

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

**Evaluación del sistema actual de tratamiento de aguas residuales para
una planta productora de alimentos enlatados y colados**

Proyecto de graduación sometido a la consideración de la Escuela de Ingeniería Química
como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Daniela Robles Solano

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

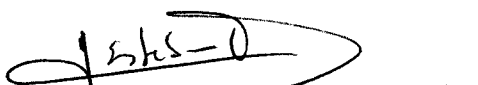
2013

COMITÉ ASESOR

Proyecto de graduación presentado ante la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química.

Sustentante: Daniela Robles Solano

Aprobado por:



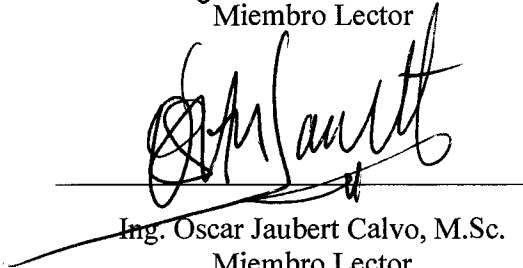
Ing. Esteban Durán Herrera, P.Dh.
Presidente del Tribunal



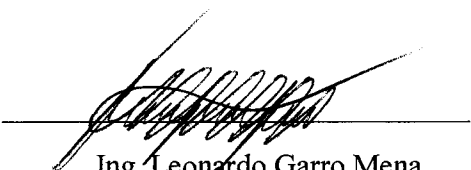
Ing. Adolfo Ulate Brenes, M.Sc.
Director del Proyecto



Ing. Bernardo Mora Gómez, M.Sc.
Miembro Lector



Ing. Oscar Jaubert Calvo, M.Sc.
Miembro Lector



Ing. Leonardo Garro Mena
Miembro Invitado

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
2013

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a todas las personas que me han apoyado en todos estos años, que han creído en mí y me han motivado a salir adelante sin importar lo difícil que sea. Gracias!!!

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas q a través de la carrera me ayudaron y estuvieron conmigo en las buenas y malas, ya que gracias a ellas encontré la fortaleza para seguir adelante y terminar esta etapa tan importante de mi vida; especialmente a mi familia por el apoyo incondicional ya que sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es evaluar el sistema actual de tratamiento de aguas residuales para una planta productora de alimentos enlatados y colados. El proyecto se enfoca en analizar los problemas que presentan el tanque equalizador, tanque de aireación y el clarificador. En el primero hay presencia de espuma blanca, en el tanque de aireación hay formación de espuma marrón que permite el paso de una mayor cantidad de lodos sedimentados y pobremente compactados hacia el clarificador de manera que también afecta el funcionamiento del anterior.

Para el proceso de evaluación del sistema actual de tratamiento de aguas residuales de la planta productora se tomó en cuenta el funcionamiento, estado, mantenimiento y operación de la misma. Para realizar dicha evaluación fue necesario llevar a cabo muestreos de las aguas con el fin de determinar las propiedades físicas, químicas y térmicas causantes de los problemas. De esta manera se llegó a la conclusión que los parámetros responsables de los inconvenientes de la planta son los sólidos suspendidos para los problemas del tanque de aireación y el clarificador, y el producto “A” para el problema de espuma del tanque equalizador. Como propuesta se sugiere incorporar a la planta un sedimentador primario con malla catiónica (para reducir los sólidos suspendidos) con las siguientes dimensiones: un largo de 3 m, ancho de 1 m, profundidad de 3,6 m y un tiempo de residencia hidráulica de 2,5 h; y para el problema de espuma generado por el producto “A” se sugiere incluir rociadores de agua a la planta. Además se recomienda solucionar el problema futuro de sobrecarga interna y variación de carga orgánica de la planta (debido a la posibilidad de un aumento de producción) por medio de un redimensionamiento de la planta.

Para finalizar se efectuó un costeo preliminar para el reacondicionamiento propuesto de la planta tomando en cuenta el costo de la adaptación de los equipos existentes y el costo de adquisición del nuevo equipo (sedimentador primario). De esta manera basándose en la cotización de la empresa que se encarga de la planta actual se estimó un costo de \$81200.

Con base a lo anterior se concluye que el proyecto presenta resultados atractivos para la inversión ya que el precio del acondicionamiento es menos de la mitad del precio original de la planta. Además se recomienda hacer la inversión para la compra de un microscopio, analizador de DQO y un medidor de oxígeno para realizar análisis en campo cada vez que se presente algún problema en la planta.

ÍNDICE GENERAL

Comité asesor	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Importancia del tratamiento de las aguas residuales	1
1.2 Normativa costarricense	3
2. AGUAS RESIDUALES	4
2.1 Tipos de aguas residuales	4
2.2 Parámetros para el análisis físico-químico de las aguas residuales	5
2.3 Muestreo de aguas residuales	9
2.4 Tratamiento de aguas residuales	11
2.4.1 Tratamientos para la eliminación de materia en suspensión	11
2.4.2 Tratamientos para la eliminación de materia disuelta	14
2.4.3 Tratamientos biológicos	16
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS	19
3.1 Aspectos generales	19
3.2 Sistema de tratamiento	19

3.3	Descripción de la situación actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	22
3.4	Balance de masa del diagrama de flujo de la planta actual	25
4.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y EQUIPOS	36
4.1	Puntos de muestreo	36
4.2	Medición de caudal	36
4.3	Forma de muestreo	36
4.4	Parámetros fisicoquímicos	37
4.5	Equipo	38
4.6	Costos de la investigación	38
5.	CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES	39
5.1	Caracterización y cuantificación de efluentes	39
5.2	Evaluación de las condiciones de desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales actual	41
6.	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS PRETRATADAS	48
6.1	Alternativas para la planta de tratamiento de desechos	48
6.2	Descripción del sistema propuesto para la planta de tratamiento de aguas residuales	50
6.3	Dimensionamiento del sistema propuesto	51

6.4	Comparación del estado actual de la PTAR con el dimensionamiento sugerido	57
6.5	Balance de masa del diagrama de flujo de la planta sugerida	58
7.	COSTEO PRELIMINAR PARA EL REDIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	71
7.1	Costos de adaptación del sistema de tratamiento propuesto	71
8.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA REACONDICIONADA	72
8.1	Información básica de diseño	72
8.2	Proceso industrial	76
8.3	Descripción del proceso de tratamiento	77
8.4	Puesta en marcha	78
8.5	Operación	80
8.6	Control operacional	81
8.7	Posibles dificultades	82
8.8	Mantenimiento	83
8.9	Desechos	84
8.10	Reportes operacionales	85
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
	NOMENCLATURA	88
	BIBLIOGRAFÍA	90
	APÉNDICES	93

A. DATOS EXPERIMENTALES	94
B. RESULTADOS INTERMEDIOS	95
C. MUESTRA DE CÁLCULO	98
ANEXOS	108

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.5.1	Equipo de laboratorio utilizado en el análisis del efluente de la PTAR
Cuadro 5.1.1	Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 20 de febrero del 2012
Cuadro 5.1.2	Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 27 de febrero del 2012
Cuadro 5.1.3	Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 5 de marzo del 2012
Cuadro 5.2.1	Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 12 de marzo del 2012
Cuadro 6.3.1	Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 20 de febrero del 2012
Cuadro 6.3.2	Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 27 de febrero del 2012
Cuadro 6.3.3	Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 5 de marzo del 2012
Cuadro 6.1.1	Datos del caudal generado por la elaboración del producto “A”
Cuadro 6.3.4	Resultados del dimensionamiento del tamiz inclinado
Cuadro 6.3.5	Parámetros necesarios para el dimensionamiento del separador de grasas y aceites
Cuadro 6.3.6	Resultados del dimensionamiento del separador de grasas y aceites
Cuadro 6.3.7	Resultados del dimensionamiento del sedimentador primario
Cuadro 6.3.8	Resultados del dimensionamiento del tanque equalizador
Cuadro 6.3.9	Resultados del dimensionamiento del selector biológico
Cuadro 6.3.10	Resultados del dimensionamiento del tanque de aireación
Cuadro 6.3.11	Resultados del dimensionamiento de la demanda de oxígeno de la materia carbonosa
Cuadro 6.3.12	Resultados del dimensionamiento de la demanda de oxígeno de la materia nitrogenada
Cuadro 6.3.13	Resultados del dimensionamiento de la demanda de oxígeno de la materia desnitrificada
Cuadro 6.3.14	Resultados del dimensionamiento de la demanda de oxígeno total
Cuadro 6.3.15	Resultados del dimensionamiento del sistema de adición de nutrientes
Cuadro 6.3.16	Resultados del dimensionamiento del clarificador
Cuadro 6.3.17	Resultados del dimensionamiento del digestor de lodos
Cuadro 6.4.1	Comparación de equipos según el estado actual y el diseño propuesto

Cuadro 8.1.1	Límites máximos permisibles para aguas residuales vertidas en cuerpos receptores
Cuadro 8.2.1	Valores de los parámetros fisicoquímicos del afluente obtenidos durante los muestreos el día 20 de Febrero del 2012
Cuadro 8.2.2	Valores de los parámetros fisicoquímicos del afluente obtenidos durante los muestreos el día 27 de Febrero del 2012
Cuadro 8.2.3	Valores de los parámetros fisicoquímicos del afluente obtenidos durante los muestreos el día 5 de Marzo del 2012
Cuadro A.1	Resultados de la caracterización del agua residual del efluente
Cuadro A.2	Resultados de la caracterización del agua residual del tanque de aireación
Cuadro A.3	Resultados de la caracterización del agua residual del afluente
Cuadro B.1	Datos de pesos de crisoles sin muestra para determinar los sólidos totales
Cuadro B.2	Datos de pesos de crisoles con muestra para determinar los sólidos totales
Cuadro B.3	Datos de pesos de crisoles sin muestra para determinar los sólidos disueltos
Cuadro B.4	Datos de pesos de crisoles con muestra para determinar los sólidos disueltos
Cuadro B.5	Datos para el dimensionamiento de equipos
Cuadro B.6	Datos para el dimensionamiento del tamiz inclinado
Cuadro B.7	Datos para el dimensionamiento del separador de grasas y aceites
Cuadro B.8	Datos para el dimensionamiento del sedimentador primario
Cuadro B.9	Datos para el dimensionamiento del tanque ecualizador
Cuadro B.10	Datos para el dimensionamiento del selector biológico
Cuadro B.11	Datos para el dimensionamiento del tanque de aireación
Cuadro B.12	Datos para el dimensionamiento del clarificador
Cuadro B.13	Datos para el dimensionamiento del digestor de lodos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.3.1	Espuma en el tanque ecualizador
Figura 3.3.2	Espuma en el tanque de aireación
Figura 3.3.3	Lodos dispersos en la canaleta del clarificador
Figura 3.4.1	Diagrama de la planta de aguas residuales actual
Figura 6.2.1	Diagrama de la planta de aguas residuales propuesta
Figura 6.3.1	Dimensionamiento del tamiz inclinado
Figura 6.3.2	Dimensionamiento del separador de grasas y aceites
Figura 8.2.1	Diagrama de bloques del proceso industrial de granos
Figura 8.2.2	Diagrama de bloques del proceso industrial de colados
Figura 8.3.1	Diagrama de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta
Anexo 1	Planilla de control diario
Anexo 2	Remoción de DBO y sólidos suspendidos en función de la carga superficial
Anexo 3	Obtención del rendimiento de eliminación de DBO ₅ a partir de la carga másica
Anexo 4	Consumo de oxígeno en función del TRH y la temperatura

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del tratamiento de las aguas residuales

El recurso que permitió dar origen a la vida es el recurso de mayor importancia hasta nuestros días, representando el 70 % de lo que está constituido nuestro planeta. Sin embargo, de ese porcentaje aproximadamente el 97,5% es salada, restando solamente el 2,5% como agua dulce, apta para consumo humano; de ese 2,5%, el 69,7% es agua congelada, 30% es subterránea, quedando en los ríos y lagos solamente el 0,3% (CONAGUA, 2009).

