bibliografías consultadas.
- 5) El efluente de la planta C.C. Sigo La Proveeduría presentó los siguientes parámetros fuera de los límites permisibles en el artículo 10 del Decreto 883: DBO con una concentración de 183,96 mg/L; 367,34 mg/L de concentración de DQO, coliformes totales con  $\geq 16.000$  NMP/100mL; presencia de espuma y sólidos flotantes; sólidos suspendidos y sólidos sedimentables con concentraciones de 101,65mg/L y 1,13 mg/L respectivamente.
- 6) La caracterización fisicoquímica realizada al efluente de la planta de tratamiento Tapas Corona S.A determinó una concentración de sólidos suspendidos igual a 105,32 mg/L, encontrándose fuera de los límites permisibles en el artículo anteriormente citado.

- 7) La eficiencia estimada en el diseño de la planta de tratamiento C.C Sigo La Proveeduría es de 84% y la eficiencia determinada en esta evaluación reporta un 16,75%. En la planta Tapas Corona S.A se determino una eficiencia global de 35,48% siendo la eficiencia sugerida por la bibliografías consultadas de 90% para procesos biológicos.
- 8) Para la planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría se sugieren las siguientes propuestas: adición de rejillas medianas al sistema de pretratamiento existente en la planta y cantidades de  $\text{CaClO}_2$  acordes para preparar la solución de este compuesto que permitan obtener concentraciones mínimas de 1 mg/L de cloro residual en el efluente.
- 9) En la planta Tapas Corona S.A se propone: adquirir un tanque de polietileno con capacidad aproximada de 300,00 L para ser dispuesto como tanque de contacto en el proceso de desinfección del efluente y cantidades de  $\text{CaClO}_2$  acordes para preparar la solución de hipoclorito de sodio que permitan obtener concentraciones mínimas de 1mg/L de cloro residual en el efluente.

## RECOMENDACIONES

- En la planta de tratamiento de Tapas Corona S.A. motivado a los resultados de las caracterizaciones realizadas al agua a tratar por esta planta, es necesario aumentar la carga orgánica para que el proceso biológico sea eficiente al eliminar los sólidos suspendidos volátiles y por consiguiente los sólidos suspendidos.
- Ejecutar mantenimiento a las grietas existentes en las unidades de tratamiento de la planta Tapas Corona S.A y cambio de las tuberías deterioradas.
- La planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría debe operar ininterrumpidamente las 24 horas del día, con la finalidad de cumplir el objetivo de los procesos biológicos: estabilizar el agua residual por vía aeróbica usando una masa activada de microorganismos, así como asignar un operador y ejecutar caracterizaciones periódicas del efluente generado por esta planta.
- En la planta de tratamiento C.C. Sigo La Proveeduría debido a las fluctuaciones en los caudales registrados durante las jornadas de muestreo, es conveniente considerar la incorporación de un tanque de homogenización. Esta operación se emplea para obtener el ajuste de un caudal constante de bombeo hacia las unidades posteriores de la planta.
- Se exhorta al MPPA como ente regulador de la normativa ambiental del Estado Venezolano, a continuar con el seguimiento a las plantas de tratamiento evaluadas para así verificar la adecuación de las instalaciones de tratamiento, bien sea realizando las propuestas descritas en este trabajo u otro medio considerado por la empresas en cuestión.
- Es necesario considerar la exigencia por parte del MPPA a las empresas C.C. Sigo La Proveeduría y Tapas Corona S.A consignar ante la Coordinación de Calidad Ambiental planos de drenaje actuales de las empresas para determinar óptimamente

el recorrido tanto de las aguas residuales como de las aguas tratadas, para fines de evaluaciones futuras de estas plantas de tratamiento.