Las aguas residuales se generan principalmente como resultado de una serie de actividades humanas, existiendo dos vías por las que se pueden originar: de manera directa e indirecta. Las primeras se presentan cuando se vierten de manera directa sustancias nocivas (físicas, químicas, biológicas) a algún cuerpo receptor, y las segundas son aquellas que se depositan en el suelo ocasionando que, se infiltren en el subsuelo hasta llegar a los mantos freáticos, generando una contaminación de aquellos cuerpos hídricos que serán explotados para consumo humano. Las fuentes generadoras de aguas residuales dependen de su origen de contaminación, y se pueden catalogar en tres grandes grupos de acuerdo a su uso: urbana, industrial y agropecuaria.

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo (Rodríguez et al., 2006). El sector productor es el que más contamina. Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en las fábricas se vierten sin ningún tipo de tratamiento previo (Rodríguez, et al., 2006).

Teniendo en cuenta esta problemática ambiental unida a la necesidad de un aprovechamiento del espacio, se ha dado cabida al uso de técnicas de depuración de aguas residuales más eficientes donde se puede tener un control más directo de los procesos que ocurren en cada fase del tratamiento, así como, un aprovechamiento efectivo del terreno.

La selección del sistema de tratamiento más adecuado es parte de un proceso que implica muchas variables tanto técnicas como económicas, donde además de tomar en cuenta el perfil de la calidad del agua a tratar, se valoran las necesidades de espacio, los costos y la facilidad de operación, así como la eficiencia respecto a las normas ambientales y de salud pública como por ejemplo la normativa nacional de Vertido y Reuso de Aguas Residuales 33601-MINAE-S y el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales decreto 31545-MINAE.

El tratamiento adecuado de aguas residuales industriales y su posterior reutilización para múltiples usos contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental del dominio público hidráulico y marítimo y de sus ecosistemas. Sin olvidar que el agua de calidad es una materia prima crítica para la industria.

Para todo lo anterior el ingeniero juega un papel de suma importancia, ya que participa en lo comprendido por la concepción, planificación, evaluación, proyección, construcción, explotación y mantenimiento de los sistemas necesarios para lograr los objetivos en la correcta gestión de las aguas residuales y sus agregados en su tratamiento.

En la búsqueda de una optimización en el uso, reúso y tratamiento de las aguas residuales, se debe lograr una mayor conciencia, ya que es el motor de desarrollo y riqueza, y que ha constituido y seguirá siendo uno de los grandes pilares para la evolución del hombre.

1.2 Normativa costarricense

En Costa Rica existen actualmente diversas normativas relacionadas con el tratamiento de aguas residuales, las que más influyen de manera directa o indirecta en el marco legal del proyecto son: “*Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*” decreto 33601-MINAE-S y “*Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*” decreto 31545-MINAE.

Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales

Este reglamento rige la disposición de efluentes finales de las diferentes industrias del país y establece la normativa en cuanto a la calidad mínima de estos, previo a su vertido en los cuerpos receptores. El reglamento establece los parámetros de análisis obligatorio, las frecuencias de muestreo, los requisitos del manual de operación y mantenimiento, entre otros.

Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

Se ha demostrado que problemas de diseño, operación y de mantenimiento de los sistemas de aguas residuales constituyen una de las principales causas del deterioro de los medios receptores. Es por esto que este reglamento establece algunas normas de diseño y los requisitos para la aprobación de ubicación y funcionamiento de los sistemas de tratamiento.

CAPÍTULO 2

AGUAS RESIDUALES

Debido a cambios en las características de las aguas residuales y la imposición de límites más estrictos sobre las descargas de aguas residuales se hace mayor hincapié en la caracterización de aguas residuales.

2.1 Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias.

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Rodier, 1981).

Así, de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- **Domésticas:** Son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación
- **Industriales:** Son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria

- Pluviales: Son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo

2.2 Parámetros para el análisis físico-químico de las aguas residuales

Los análisis de aguas residuales son parte importante para el diseño, operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas, las determinaciones más comunes que se realizan en el laboratorio para analizar las muestras de agua procedente de plantas, incluyen parámetros físicos y químicos. Algunos se mencionan a continuación.

Sólidos suspendidos totales

Son los que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista. Pueden separarse por medios físicos o mecánicos, ya sea mediante sedimentación o filtración. Se definen más exactamente como los sólidos que quedan retenidos en la capa filtrante. Incluyen partículas flotantes mayores que consisten en arena, polvo, arcilla, papel, entre otros. Los sólidos suspendidos se pueden clasificar a su vez en sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

- Sólidos sedimentables: Porción de los sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso son suficientes para que sedimenten en un periodo determinado, que generalmente es de una hora y se emplea un cono Imhoff
- Sólidos coloidales suspendidos: Corresponden a la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables. Constituyen la fracción de los sólidos suspendidos totales que no pueden eliminarse fácilmente recurriendo a tratamientos físicos o mecánicos, pero que no pasan la capa filtrante (Falcón, 1964)

Sólidos disueltos totales

Incluye todos los sólidos que pasan a través de la capa filtrante, es decir, el residuo no filtrable. De los sólidos disueltos totales aproximadamente un 90% está verdaderamente disuelto y un 10% en estado coloidal. (Falcón, 1964).

Sólidos totales

Son la totalidad de sólidos orgánicos e inorgánicos, o la totalidad de sólidos suspendidos y disueltos. Analíticamente se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a una temperatura entre los 103 °C - 105 °C. En las aguas residuales domésticas de composición media, cerca de la mitad de los sólidos totales son orgánicos y la otra mitad inorgánicos y aproximadamente unas dos terceras partes están en solución y una tercera parte en suspensión. La mitad orgánica sujeta a degradación es la que constituye el problema principal del tratamiento de las aguas negras (Metcalf, 1995).

Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción así como también en la solubilidad del oxígeno, la cual disminuye con el aumento de este parámetro.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana esta entre los 25 °C -35 °C. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50 °C y a temperaturas cercanas a los 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad. Por lo tanto la temperatura influye notablemente en las características físicas, químicas y biológicas del agua, de ahí que sea necesaria su determinación en el agua residual que entra a una planta de tratamiento.

Turbiedad

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un gas, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Su medición se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones (Garay, 1993).

Olor

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica (Henry & Heinke, 1999). Pueden presentarse olores en aguas con altos contenidos de materiales químicos como fenoles o cloro. Generalmente los olores en las aguas residuales se deben a la presencia de sulfuros de hidrógeno, que se produce cuando se reducen los sulfatos a sulfitos por la acción de los microorganismos anaerobios.

Color

El color en aguas residuales es causado por los sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución.

Potencial de hidrógeno

El intervalo de concentraciones adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ión hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ión hidrógeno si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas (Metcalf, 1995).

Alcalinidad

Es una medida de la cantidad de iones hidroxilo presentes en las aguas residuales. Los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco son los principales causantes de la alcalinidad. La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aeróbica; es por esto que este parámetro es tan utilizado en el tratamiento de las aguas residuales, ya que con los datos

arrojados se pueden utilizar para dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica y controlar el cumplimiento de los límites establecidos por el reglamento de vertido y reúso de aguas residuales.

Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °C; esto se indica como DBO₅.

Existen dos métodos comunes para la medición del DBO₅:

- El método de la dilución: Se agregan microorganismos diluidos con agua desionizada, luego se sella la muestra y se mantiene a 20 °C por 5 días en la oscuridad. Al final se mide el oxígeno disuelto. La diferencia es el DBO
- El método manométrico: Se agrega una sustancia que absorbe dióxido de carbono y se almacena la muestra de igual forma que con el método anterior. Este método es mucho más sencillo y da una lectura directa

La gran limitación de estas pruebas es la reproducibilidad ya que las observaciones pueden variar hasta un 20% alrededor de la media.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es una medida de la materia orgánica que corresponde estequiométricamente al oxígeno en una muestra, que es susceptible a ser oxidada por un agente oxidante fuerte. Se utiliza para medir el grado de contaminación, y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l).

Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas que también se reflejan en la medida.

Para la determinación del DQO generalmente se usa una mezcla en ebullición de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇)-H₂SO₄ porque es capaz de oxidar la mayoría de los tipos de materia orgánica. Otros oxidantes fuertes como el KMnO₄/H₂SO₄ también son efectivos.

La oxidación completa de compuestos orgánicos en condiciones de oxidación tan fuertes produce CO₂ y H₂O. Otros productos como el HCl o el NO₂ pueden formarse si la muestra orgánica contiene Cl o N respectivamente

Tensoactivos

Son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases. Están formados por moléculas de gran tamaño que son ligeramente solubles en agua y son usualmente los responsables por la aparición de espumas en las plantas de tratamiento de aguas y en la superficie de los receptores de los vertidos.

2.3 Muestreo de aguas residuales

El objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc.) para la cual se analizarán las variables fisicoquímicas de interés. El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.), para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis.

Tipos de muestras

Muestra simple o puntual

Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales, pocas veces, efluentes residuales.

Muestras compuestas

En la mayoría de los casos, el término "muestra compuesta" se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes

tiempos. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Para estos propósitos, se considera estándar para la mayoría de determinaciones una muestra compuesta que representa un período de 24 h. Sin embargo, bajo otras circunstancias puede ser preferible una muestra compuesta que represente un cambio, o un menor lapso de tiempo, o un ciclo completo de una operación periódica. Para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, tomar muestras compuestas que representen el periodo durante el cual ocurren tales descargas.

No se debe emplear muestras compuestas para la determinación de componentes o características sujetas a cambios significativos e inevitables durante el almacenamiento; sino hacer tales determinaciones en muestras individuales lo más pronto posible después de la toma y preferiblemente en el sitio de muestreo. Ejemplos de este tipo de determinaciones son: gases disueltos, cloro residual, sulfuros solubles, temperatura y pH. Los cambios en componentes como oxígeno o dióxido de carbono disuelto, pH, o temperatura, pueden producir cambios secundarios en determinados constituyentes inorgánicos tales como hierro, manganeso, alcalinidad, o dureza. Las muestras compuestas en el tiempo se pueden usar para determinar solamente los componentes que permanecen sin alteraciones bajo las condiciones de toma de muestra, preservación y almacenamiento.

Tomar porciones individuales del cuerpo de agua en estudio en botellas de boca ancha cada hora (en algunos casos cada media hora o incluso cada 5 min.) y mezclarlas al final del período de muestreo, o combinarlas en una sola botella al momento de tomarlas. Si las muestras van a ser preservadas, agregar previamente las respectivas sustancias a la botella, de tal manera que todas las porciones de la composición sean preservadas tan pronto como se recolectan. Algunas veces es necesario el análisis de muestras individuales.

Muestras integradas

Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos, o lo más cercanas posible. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo

ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición (Garay, 1993).

2.4 Tratamiento de aguas residuales

Los tratamientos a los que se deben someter los efluentes tienen que garantizar la eliminación o recuperación del compuesto orgánico en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente o para garantizar las condiciones mínimas del proceso en el caso de reutilización o recirculación de la corriente para uso interno. La aplicación de un método u otro depende fundamentalmente de la concentración del contaminante y del caudal de efluente.

A la hora de revisar los tratamientos unitarios más convencionales no resulta fácil establecer una clasificación universal. Una de las formas más utilizadas es en función de los contaminantes presentes en el agua residual, o también en función del fundamento del tratamiento (químico, físico o biológico). Una forma de intentar unificar ambas formas de clasificación puede ser considerar que los contaminantes en el agua pueden estar como materia en suspensión, materia coloidal o materia disuelta.

2.4.1 Tratamientos para la eliminación de materia en suspensión

La materia en suspensión puede ser de muy diversa índole, desde partículas de varios centímetros y muy densas (normalmente inorgánicas), hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de hasta unos pocos nanómetros (normalmente de naturaleza orgánica).

Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación de aguas suelen ser las primeras en efectuarse, dado que la presencia de partículas en suspensión suele ser indeseable en muchos otros procesos de tratamiento.

La eliminación de esta materia en suspensión se suele hacer mediante operaciones mecánicas. Sin embargo, en muchos casos, y para favorecer esa separación, se utilizan aditivos químicos, denominándose en este caso tratamientos químico-físicos.

A continuación se describen las operaciones unitarias más habituales. La utilización de una u otra es función de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma, etc.) así como de la concentración de las mismas.

Desbaste

Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran las aguas. El objetivo es eliminarlos y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos.

El equipo que se suele utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas con aberturas, dispuestas paralelamente (Metcalf, 1995).

Es importante limpiar los sólidos eliminados por las rejillas ya que de lo contrario estos bloquean el paso del líquido haciendo que las aguas residuales inundan la tubería, con lo cual la materia orgánica sedimenta, el oxígeno disuelto se consume y se produce ácido sulfhídrico que genera malos olores y corroe el concreto, metal y la pintura.

En otros casos, si el tipo de sólidos lo permite, se utilizan trituradoras, reduciendo el tamaño de sólidos y separándose posteriormente por sedimentación u otras operaciones.

Sedimentación

Operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también decantación.

Las partículas depositadas en el fondo de los equipos (denominados fangos) se arrastran desde el fondo donde se “empujan” hacia la salida. Estos fangos, en muchas ocasiones y en la misma planta de tratamiento, se someten a distintas operaciones para reducir su volumen y darles un destino final.

Filtración

La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa.

Flotación

Operación física que consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema. Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmisible, como en el caso de aceites y grasas. En este caso las burbujas de aire ayudan a “flotar” más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua.

Coagulación- Floculación

En muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño (10^{-6} m– 10^{-9} m), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas.

Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a

continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables.

2.4.2 Tratamientos para la eliminación de materia disuelta

Al igual que en el caso de la materia en suspensión, la materia disuelta puede tener características y concentraciones muy diversas: desde grandes cantidades de sales inorgánicas disueltas (salmueras), orgánicas (materia orgánica biodegradable en industria de alimentación) hasta extremadamente pequeñas cantidades de inorgánicos (metales pesados) y orgánicos (pesticidas) haciendo necesaria su eliminación dado su carácter peligroso.

Precipitación

Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión.

Algunos autores incluyen en este apartado la coagulación-floculación. Sin embargo, el término precipitación se utiliza más para describir procesos como la formación de sales insolubles, o la transformación química de un ión en otro con mayor o menor estado de oxidación que provoque la formación de un compuesto insoluble.

Procesos electroquímicos

Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo. Por tanto se utiliza energía eléctrica siendo su costo uno de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de fangos y la selectividad, pues controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada.

Intercambio iónico

Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.

Adsorción

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. Es considerado como un tratamiento de refinado, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico.

Entre los factores que afectan a la adsorción se encuentran:

- Solubilidad: Menor solubilidad, mejor adsorción
- Estructura molecular: Más ramificada, mejor adsorción
- Peso molecular: Grandes moléculas, mejor adsorción
- Problemas de difusión interna, pueden alterar la norma
- Polaridad: Menor polaridad, mejor adsorción
- Grado de saturación: Insaturados, mejor adsorción

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque recientemente se están desarrollando diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo. Alternativas al carbón activo son las zeolitas, arcillas (montmorillonita, sepiolita, bentonita, etc.), los denominados adsorbentes de bajo coste, procedentes en su mayor parte de residuos sólidos orgánicos (Cheremisinoff, 2001).

Desinfección

La desinfección pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que puedan causarnos enfermedades, dado que el agua es uno de los principales medios por el que se transmiten. En el caso de aguas residuales industriales, el objetivo puede ser no solo

desactivar patógenos, sino cualquier otro organismo vivo, si lo que se pretende es reutilizar el agua.

Para llevar a cabo la desinfección se pueden utilizar distintos tratamientos: Tratamiento físico (calor, radiación...), ácidos o bases, entre otros, pero fundamentalmente se utilizan agentes oxidantes, entre los que cabe destacar el clásico Cl_2 y algunos de sus derivados, o bien procesos de oxidación avanzada (O_3 , fotocatalisis heterogénea).

2.4.3 Tratamientos biológicos

Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P). Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales.

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. Este último aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente.

En el metabolismo bacteriano juega un papel fundamental el elemento aceptor de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este aspecto, además, tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas. Atendiendo a cual es dicho aceptor de electrones distinguimos tres casos:

- **Sistemas aerobios:** La presencia de O_2 hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las

bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua

- Sistemas anaerobios: En este caso el aceptor de electrones puede ser el CO_2 o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono es su estado más reducido, CH_4 . La utilización de este sistema, tendría, como ya se explicará, como ventaja importante, la obtención de un gas combustible
- Sistemas anóxicos: Se denominan así los sistemas en los que la ausencia de O_2 y la presencia de NO_3^- hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones, transformándose, entre otros, en N_2 , elemento completamente inerte. Por tanto es posible, en ciertas condiciones, conseguir una eliminación biológica de nitratos (desnitrificación)

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, existe una gran variedad de formas de operar, dependiendo de las características del agua, así como de la carga orgánica a tratar.

Procesos biológicos aerobios

Tratamientos:

- Cultivos en suspensión: Proceso de fangos activados (lodos activados), y modificaciones en la forma de operar: aireación prolongada, contacto-estabilización, reactor discontinuo secuencial
- Cultivos fijos: Los microorganismos se pueden inmovilizar en la superficie de sólidos (biomasa soportada), destacando los filtros percoladores (también conocido como lechos bacterianos o filtros biológicos)

Fangos activados

En el proceso de fangos activados un residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Al contenido del reactor se le llama líquido mezcla. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor; la masa sobrante es eliminada o purgada puesto que

si no fuera así la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más (Daphne, 1994).

Este proceso consiste en un tratamiento aeróbico que oxida la materia orgánica hasta CO_2 , NH_3 y H_2O y nueva biomasa celular. El aire es aportado por medio de difusores o aireación mecánica. La biomasa celular obtenida forma flóculos que sedimentan en el tanque de clarificación o sedimentación. Este proceso es utilizado a escala mundial como tratamiento biológico secundario para el tratamiento de aguas residuales domésticas (Bitton, 1999) En el proceso de fangos activos intervienen cuatro elementos interrelacionados: Tanque de aireación, fuente de oxígeno, sedimentador secundario, purga y recirculación de lodos.

Procesos biológicos anaerobios

El tratamiento anaeróbico de las aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. La mayor aplicación se halla en la digestión de los fangos de aguas residuales una vez concentrada, así como parte de residuos industriales (McCarthy, 1981).

El modo más usual de operar de una instalación de tratamiento anaeróbico de fango concentrado es la utilización de un reactor de mezcla completa y mínima recirculación celular cuyo objeto es el calentamiento contenido en el tanque.

Los microorganismos causantes de la descomposición de la materia se dividen en dos grupos:

- Bacterias formadoras de ácidos: Estas hidrolizan y fermentan compuestos orgánicos complejos a ácidos simples, de los cuales los más corrientes son el ácido acético y el ácido propiónico
- Bacterias formadoras de metano: Estas convierten los ácidos formados por las bacterias del primer grupo en gas metano y CO_2

Las bacterias más importantes de este grupo (las que devoran los ácidos acético y propiónico) tienen tasas lentas de crecimiento y por ello su metabolismo se considera una limitante de proceso (Scott, 1995).

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS

3.1 Aspectos generales

La empresa productora de alimentos enlatados y colados, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que cuenta con los siguientes equipos: Tamiz inclinado, separador de grasas y aceites, tanque equalizador, selector biológico, tanque de aireación, clarificador, digester de lodos y un filtro prensa. En la figura 3.1.1 se presenta un diagrama de la planta.

El proceso se inicia con el bombeo (bombas ubicadas en un cárcamo de bombeo construido dentro de la planta) desde la planta de producción de las aguas residuales a tratar. Estas ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) a través de un tamiz estático y después son sometidas a un proceso de tratamiento biológico aerobio en el cual se remueve el material biodegradable aun presente en ellas.

La PTAR produce lodos biológicos en exceso los cuales son deshidratados mecánicamente dentro de la PTAR para facilitar su traslado hasta el sitio de disposición final. El agua tratada, se vierte directamente al cuerpo receptor más cercano.

La PTAR maneja hasta $100 \text{ m}^3/\text{día}$ ($1,16 \text{ l/s}$) como caudal promedio de aguas residuales industriales (ARI) con una carga total de $103,5 \text{ kg/día}$ de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) a la entrada del proceso.

3.2 Sistema de tratamiento

Las unidades que integran la PTAR se describen a continuación.

Tamiz inclinado (Separador de sólidos suspendidos)

La llegada de las aguas residuales industriales se hace a través de 2 rejas inclinadas, con hilos metálicos separados cada 1 mm y $0,5 \text{ mm}$ respectivamente. Los sólidos retenidos en la reja son descargados por gravedad en un receptáculo adyacente para su disposición final con los desechos sólidos de la empresa. El tamiz no requiere energía para su operación ya que es estático. El tamiz va instalado en una estructura metálica fabricada en acero

inoxidable. El agua abandona el tamiz por la parte inferior hacia la siguiente unidad. El tamiz seleccionado puede manejar un caudal pico de 7 l/s.

Separador de grasas y aceites

El objetivo es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores. El desaceitado consiste en una separación líquido-líquido, mientras que el desengrase es una separación sólido-líquido. En ambos casos se eliminan mediante insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad.

Tanque ecualizador

Las ARI de un día normal de producción se mezclan dentro del tanque de homogenización. El tanque tiene una capacidad de 68 m³, y está dotado con un sistema de aireación mediante aspiración de aire, con el fin de lograr la homogenización de su contenido y de evitar la aparición de olores molestos. El nivel de este tanque es variable pues su entrada (la llegada de las ARI) también lo es, mientras que el caudal de descarga hacia la siguiente unidad debe ser uniforme: cerca de 1,2 l/s o 64 galones por minuto. La bomba de alimentación a la siguiente unidad operará de manera continua (salvo en condiciones de bajo nivel en el tanque de igualación, en cuyo caso se apagará automáticamente). Las bombas son alternadas en su operación de manera que su desgaste es homogéneo.

Sistema automático de control de pH y de adición de nutrientes

Las aguas residuales de la planta presentan características variables de pH, en general en el intervalo muy ácido. Por esa razón, se cuenta con la adición de soda cáustica como agente neutralizante mediante un sistema de control automático de pH dotado de un sensor primario, un controlador, una bomba dosificadora y un registrador continuo del pH de salida del Tanque de Igualación. Además, el sistema cuenta con un sistema para la adición automática (mediante bomba dosificadora) de los nutrientes requeridos (nitrógeno y fósforo), luego de su preparación manual en tanques apropiados. La cantidad exacta de

nutrientes que se deben agregar debe ser determinada a partir de análisis periódicos de la calidad del agua que llega a la planta de tratamiento. Idealmente, se debe manejar una relación de DBO_5 : TKN: P (Demanda Bioquímica de Oxígeno: Nitrógeno Total Kjeldhal: Fósforo Total) de 100: 5: 1.

Sistema de tratamiento aerobio

El sistema cuenta con un selector biológico, un tanque de aireación, un clarificador secundario, un sistema de aireación mediante equipos de aspiración de aire (sumergidos), sistema de bombeo para la recirculación interna de lodos con su respectivo medidor de flujo.

El selector biológico tiene 8 m^3 de capacidad, con una altura de 3,5 m y cuenta con un fondo inclinado que se conecta con el tanque de aireación. Posee un tiempo de retención de 2 horas y trabaja con concentraciones de oxígeno disuelto cercanas a 2 mg/l. El tanque de aireación tiene un volumen de 175 m^3 . La altura hidráulica del tanque de aireación es de 3,50 m, su largo de 8,6 m y su ancho interno de 7,2 m. El tanque de aireación emplea dos aireadores sumergibles (por aspiración de aire) los cuales utilizan motores de 3,75 kW a 230 voltios trifásico. Bajo condiciones de diseño, los equipos de aireación deben poder entregar 4,72 kg de oxígeno por hora. El clarificador secundario, tiene 1,61 m de largo, 1,22 m de ancho y 2,2 m de altura en la zona de sedimentación. Cuenta con 15 placas de PVC, de 20 mm de espesor, paralelas e igualmente espaciadas, formando un ángulo de 60° con la horizontal. Además cuenta con una bomba sumergible con motor de $\frac{1}{2}$ HP a 115 voltios, para la recirculación interna de lodos. El clarificador secundario posee con una carga superficial de $8,3 \text{ m}^3$ diarios de ARI por cada m^2 de área disponible para sedimentación, y trabaja con un TRH de 6,3 horas. El tanque de captación de lodos sedimentados (ubicado a un costado del clarificador) tiene sección cuadrada de 0,8 m de lado y 2,20 m de profundidad. El clarificador cuenta con una canaleta de sección rectangular de 0,15 m de lado y 1,6 m de largo, para la recolección del efluente. La longitud total de vertederos es de 3,2 m y la carga en vertederos es de $31,3 \text{ m}^3$ diarios por cada metro lineal de vertedero. El sistema biológico posee una relación F:M (Food to Microorganisms o Alimento: Microorganismos) de 0,23 kg de DBO_5 diarios por cada kg de sólidos

suspendidos volátiles, SSV. A condiciones de diseño, la carga orgánica aplicada es de 0,59 kg de DBO₅ diarios por cada m³ de tanque de aireación. El tiempo de residencia hidráulico es de 42 horas y la edad de lodos de 12 días.