## BIBLIOGRAFIA

1. **“Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales”**. (2008). Disponible en: <http://www.gobiernoenlinea.gob.ve/venezuela/estructura.html>
2. Zapata, L., **“Evaluación del sistema de tratamiento de efluentes de una ensambladora de vehículos”**. Tesis de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, UDO, Barcelona, Venezuela (2003).
3. Muñoz, H., **“Evaluación de opciones para la reutilización del efluente líquido de la planta de tratamiento de aguas residuales de una ensambladora de vehículos”**. Tesis de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, UDO, Barcelona, Venezuela (2003).
4. Laya, N., **“Propuesta de un plan estratégico para la adecuación de la planta de tratamiento de efluentes líquidos en una empresa metalmecánica”**. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, UDO, Barcelona, Venezuela”. Tesis de Grado, (2005).
5. Rivas Mijares, G. **“Tratamiento de Aguas Residuales”**. Segunda Edición. Editorial Vega, Caracas, Venezuela (1978).
6. Lipesa, **“Tratamiento Químico del Agua”**. Segunda Edición. Editorial Impregraf, Caracas, Venezuela. (1998).
7. La solución compacta y eficiente HIDROCLEAN, **“Sistema de tratamiento de aguas servidas, Sigo Barcelona”**. Manual de operación y mantenimiento., Venezuela (2007).

8. Glynn H. y Heinke G., **“Ingeniería Ambiental”**. Segunda Edición. Editorial Pearson Educación. México (1999).

9. Cristes, R. y Tchobanoglous, G., **“Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones”**. Primera Edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A., Santafé de Bogotá, Colombia (2000).

10. Perry R., **“Perry Manual del Ingeniero Químico”**. Tomos IV y VI. Sexta Edición. Editorial MacGraw-Hill. Ciudad de México, México (1992).

11. Corbitt, R., **“Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”**. Primera Edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A., Madrid, España (2003).

12. Maskew, G., **“Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales”**. Tomo 4. Primera Edición. Editorial Limusa S.A, Naucalpan, México (1988).

13. Gaceta Oficial de la Republica de Venezuela, N° 5021, Decreto 883. **“Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua vertidos o efluentes líquidos”**, Capitulo III, Sección III, Caracas (1995).

14. Felder, R., **“Principios Básicos de los Procesos Químicos”**. Primera Edición. Editorial El Manual Moderno S.A. de C.V, Cuauhtémoc, México (1981).

15. Ramalho, R., **“Tratamiento de Aguas Residuales”**. Segunda Edición. Editorial Reverté S.A., Barcelona, España (1991).

16. Clesceri, L. y Greenberg A., **“Standard Methods. Examination of Water and Wastewater”**. Vigésima Edición. Editorial Board Joint, Washington, USA (1998).

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	<b>“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES UBICADAS EN BARCELONA, ESTADO ANZOÁTEGUI”</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Guerra Núñez, Patricia Josefina	<b>CVLAC:</b> 11.905.884 <b>E MAIL:</b> patydealfonzo@hotmail.com
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Planta de tratamiento

---

Efluente

---

Agua residual

---



---



---

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

**RESUMEN (ABSTRACT):**

Motivado a la alta contaminación de los cuerpos receptores, por descargas incontroladas de efluentes domésticos e industriales, el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente propone la evaluación a las Plantas de tratamiento de C.C. Sigo La Proveeduría y Tapas Corona S.A. persiguiendo como objetivo determinar la eficiencia de su funcionamiento, para programar y ejecutar el control permanente a estas empresas. Esta evaluación contempló la determinación de la calidad del efluente generado por estas empresas, diagnóstico de operación de las mismas, determinación de los parámetros operacionales y eficiencia global de las plantas, efectuándose propuestas de diseño y operativas que contribuyan con el mejoramiento ambiental del río Neverí y al cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Salas, Yraima	CVLAC:	8.478.649			
	E_MAIL	yrasal57@yahoo.es			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Barrera, María	CVLAC:	8.244.674			
	E_MAIL	barreramc@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Ochoa, Osvaldo	CVLAC:	3.995.379			
	E_MAIL	ochoa.osvaldo@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Cova, Alexis	CVLAC:	11.905.328			
	E_MAIL	alexiscovab@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

AÑO	MES	DÍA
2010	01	12

**LENGUAJE. SPA****METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.paty2.doc	Aplicación/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H I J K  
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0  
1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** Coordinación Ambiental/Ministerio del Ambiente (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** 8 meses (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Químico

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Química

**INSTITUCIÓN:**

UNIVERSIDAD DE ORIENTE. NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajo de grado:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participara al Consejo Universitario”.

---

Guerra Núñez, Patricia Josefina

**AUTOR**

---

Salas, Yraima

**TUTOR**

---

Ochoa, Osvaldo

**JURADO**

---

Cova, Alexis

**JURADO**

---

Salas, Yraima

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**