El agua tratada sale de la PTAR con menos de 150 mg/l de DBO₅, 150 mg/l de sólidos suspendidos totales y 400 mg/l de DQO de manera que se cumple con la normativa nacional (además se poseen todos los permisos requeridos para el manejo de una PTAR). El agua será filtrada a través de un filtro de anillas con capacidad para retener sólidos mayores a 25 micras. Una vez filtrada, el agua tratada es enviada de nuevo a la fábrica para su reutilización en el riego de áreas verdes.

Sistema para deshidratación de lodos

Una vez que el sistema alcance su madurez (se cuenta con la biomasa requerida, lo cual se observa porque se tiene unos 600 ml/l de sólidos sedimentables en una hora medidos en un cono Imhoff), el exceso de lodos del sistema aerobio debe ser llevado al digester aerobio de lodos de 29,36 m³ de capacidad, previo a su secado final en el sistema de deshidratación manual en patios de secado de lodos de 45 m² de superficie. El digester de lodos emplea un sistema de aspiración de aire de 1,5 kW (2 HP) de potencia para la oxigenación y mezcla completa del lodo. El proceso tiene una edad de lodos de 15 días y un tiempo de retención de 7,44 horas.

3.3 Descripción de la situación actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

La planta cuenta con algunas complicaciones tanto en el diseño de las estructuras como en la operación y mantenimiento que se le han dado. Las de mayor importancia son las siguientes:

- Tanque equalizador: El principal inconveniente en este equipo es que fue diseñado para recibir un caudal pico de 8,4 m³/h o un máximo de 100 m³ en 8 horas, y en la actualidad se manejan caudales de hasta 10 m³/h y 120 m³/d; además en un futuro se planea aumentar la producción de ciertos productos lo que llevaría a un aumento en el caudal hacia la PTAR. Además se cuenta con el problema de formación de

espuma en el tanque. La aparición de la misma no es todos los días por lo que probablemente está sujeta a la elaboración de ciertos productos. Uno de los objetivos de este proyecto es determinar cuál o cuáles productos o procesos (como limpieza de equipos) son los causantes de la espuma, y que procedimientos se deben realizar para la eliminación de la misma. Ver figura 3.3.1

- Tanque de aireación: En este equipo se forman espumas de color marrón. Esto permite el paso de una mayor cantidad de lodos no sedimentados y pobremente compactados hacia el equipo siguiente afectando también su funcionamiento. Existen varios posibles promotores, los cuales se analizarán más adelante con el fin de determinar su solución. Ver figura 3.3.2
- Clarificador: Como se mencionó anteriormente, los lodos pobremente compactados del tanque de aireación provocan inconvenientes en el clarificador. El clarificador cuenta con una canaleta para la recolección del efluente, la misma no debe dejar pasar los lodos (sedimentados y compactados) para que el agua se clarifique; y esto hace que por diversos motivos que se analizarán más adelante, los lodos no solidifiquen y queden dispersos en el agua, de manera que se pasan por la canaleta y el agua no se clarifica. Ver figura 3.3.3



Figura 3.3.1 Espuma en el tanque ecualizador



Figura 3.3.2 Espuma en el tanque de aireación



Figura 3.3.3 Lodos dispersos en la canaleta del clarificador

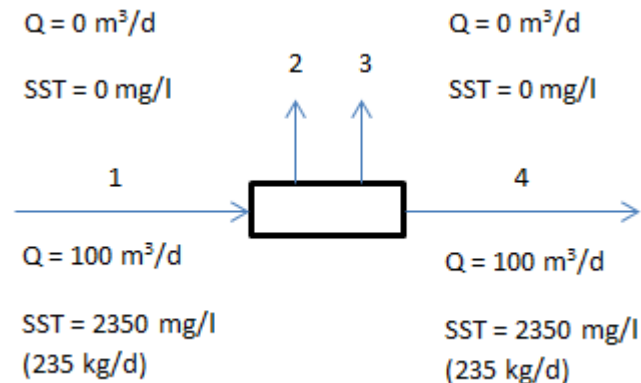
3.4 Balance de masa del diagrama de flujo de la planta actual

Análisis de sólidos suspendidos totales (SST) para la planta actual

Corriente 1, 2, 3, 4

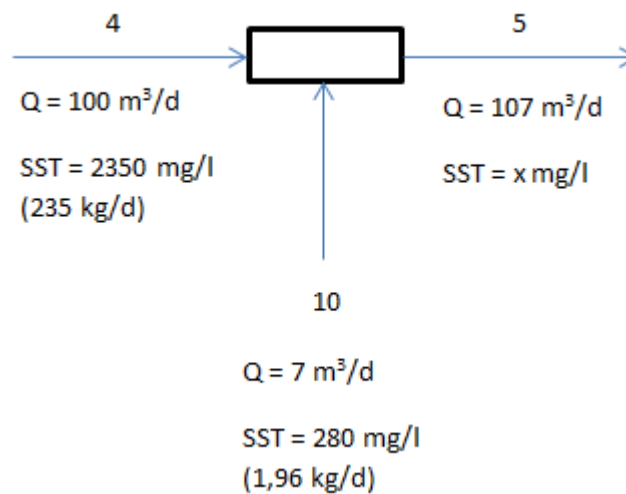
Para empezar se mide el afluente (corriente número uno de $100 \text{ m}^3/\text{d}$) que entra a la planta de tratamiento y se obtiene un valor de 2350 mg/l de SST. Esta corriente pasa por el tamiz y el separador de grasas pero esos equipos no reducen los SST por lo que la corriente cuatro va a tener el mismo valor que el afluente (2350 mg/l).

La corriente dos se utiliza para realizar purgas manuales de desechos sólidos que quedan atrapados en las rejillas del tamiz como por ejemplo: pulpas, cáscaras, papeles, hojas, etc... Mientras que la corriente tres se utiliza para remover las grasas y aceites que vienen con el afluente. Para ambas corrientes se asume un flujo de $0 \text{ m}^3/\text{d}$ debido a que el flujo que sale de esos equipos es muy pequeño y las purgas manuales se realizan con muy poca frecuencia ya que solo son necesarias cuando las rejillas y la trampa de grasas están llenas. Otro factor que influyó para asumir ese flujo fue el hecho que dependiendo del producto que se esté elaborando la producción puede ser muy baja y la cantidad de desechos y grasas también (por ejemplo los colados, jugos y petitpoas que se elaboran en una menor cantidad).



Corriente 4, 5, 10

La corriente cuatro tiene un valor de 2350 mg/l de SST. La corriente diez viene del filtro prensa y tiene un valor de 280 mg/l de SST. De esta manera la corriente cinco se adquiere por medio de un balance entre las corrientes cuatro, diez y cinco, y se consigue un valor de 2214,6 mg/l de SST.



$$(100)(2350) + (7)(280) = (107)(x)$$

$$235000 + 1960 = 107x$$

$$X = 2214,6 \text{ mg/l} (236.96 \text{ kg/d})$$

Corriente 5 y 6

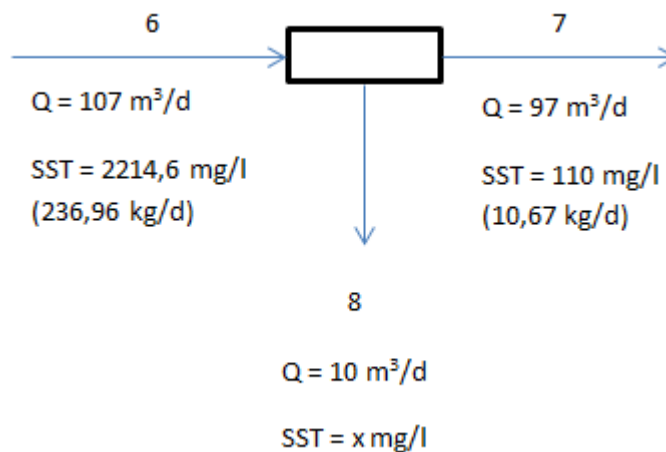
La corriente cinco entra al ecualizador y como este equipo solo homogeniza los caudales, la cantidad de SST de la corriente seis es la misma que los SST de la corriente cinco. Esto quiere decir que es de 2214,6 mg/l.

Corriente 6, 7, 8

La corriente seis es de 2214,6 mg/l de SST y la corriente siete se analiza a la salida del efluente de la planta de tratamiento y se obtiene un valor de 110 mg/l (por debajo del valor de la normativa). Por medio de un balance entra las 3 corrientes se obtiene que la corriente

ocho posee 22629,21 mg/l de SST. Para obtener el volumen de fango de la corriente ocho se utiliza la ecuación 3.4.1 (Martin, M.E., 2007) de esta manera el volumen de lodos es de 5,03 m³/d.

$$V_f = \frac{M_s}{\rho_w S_s W_s} \quad (3.4.1)$$



$$(107) (2214,6) + (97) (110) = (10) (x)$$

$$236962,2 = 10670 + 10x$$

$$X = 22629,2 \text{ mg/l} \text{ (226,29 kg/d)}$$

Lodo

$$\text{Lodo} = \left[\frac{M_{ss}}{(\rho_{H_2O})(S_s)(W_s)} \right] x Q \quad (3.4.2)$$

Nomenclatura:

Q = Caudal de la corriente (m³/d)

M_{ss} = Peso de la masa seca (mg/l)

ρ_{H_2O} = Densidad del agua (kg/m³)

S_s = Peso específico del fango

W_s = Concentración de solidos (%)

Si se tiene que en la corriente ocho hay una concentración de sólidos de un 3%, se obtiene 5,03 m³/d de lodos (utilizando la ecuación 3.4.2)

$$\text{Lodo} = \left[\frac{\left(\frac{22629,2}{1000} \right)}{(1000)(1,5)(0,03)} \right] \times 10 = 5,03 \text{ m}^3/\text{d}$$

Es importante aclarar que en el clarificador hay una recirculación que no se incluyó en el diagrama debido a que se realiza con muy poca frecuencia, solo cuando el agua que sale del equipo no cumple con los estándares de vertido.

Corriente 8,9

La corriente ocho se obtuvo del balance anterior (22629,21 mg/l de SST), y para obtener el valor de la corriente nueve se utiliza la ecuación 3.4.3 (Celenza, G.J., 2000). Se obtiene un valor de 22630,45 mg/l de SST.

$$V = \frac{Q_P * X_o * SRT}{X_w [1 + K_d * SRT]} \quad (3.4.3)$$

Nomenclatura:

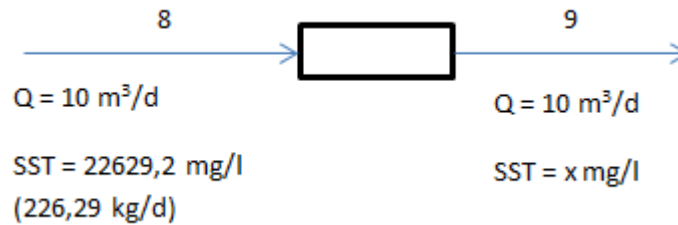
Q_p = Caudal punta (m³/d)

X_o = SST de entrada (mg/l)

SRT = Tiempo de retención del equipo (d)

X_w = SST de salida (mg/l)

K_d = Constante de reacción (d⁻¹)



$$V = \frac{(100) * (22629,2) * (0,31)}{(29,36)[1 + (0,18) * (0,31)]} = 22630,45 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \left(226,30 \frac{\text{kg}}{\text{d}}\right)$$

Lodo

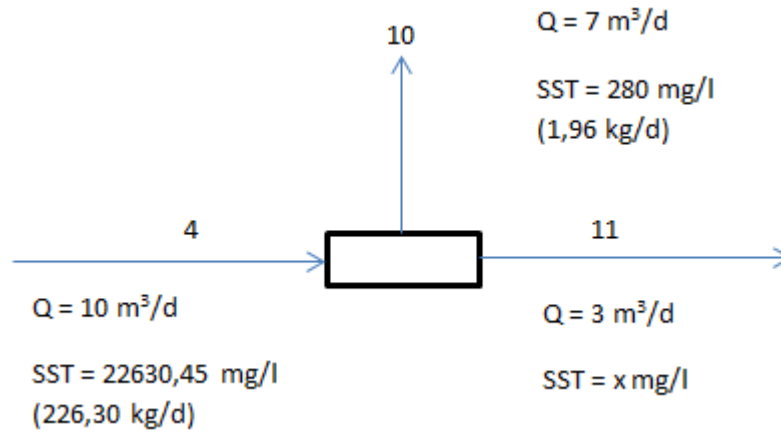
En la corriente nueve hay una concentración de sólidos de un 5%, de manera que se obtiene 3,02 m³/d de lodos (utilizando la ecuación 1.1)

$$\text{Lodo} = \left[\frac{M_{ss}}{(\rho_{H_2O})(S_o)(W_s)} \right] x Q$$

$$\text{Lodo} = \left[\frac{\left(\frac{22630,45}{1000} \right)}{(1000)(1,5)(0,05)} \right] x 10 = 3,02 \text{ m}^3/\text{d}$$

Corriente 9, 10, 11

Del cálculo anterior se obtiene que la corriente nueve posee 22630,45 mg/l de SST y la corriente diez tiene 280 mg/l de SST como se había mencionado anteriormente. Por medio de un balance se encuentra la cantidad de sólidos suspendidos totales de la corriente once que sería de 74781,5 mg/l.



$$(10)(22630,45) = (7)(280) + (3)(x)$$

$$226304,5 = 1960 + 3x$$

$$X = 74781,5 \text{ mg/l (224,34 kg/d)}$$

Lodo

Si se tiene que en la corriente nueve hay una concentración de sólidos de un 6,2%, se obtiene 2,41 m³/d de lodos (utilizando la ecuación 3.4.2)

$$\text{Lodo} = \left[\frac{M_{ss}}{(\rho_{H_2O})(S_o)(W_s)} \right] \times Q$$

$$\text{Lodo} = \left[\frac{\left(\frac{74781,5}{1000} \right)}{(1000)(1,5)(0,062)} \right] \times 3 = 2,41 \text{ m}^3/\text{d}$$

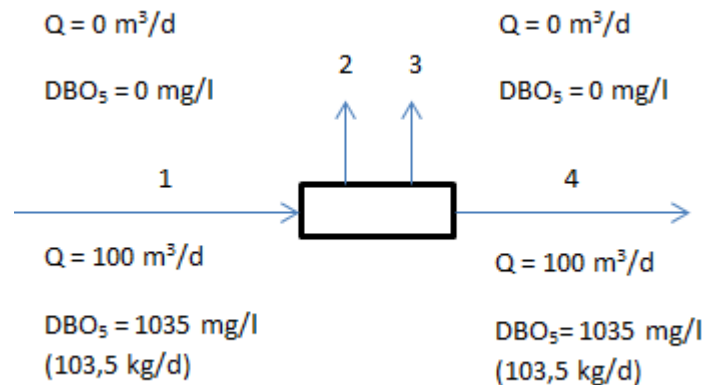
Análisis de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) para la planta actual

Corriente 1, 2, 3, 4

Para empezar se mide el afluente (corriente número uno de 100 m³/d) que entra a la planta de tratamiento y se obtiene un valor de 1035 mg/l de DBO₅. Esta corriente pasa por

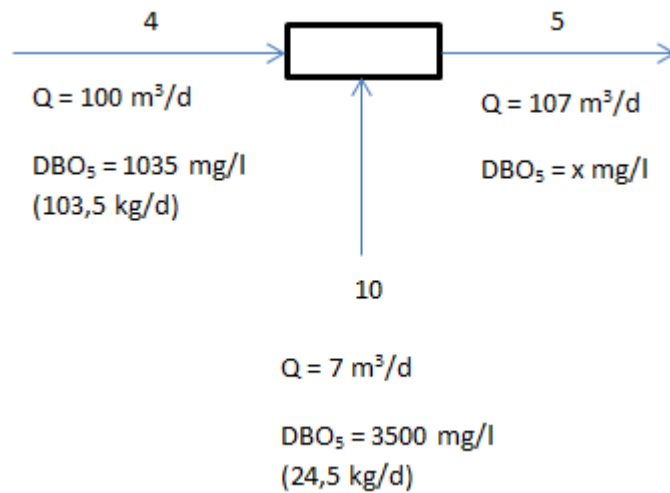
el tamiz y el separador de grasas pero esos equipos no reducen la DBO_5 por lo q la corriente cuatro va a tener el mismo valor que el afluente (1035 mg/l).

La corriente dos se utiliza para realizar purgas manuales de desechos sólidos que quedan atrapados en las rejillas del tamiz como por ejemplo: pulpas, cáscaras, papeles, hojas, etc... Mientras que la corriente tres se utiliza para remover las grasas y aceites que vienen con el afluente. Para ambas corrientes se asume un flujo de $0 \text{ m}^3/\text{d}$ debido a que el flujo que sale de esos equipos es muy pequeño y las purgas manuales se realizan con muy poca frecuencia ya que solo son necesarias cuando las rejillas y la trampa de grasas están llenas. Otro factor que influyó para asumir ese flujo fue el hecho que dependiendo del producto que se esté elaborando la producción puede ser muy baja y la cantidad de desechos y grasas también (por ejemplo los colados, jugos y petitpoas que se elaboran en una menor cantidad).



Corriente 4, 5, 10

Como se dijo anteriormente la corriente cuatro tiene un valor de 1035 mg/l de DBO_5 . La corriente diez viene del filtro prensa y se mide para obtener un valor de 3500 mg/l de DBO_5 . De esta manera la corriente cinco se consigue por medio de un balance entre las corrientes cuatro, diez y cinco y se logra un valor de $1196,3 \text{ mg/l}$ de DBO_5 .



$$(100)(1035) + (7)(3500) = (107)(x)$$

$$103500 + 24500 = 107x$$

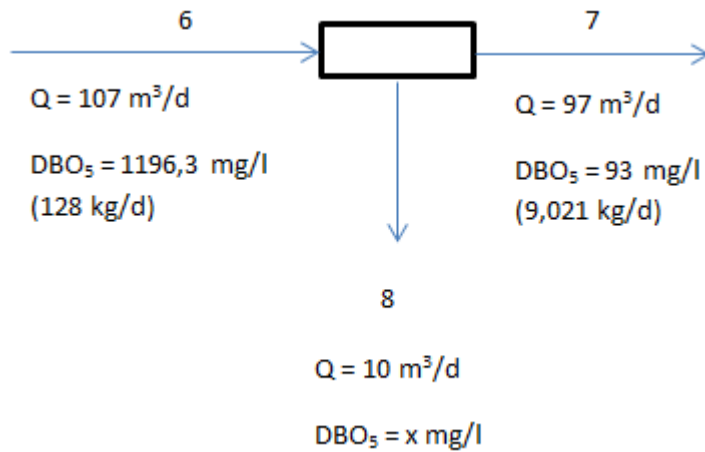
$$X = 1196.3 \text{ mg/l (128 kg/d)}$$

Corriente 5 y 6

La corriente cinco entra al ecualizador y como este equipo solo homogeniza los caudales, la cantidad de DBO_5 de la corriente seis es la misma que la de la corriente cinco esto quiere decir que es de 1196,3 mg/l.

Corriente 6, 7, 8

La corriente seis es de 1196,3 mg/l de DBO_5 y la corriente siete se analiza a la salida del efluente de la planta de tratamiento y se obtiene un valor de 93 mg/l (por debajo del valor de la normativa). Por medio de un balance entra las tres corrientes se obtiene que la corriente ocho posee 11898,31 mg/l de DBO_5 .



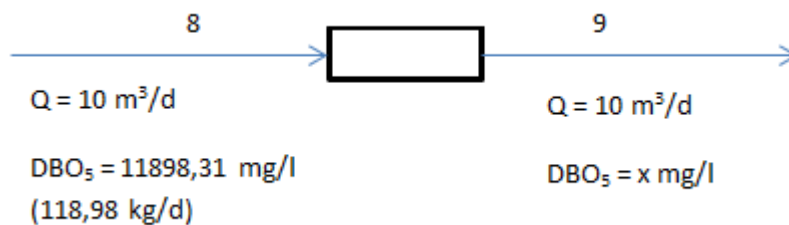
$$(107)(1196.3) = (97)(93) + (10)(x)$$

$$128004,1 = 9021 + 10x$$

$$X = 11898,31 \text{ mg/l (118,98 kg/d)}$$

Corriente 8,9

Se tiene que la corriente ocho posee 11898,31 mg/l de DBO_5 , y ya que la corriente nueve tiene el mismo flujo por medio de un balance se obtiene un valor de 11898,31 mg/l de DBO_5 para esta ultima.

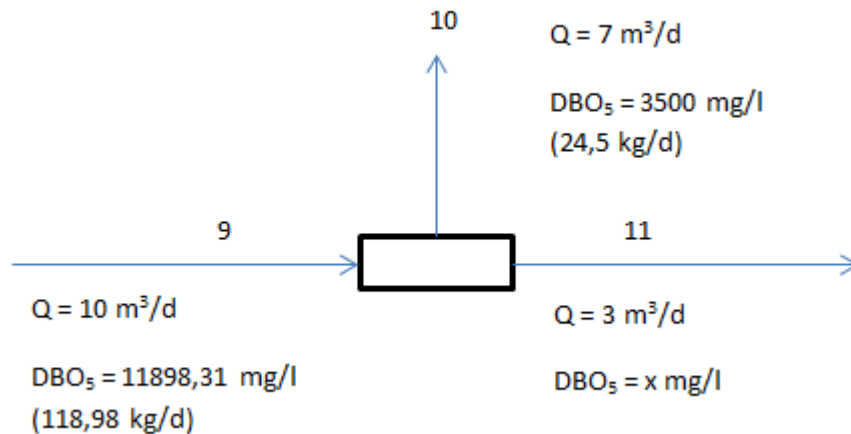


$$(10)(11898,31) = (10)(X)$$

$$X = 11898,31 \text{ mg/l (118,98 kg/d)}$$

Corriente 9, 10, 11

Del cálculo anterior se obtuvo que la corriente nueve posee 11898,31 mg/l de DBO₅ y la corriente diez tiene 3500 mg/l de DBO₅ como se había mencionado anteriormente. Por medio de un balance se encuentra la cantidad de DBO₅ de la corriente once que sería de 31494,4 mg/l.



$$(10)(11898,31) = (7)(3500) + (3)(x)$$

$$118983,1 = 24500 + 3x$$

$$X = 31494,4 \text{ mg/l} \text{ (94,48 kg/d)}$$

Análisis de los desechos sólidos (pulpas, cáscaras, papeles, hojas, etc.) para la planta actual (corriente 2)

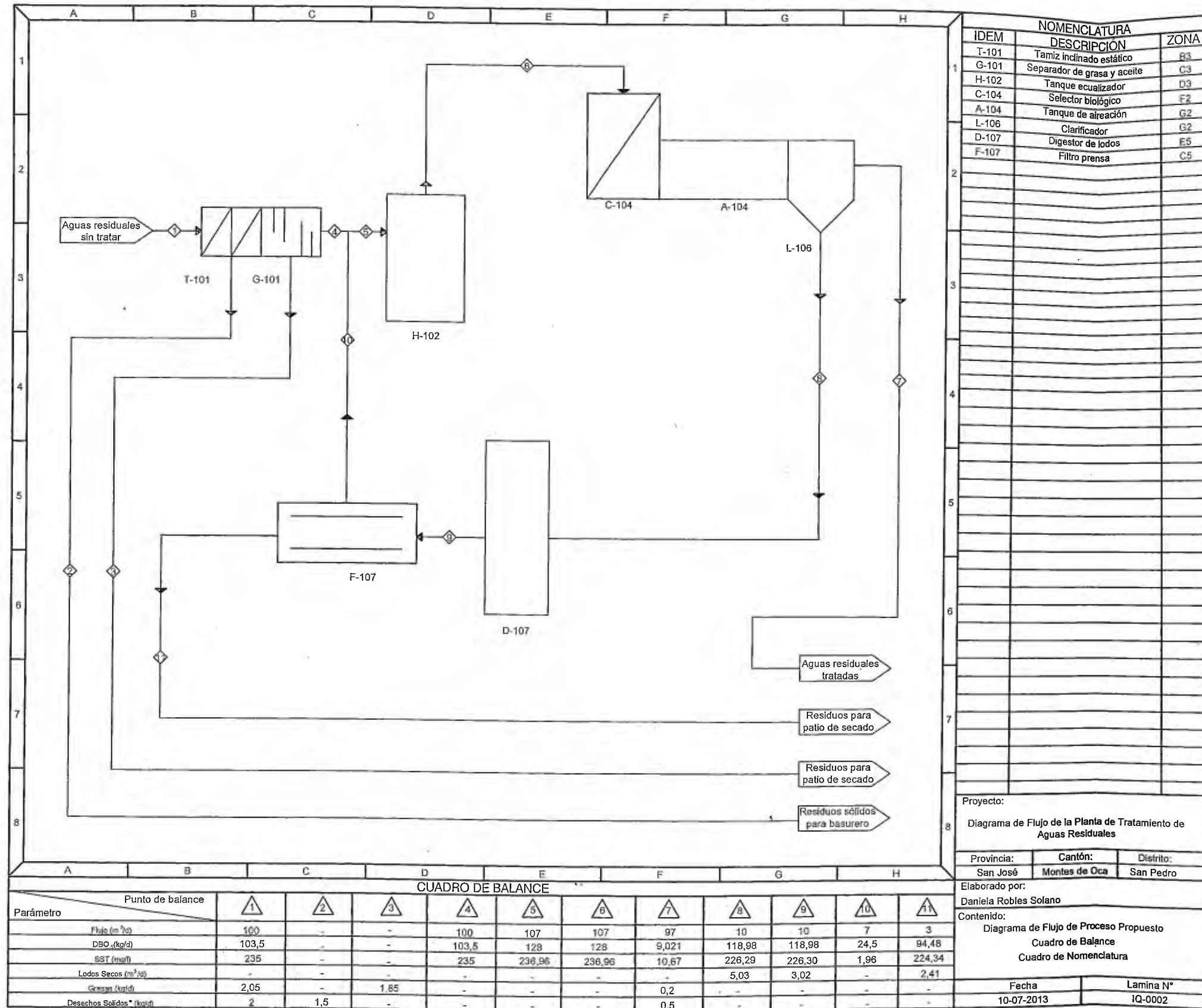
Se mide y entran 2 kg/d de desechos y se sabe que el equipo tiene una eficiencia de 75% lo que da una remoción de 1,5 kg/d que salen por la corriente dos y el resto de sólidos (0,5 kg/d) salen por la corriente siete.

$$(2)(0,75) = 1,5 \text{ kg/d}$$

Análisis de grasas y aceites para la planta actual (corriente 3)

Se mide y entran 2,05 kg/d de grasas y aceites y se sabe que el equipo tiene una eficiencia de 90%, lo que da una remoción de 1,85 kg/d que salen por la corriente tres y el resto (0,2 kg/d) salen por la corriente siete.

$$(2,05)(0,90) = 1,85 \text{ kg/d}$$



*Los desechos sólidos son por ejemplo: papeles, pulpas, cascara, etc
 Figura 3.4.1 Diagrama de la planta de aguas residuales actual (Robles,2013)

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y EQUIPOS

Para el proceso de evaluación del sistema actual de tratamiento de aguas residuales de la planta productora de alimentos enlatados y colados se tomó en cuenta el funcionamiento, estado, mantenimiento y operación de la misma.

Para realizar dicha evaluación fue necesario llevar a cabo muestreos de las aguas con el fin de determinar las propiedades físicas, químicas y térmicas del efluente de la planta, para comprobar que éstas cumplen con la normativa nacional.

4.1 Puntos de muestreo

En la planta de tratamiento se localizaron 3 posibles puntos de muestreo: agua pretratada (agua en el tanque de igualación), agua semitratada (agua en el clarificador) y agua tratada (agua que sale de la planta al cuerpo receptor). Es importante aclarar que no se pudo realizar un muestreo de las aguas crudas (entrada de las aguas a la planta) debido a que el acceso era muy difícil, por lo cual el punto de muestreo que se utilizó en su lugar fue el del agua pretratada.

4.2 Medición de caudal

Para la medición de caudal, esta solo se pudo realizar para el efluente debido que el afluente nunca era constante por lo que en varios momentos del día este fue casi imposible de medir; pero como la planta fue diseñada para entregar un caudal constante a la salida se supuso que este es el mismo que el de entrada. Se utilizó un medidor de flujo localizado después del clarificador.

4.3 Forma de muestreo

Las muestras de agua consistieron en muestras compuestas por 8 muestras puntuales obtenidas los días 20 y 27 de Febrero y 5 y 12 de Marzo del 2012 en un intervalo de muestreo de una hora (empezando desde las 8 am hasta las 3 pm), de manera que se garantizó que las muestras a analizar eran representativas de un día de producción. El agua

analizada es la que obtuvo a la salida de la planta y desemboca en el río aledaño a la empresa. Además se analizó el agua del tanque de igualación ya que en dicho proceso se cuenta con problemas de espumado y como consecuencia crea problemas de sedimentación en el clarificador. Hay que aclarar que las aguas producidas por la empresa son heterogéneas, ya que varían bastante dependiendo del producto elaborado (hay alrededor de 15 productos), motivo por el cual el análisis de aguas se tuvo que realizar en varios días con el fin de obtener la mayor veracidad en los resultados.

Se contó con los análisis hechos por un laboratorio privado, además, de los análisis realizados en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química en la Universidad de Costa Rica.

4.4 Parámetros fisicoquímicos

Sólidos totales, sólidos sedimentables y sólidos disueltos

Para determinar la cantidad de sólidos totales dentro de la muestra analizada, se llevaron unos crisoles a masa constante y luego se depositó una cantidad determinada de muestra en los mismos (después de evaporar el agua de la muestra a 103- 105 °C); por medio de diferencia de masas se obtuvo la cantidad de sólidos totales presentes.

Para determinar los sólidos sedimentables se utilizó un Cono Imhoff, el volumen de sólidos depositados en el fondo al cabo de 1 hora fueron los sólidos sedimentables.

Con respecto a los sólidos disueltos (filtrables) se realizó el mismo procedimiento que para los sólidos totales pero la muestra se filtró previamente. Es importante señalar que los sólidos no filtrables constituyen los sólidos suspendidos totales ya que los sólidos en suspensión no pueden ser eliminados por filtración.

Demanda química de oxígeno

Para obtener el DQO, se usó una mezcla de $(K_2Cr_2O_7)$ - H_2SO_4 (porque es capaz de oxidar la mayoría de los tipos de materia orgánica), se mezcló la misma con la muestra de agua y se colocó en un digestor por 2 horas a 150 °C (se realiza un blanco también). Para finalizar se colocó la muestra en el espectrofotómetro para obtener el DQO presente en la muestra.

Demanda bioquímica de oxígeno

El análisis se realizó llenando las botellas del equipo para medir DBO con una cantidad determinada (depende del rango de DBO en que se espera esté la muestra de agua) de la muestra de agua recolectada, ésta se diluyó con una solución especial para asegurar la disponibilidad de nutrientes y oxígeno durante el periodo de incubación. Se selló la muestra y se mantuvo a 20 °C por 5 días en la oscuridad y al cabo de ese tiempo se midió el oxígeno disuelto.

4.5 Equipo

En el siguiente cuadro se muestran los equipos utilizados a lo largo del proyecto.

Cuadro 4.5.1 Equipo de laboratorio utilizado en el análisis del efluente de la PTAR

Equipo	Fabricante	Ámbito	Placa UCR
Water Checker U-10	Horiba	--	163923
Cod Reactor Power	Hach Company	105 °C	174446
DBO ₅	Hach Company	20 °C	173485
DQO	Hach Company	150 °C	317580
O ₂	Dakton	--	320391
Spectrofotómetro	Hach Company	(0-100)%	174447

4.6 Costos de la investigación

Los reactivos y equipos utilizados pertenecen al Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica. Además los análisis realizados por la empresa privada fueron costeados por la misma.

CAPÍTULO 5

CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES

5.1 Caracterización y cuantificación de efluentes

Se llevaron a cabo 3 muestreos compuestos a la salida de la planta de tratamiento, con el fin de establecer que se cumple con los requerimientos de la normativa nacional de Vertido y Reuso de Aguas Residuales número 33601-MINAE-S. En el cuadro 5.1.1 se muestran los valores promedio de los tres muestreos realizados para los parámetros fisicoquímicos, así como para el caudal medido durante dicho muestreo.

Cuadro 5.1.1 Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 20 de Febrero del 2012

Parámetro	Valor	Límite máximo permisible
Q(m ³ /d)	62,2	--
pH	6,7	5-9
T (°C)	26,1	40
DBO ₅ (mg/l)	70	150
DQO (mg/l)	110	400
ST(mg/l)	1100	-
SD (mg/l)	1050	-
SST(mg/l)	50	150
SS (ml/l)	0,2	1
GA (mg/l)	5	30

Cuadro 5.1.2 Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 27 de Febrero del 2012

Parámetro	Valor	Límite máximo permisible
Q (m ³ /d)	67,8	--
pH	6,7	5-9
T (°C)	26,8	40
DBO ₅ (mg/l)	18	150
DQO (mg/l)	120	400
ST (mg/l)	950	-
SD (mg/l)	900	-
SST(mg/l)	50	150
SS (mg/l)	0,15	1
GA (mg/l)	3	30

Cuadro 5.1.3 Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 5 de Marzo del 2012

Parámetro	Valor	Límite máximo permisible
Q (m ³ /d)	62,9	--
pH	6,8	5-9
T (°C)	26,1	40
DBO ₅ (mg/l)	22	150
DQO (mg/l)	45	400
ST (mg/l)	1200	-
SD (mg/l)	1150	-
SST(mg/l)	50	150
SS (mg/l)	0,13	1
GA (mg/l)	3	30

De los cuadros 5.1.1 al 5.1.3 se observa como el pH y la temperatura de las 3 muestras recolectadas son muy similares; además se puede observar que ambos parámetros se encuentran dentro del rango permitido por la legislación nacional, siendo así para el pH 5-9 y para la temperatura 15-40 °C. Es importante aclarar que en si las aguas crudas que entran a la planta de tratamiento de aguas son de carácter ácido, y es necesario adicionar soda cáustica para neutralizarlas y así obtener valores adecuados de pH en el efluente de la planta.

Con respecto al DBO₅ y al DQO ambos cumplieron con lo estipulado con la normativa para este tipo de industria según el código CIUU 3411 y CIUU 3412, siendo 150 mg/l y 400 mg/l respectivamente. Como bien se sabe la prueba para medir el DBO₅ requiere 5 días para obtener el resultado, mientras que la del DQO solo requiere un máximo de 3 horas, esta es la primordial razón por la que muchas veces se busca una relación entre ambos parámetros que permita obtener un valor de DBO₅ a partir de un valor conocido de DQO. Desde luego, la muestra de agua deberá provenir siempre del mismo origen, y tener dentro de un estrecho margen de variación, las mismas cualidades entre cada muestreo y análisis efectuado. En este caso en particular este método no es muy recomendado porque ambos parámetros varían bastante dependiendo del producto que se esté elaborando.

Los siguientes parámetros de interés son los sólidos suspendidos totales y los sólidos sedimentables, y ambos estuvieron dentro del ámbito establecido por la normativa para la descarga de efluentes.

Otro aspecto importante es el caudal. Es de interés para este proyecto porque en los días que la planta elabora una gran cantidad de productos esta genera un caudal mayor a su valor de diseño que es 100 m³/d. Esto llega a ser de gran importancia porque además de que en el presente se sobrepasa el caudal de diseño, actualmente se está pensando en crear nuevos productos en la empresa, lo que excedería aún más el caudal de diseño, de manera que hay que redimensionar la planta como se verá en los próximos capítulos.

En conclusión el análisis realizado al efluente de la planta de tratamiento de aguas demuestra como la misma sí cumple con los parámetros establecidos por la normativa de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. El siguiente paso es evaluar las condiciones de desempeño de la planta actual con el fin de encontrar los parámetros que están provocando los inconvenientes de la PTAR, y así poder buscar las soluciones de los mismos.

5.2 Evaluación de las condiciones de desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales actual

La evaluación de las condiciones de desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales se hizo por medio de visitas diarias a la misma durante 6 meses. Durante las horas de producción se vigila la PTAR con el fin de ver su comportamiento a la hora de procesar las aguas. Se lleva un registro igual al adjunto al anexo A.1 además de otras anotaciones personales. También se anotan todas las anomalías y problemas que se presenten con el fin de determinar cuales son las condiciones usuales y cuales son los inconvenientes que presenta.

Al cabo de los 6 meses se cuenta con la información suficiente para generar una idea del desempeño de los equipos respecto a sus instalaciones, como del mantenimiento y funcionamiento de los mismos. Además se toma en cuenta todo el conocimiento previo de los 6 meses de evaluación que posee la operaria de la planta, ya que esto es de gran ayuda para generar una idea más completa del funcionamiento y de las condiciones que se consideran anormales en la misma.

Evaluación del mantenimiento y operación

El mantenimiento y operación de la planta es muy bueno ya que cuentan con un encargado de la misma que trabaja de 8 am hasta las 5 pm. Durante ese tiempo el encargado

realiza la limpieza de las rejillas cada vez que las ve saturadas, al igual que para la trampa de grasas. También se encarga de la alimentación de nutrientes y de realizar los reciclos y purgas en el tanque de aireación. Otra de sus labores es manejar el filtro prensa y disponer los lodos compactados en el patio de secado.

Evaluación del tamiz inclinado y trampa de grasas

En cuanto al estado de las instalaciones se refiere la planta se encuentra en muy buenas condiciones. El equipo del tratamiento primario se encuentra bastante limpio, las rejillas aunque contienen sólidos, no están saturadas. El tamiz se inspecciona cada hora con el fin de evaluar su estado y decidir si es momento de eliminar los sólidos retenidos. Además la trampa de grasas no posee ningún mal olor ni está obstruida.

Evaluación del tanque de igualación

El tanque de igualación maneja algunas veces caudales mayores a los que fue diseñado, generando una mala homogenización de las aguas y una carga orgánica variante lo que provoca serios problemas en los equipos que le siguen.

Otro detalle es que el tanque ocasionalmente presenta mucha espuma. Se cree que la formación de la misma se debe a la elaboración de ciertos productos o al uso de algunos artículos utilizados durante las labores de producción o limpieza en la planta.

Revisando los reportes operacionales de la PTAR y relacionándolos con los programas de producción de la planta, se encontró que la espuma aparece cuando se elabora el producto "A".

Este producto posee saponinas que son glucósidos de esteroides o de triterpenoides, llamadas así por sus propiedades semejantes a las del jabón: cada molécula está constituida por un elemento soluble en lípidos (el esteroide (neutra) o el triterpenoide (ácida)) y un elemento soluble en agua (el azúcar), y forman una espuma cuando se las agita en agua. Las saponinas forman micelas y cambian la tensión superficial de los líquidos. Su tamaño molecular se encuentra entre los 600 Da y los 2700 Da, pero cuando forman micelas pueden llegar a tener un peso molecular entre 70 y 150 KDa. Se ven afectas al pH

de la solución, ya que a altos pH sufren hidrólisis, formándose saponinas de menor peso molecular.

Evaluación del tanque de aireación y clarificador

El tanque de aireación presenta ocasionalmente espuma color marrón, la cual permite el paso de una mayor cantidad de lodos no sedimentados y pobremente compactados hacia el clarificador. Con el fin de establecer los parámetros básicos fisicoquímicos que pueden dar indicios de cual es la causa de los problemas que poseen ambos equipos, se procedió a caracterizar y cuantificar el efluente de ambos.

En el cuadro 5.2.1 se muestran los valores obtenidos en el muestreo realizado para los parámetros fisicoquímicos, así como para el caudal medido durante dicho muestreo.

Cuadro 5.2.1 Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante el muestreo el día 12 de Marzo del 2012

Parámetro	Valor
Q (m ³ /d)	110
pH	7
T (°C)	25
DBO ₅ (mg/l)	100
DQO (mg/l)	240
ST (mg/l)	6500
SD (mg/l)	3500
SST(mg/l)	3000
SS (ml/l)	700
GA (mg/l)	7

El pH es un parámetro crítico en el crecimiento de microorganismos ya que cada tipo de microorganismo puede crecer en un intervalo estrecho de pH fuera del cual mueren rápidamente. El pH de la PTAR es de 7 el cual es el valor recomendado por la literatura. Con respecto a la temperatura, se sabe que cada microorganismo tiene una temperatura de crecimiento adecuada. Si se estudia la variación de la velocidad de crecimiento en función de la temperatura de cultivo, se puede observar una temperatura mínima por debajo de la que no hay crecimiento; a temperaturas mayores se produce un incremento de la velocidad de crecimiento con la temperatura de cultivo hasta que se alcanza la temperatura óptima a

la que la velocidad es máxima. Por encima de esta temperatura óptima, la velocidad de crecimiento decae bruscamente y se produce la muerte celular. En la planta, el tanque de aireación trabaja a 25 °C la cual se encuentra dentro del intervalo aceptable de temperatura para el crecimiento adecuado de microorganismos.

Con respecto al DBO₅ y al DQO ambos presentan valores debajo del límite estipulado por la normativa para este tipo de industria, siendo 150 mg/l y 400 mg/l respectivamente. Si el DBO₅ hubiera dado un valor bajo (este no es el caso) es que el tanque de aireación presenta problemas de oxigenación y por consiguiente puede presentar problemas de microorganismos filamentosos ya que estos sí pueden proliferar con valores bajos de DBO₅ pero no los microorganismos esféricos que forman los flóculos.

Los siguientes parámetros de interés son los sólidos suspendidos totales y los sólidos sedimentables. Ambos presentan problemas, principalmente los sólidos suspendidos con un valor de 3000 mg/l que aunque ese es el valor de diseño de la planta actual este es en realidad un valor muy elevado, lo que indica posiblemente un problema de diseño del equipo el cual está provocando la aparición de la espuma marrón. Al existir un exceso de sólidos suspendidos se produce una espuma marrón y una sedimentación más lenta y pobre de los lodos.

También se realizó la medición del oxígeno disuelto en el tanque de aireación, este dio 2 mg/l, y el valor mínimo requerido por el equipo según la literatura para que exista una buena oxigenación para los microorganismos es de 1,5 mg/l (Meltcalf, 1995). De esta manera se puede descartar que los problemas de espuma sean causados por el oxígeno disuelto. Si el oxígeno disuelto hubiera sido 1 se daría la aparición de filamentosas, y si fuera 4 el movimiento de la masa por el aire puede llegar a romper los flóculos además de aumentar el consumo energético.

Además de los parámetros anteriores existen otros posibles promotores que hay que analizar, con el fin de determinar los verdaderos responsables de los problemas del tanque de aireación y del clarificador. Dichos parámetros se mencionan a continuación.

- Relación poco equilibrada de nutrientes: Para esto se deben comprobar los niveles tanto de nitrógeno como de fósforo, puesto que se sabe que la presencia de cantidades insuficientes de uno o ambos de ellos favorece el desarrollo del fango

voluminoso, además ambos nutrientes son necesarios para dar una buena alimentación a los microorganismos para que puedan vivir y cumplan sus labores de separación. Los microorganismos necesitan sustratos para que se encarguen del crecimiento de nuevas células y el mantenimiento de los tejidos y para la producción de energía para todas las reacciones internas y externas de las células. En la PTAR se administra una relación 100:5:1 de DBO₅: TKN: P (Demanda Bioquímica de Oxígeno: Nitrógeno Total Kjeldhal: Fósforo Total). Se tiene que la carga contaminante de la PTAR es de 103,5 kg DBO₅/d, y siguiendo la relación estequiométrica anterior se obtiene (ver apéndice C.15) que se deberían dosificar 5175 g de N y 1035 g de P (menos 3700 g de N y 430 g de P que posee el caudal afluente) dando así 1475 g de N y 605 g de P. Actualmente se dosifican 1,5 kg de N y 600 g de P por lo tanto la relación de nutrientes es la adecuada.

- Relación alimentos/microorganismos (F/M): Los valores bajos de la relación F/M pueden favorecer el crecimiento de determinados organismos filamentosos, los valores elevados de la relación F/M pueden provocar la presencia de flóculos dispersos de dimensiones reducidas. Para los lodos activados convencionales la F/M óptima va de 0,2 a 0,6 kg DBO/kg SSV (Ramalho, 1996). Ésta relación se revisó según los datos de diseño y los parámetros obtenidos en los muestreos y se obtuvo 0,23 kg DBO/kg SSV (ver apéndice C.9), valor que se encuentra dentro del intervalo óptimo.
- Variaciones de carga orgánica: Para la PTAR la variación de este parámetro puede generar muchos problemas ya que la misma se diseñó para una cantidad determinada de carga orgánica y si este valor cambia bruscamente las condiciones del tanque de aireación también lo hacen y se generan problemas principalmente con los microorganismos. La planta cuenta con un tanque equalizador que provee un caudal constante y homogenizado que permite regular la carga orgánica que se alimenta al sistema biológico. Actualmente este parámetro no genera ningún problema a la planta pero en un futuro sí podría serlo, ya que se planea incrementar la producción y por lo tanto el caudal que ingresa al tanque equalizador, de manera

que las condiciones de diseño ya no se cumplirían y el equipo no funcionaría adecuadamente.

- Sobrecarga interna: De igual manera que el parámetro anterior, actualmente este no es un inconveniente para la planta pero en un futuro sí lo podría ser debido al aumento de la producción y por ende de caudal.
- Purga: La producción diaria de fango se debe purgar del sistema para mantener una relación alimento/microorganismos o un tiempo medio de retención celular predeterminado. La práctica más común es purgar el fango desde la línea de recirculación, puesto que se trata de fango más concentrado y precisa de sistemas de bombeo de menor capacidad. El fango purgado se descarga al digestor de lodos. La purga se realiza según lo estipulado en el manual de la PTAR, y no presenta ningún problema. Adicionalmente se sugiere que cuando haya una cantidad elevada de sólidos suspendidos (mucho mayor a los 600 ml/l) se realicen las purgas más seguido
- La edad del fango: Este parámetro es específico para cada planta y se fija con la experiencia y con lo recomendado por el diseño. Se busca cumplir con criterios como buena sedimentación, alta tasa de respiración, cultivo apropiado de microorganismos, etc. Basándose en los criterios previamente mencionados la planta cuenta con una edad de fango adecuada. Además el tiempo estándar para un proceso de lodos activos convencionales es de 5-15 días (Metcalf, 1995), y el de la PTAR es de 12 días por lo que se encuentra dentro del intervalo estipulado por la literatura
- Grasa y aceites: Cuando el ingreso de grasas al sistema de tratamiento se da en altas concentraciones provoca espuma y además problemas de sedimentación, porque las moléculas de las diferentes grasas y aceites se introducen dentro de los flóculos de los lodos. Estas al tener menor densidad que el agua provoca que los lodos floten en vez de sedimentar, lo que ocasiona problemas con la calidad del efluente. El análisis de laboratorio indicó que las grasas y aceites de la planta es de 4,5 mg/l siendo un valor muy bajo, motivo por el cual este parámetro se puede eliminar como causante de los problemas de la PTAR

- Presencia de organismos filamentosos: Los organismos filamentosos tienden a flotar descompensando totalmente el funcionamiento de los fangos en el tanque de aireación. Algunos microorganismos filamentosos crecen dentro de los flóculos, creando una estructura abierta y dentro de la misma queda retenida agua. Esto contribuye a disminuir la densidad de los flóculos y por lo tanto los barros presentan una baja velocidad de sedimentación. En el país se realizan análisis (con microscopio) de la mayoría de los microorganismos filamentosos solo si se conoce el nombre específico del organismo a analizar, en este caso se desconoce el nombre por lo que se procede a utilizar otro método de análisis. El método consistió en rociar cloro a la espuma, si se observaba un cambio notorio en el color de la misma (como amarillo) se considera que hay una presencia excesiva de filamentosas, de lo contrario la cantidad es normal; al hacerlo el cambio de color fue mínimo por lo que se considera que no hay exceso de filamentosas de manera que este no es un factor que afecte la planta

De esta manera al analizar todos los parámetros anteriores, se llega a la conclusión de que el causante de los problemas de espumado y mala sedimentación son los sólidos suspendidos. Una vez establecido esto se puede proceder a proponer las soluciones.

CAPÍTULO 6

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS PRETRATADAS

En este capítulo se presentarán las propuestas a los inconvenientes que presenta la planta de tratamiento de aguas residuales, así como el dimensionamiento y características de cada una de las unidades propuestas para la PTAR.

6.1 Alternativas para la planta de tratamiento de desechos

Tanque ecualizador

Como se explicó anteriormente el causante de la espuma en el tanque ecualizador es la elaboración del producto “A”. El principal problema con este producto es que las saponinas son las causantes de la espuma y estas son parte de su estructura por lo que no se puede hacer nada para eliminar la producción de espuma; lo que sí se puede hacer es reducir la misma una vez que aparece mediante la adición de agua sobre la espuma en el tanque ecualizador por medio de rociadores automáticos. Como el problema no se da siempre y la empresa no quiere hacer un gasto de dinero en algo que se puede solucionar de una manera más económica, se opta por rociar agua de manera manual con una manguera. El agua necesaria para eliminar la espuma proviene de la caseta del encargado de la PTAR.

Además se tiene que aunque actualmente el aumento de caudal no genera un problema en la planta, en un futuro si lo hará (debido al aumento de la producción de ciertos productos) por lo que se debe redimensionar la PTAR para que pueda soportar ese aumento en el caudal. Más adelante en este capítulo se procederá al redimensionamiento mencionado.

Tanque de aireación y clarificador

Después de realizar un análisis completo del sistema de la planta, comprobando punto por punto si los parámetros coincidían con los del diseño (C_m , TRH, C_v , Pr, E_f , F/M, etc.), se llegó a la conclusión que el parámetro causante de los problemas de espumado y sedimentación de lodos en el tanque de aireación y el clarificador respectivamente son los

sólidos suspendidos. Además se sugiere solucionar un posible problema a futuro de sobrecarga interna y variación de carga orgánica por medio de un redimensionamiento de la planta.

Una vez definido el causante de los inconvenientes de la planta, se opta por modificar el siguiente parámetro de funcionamiento del tratamiento biológico:

- Sólidos suspendidos: Para mantener éste parámetro en un nivel adecuado se sugiere incorporar un sedimentador primario con una malla catiónica al equipo de la PTAR, con el fin de una mejor eliminación de sólidos suspendidos en las aguas. Una malla catiónica es un coagulador-floculador preparado con base en un polielectrolito, que al hidratarse forma una estructura molecular muy grande (tipo malla) que atrapa las partículas y las sedimenta. Al polielectrolito catiónico se le llama así porque lleva cargas positivas que neutralizan directamente los coloides negativos. Los polielectrolitos catiónicos se emplean generalmente junto con una sal metálica, en cuyo caso permiten una importante reducción de la dosis de dicha sal que habría sido preciso utilizar. Puede llegarse incluso a suprimir completamente la sal metálica, con lo que se consigue reducir notablemente el volumen de fango producido. Este equipo solo sería necesario utilizarlo cuando se elaboren los productos que elevan la cantidad de sólidos suspendidos, los mismos ya se identificaron comparando los registros de la planta de tratamiento de aguas con los de producción los días que se generaban problemas de espuma en el tanque de aireación. La ubicación del equipo sería donde se encuentra la actual PTAR ya que hay suficiente espacio para la incorporación del mismo. Se debe agregar una válvula para controlar el paso de las aguas cuando se requiera utilizar el sedimentador. El dimensionamiento del mismo se realiza más adelante en este capítulo
- Sobrecarga interna y variación de carga orgánica: Aunque actualmente estos no sean factores que afecten a la planta en un futuro sí podrían serlo ya que se planea aumentar la producción de algunos productos, lo que incrementaría el caudal y se superarían los valores de diseño de los equipos. La única solución a esto es rediseñar la planta para un caudal de 150 m³/d (este valor se explica a continuación), el cual manejaría con holgura la producción estimada. Se elige ese

valor de caudal debido a que usualmente para una elaboración de 1000 cajas de producto “A” se genera aproximadamente 85 m³/d de caudal, según lo indicado en el siguiente cuadro:

Cuadro 6.1.1 Datos de caudal generados por la elaboración del producto “A”

Día	Caudal (m³/d)
1	84,59
2	86,48
3	83,60
4	85,32
5	84,45

Y en el futuro se planea elaborar alrededor de 1300 cajas del producto “A”, de esta manera por medio de una regla de tres da un caudal promedio de 110 m³/d y se va a trabajar con un máximo de 150 m³/d

6.2 Descripción del sistema propuesto para la planta de tratamiento de aguas residuales

La planta propuesta con el fin de solucionar los inconvenientes actuales, contará con los siguientes equipos: Tamiz inclinado, separador de grasas y aceites, sedimentador primario, tanque ecualizador, selector biológico, tanque de aireación, clarificador, digestor de lodos y un filtro prensa. En la figura 6.2.1 se presenta un diagrama de la planta.

Como la planta propuesta va a contar con los mismos equipos que la actual más el sedimentador primario, solo se va a describir este último ya que el resto de los equipos y su funcionamiento se dieron a conocer en el capítulo 3.

Sedimentador primario

El sedimentador primario recibe las aguas provenientes del tanque ecualizador. El objetivo de esta unidad es remover los sólidos sedimentables y flotantes, logrando una reducción en la concentración de sólidos suspendidos. La eficiencia de este proceso permitirá remover un 60% de los sólidos suspendidos, y como consecuencia disminuirá la DBO. La unidad estará equipada de barredores de fondo y superficiales para retirar los lodos que se acumulan al sedimentar y los flotantes respectivamente. El diseño de esta

unidad está basado en una tasa superficial cuyo valor está en el intervalo de 35 m³/m²d (según la relación de remoción de DBO y sólidos suspendidos en función de la carga superficial del anexo 2). Cuando el área de la unidad está definida, el TRH se determina al elegir la profundidad a usar. Los lodos purgados por esta unidad son llevados al digester de lodos.

6.3 Dimensionamiento del sistema propuesto

Como no se sabe con certeza que valores de DBO₅, DQO y SSV va a tener el afluente con el aumento de la producción, se hace el dimensionamiento futuro con los valores obtenidos del agua cruda que entra a la planta actual. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 6.3.1 Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 20 de Febrero del 2012

Parámetro	Valor
DBO ₅ (mg/l)	1035
DQO (mg/l)	2070
SSV (mg/l)	2572

Cuadro 6.3.2 Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 27 de Febrero del 2012

Parámetro	Valor
DBO ₅ (mg/l)	987
DQO (mg/l)	1840
SSV (mg/l)	2025

Cuadro 6.3.3 Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante los muestreos el día 5 de Marzo del 2012

Parámetro	Valor
DBO ₅ (mg/l)	878
DQO (mg/l)	1600
SSV (mg/l)	1910

De esta manera el dimensionamiento se realizará tomando como base los datos del cuadro 6.3.1 ya que estos fueron los mayores, de manera que representan el caso extremo. Por lo tanto los valores para re-diseñar van a ser: Q=150 m³/d (cuadro B.5), SSV=2572 mg/l, DQO=2070 mg/l y DBO_{5a}=1035 mg/l.

Dimensionamiento del tamiz inclinado

La selección del tamaño de la separación de los hilos de la reja se basó en la existente. Además el tamiz actual trabaja para un caudal pico de 7 l/s (capítulo 3), de manera que maneja con holgura el caudal propuesto de 150 m³/d (1,74 l/s) (cuadro B.5). Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 6.3.4

Cuadro 6.3.4 Resultados del dimensionamiento del tamiz inclinado

Característica	Rejilla 1	Rejilla 2
e (mm)	1	0,5
Θ (°)	45	45
H (m)	0,82	0,82
B (m)	0,40	0,40
L (m)	2,34	2,34

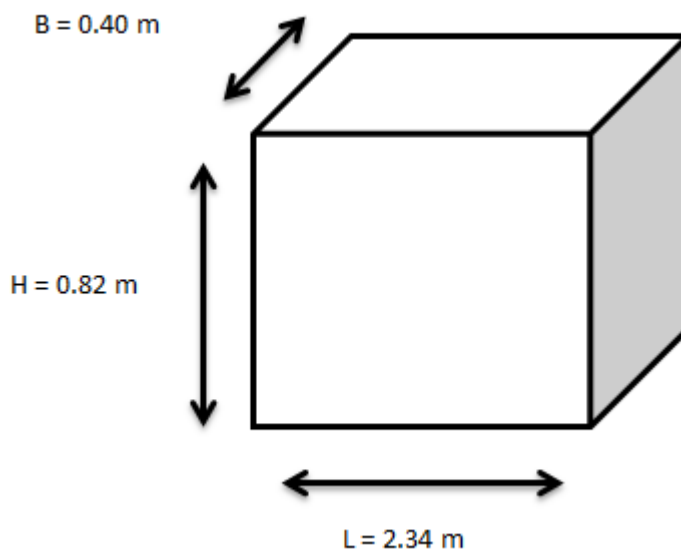


Figura 6.3.1 Dimensiones del tamiz inclinado

Dimensionamiento del separador de grasas y aceites

Una vez realizados los análisis fisicoquímicos se tiene que las grasas y aceites tienen un valor promedio de 4,5 mg/l.

Con base en las variables de densidad de la grasa y el caudal de trabajo de la empresa, datos que se muestran en el cuadro 6.3.5, se dimensiona el separador de grasa y aceites. Dichos parámetros se muestran en el cuadro 6.3.6 y la muestra de cálculo de los mismos se encuentra en el apéndice C.

Cuadro 6.3.5 Parámetros necesarios para el dimensionamiento del separador de grasas y aceites

Característica	Valor
ρ (mg/l)	4,5
Q (m ³ /d)	150

Cuadro 6.3.6 Resultados del dimensionamiento del separador de grasas y aceites

Característica	Valor
H (m)	1,6
B (m)	0,40
L (m)	0,80

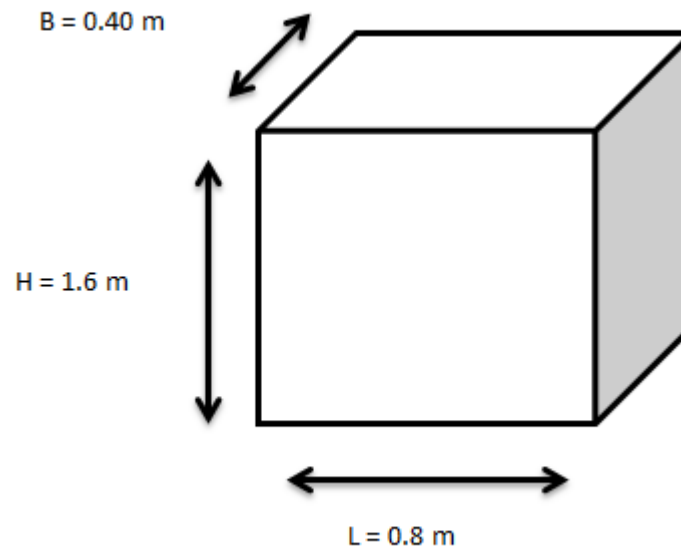


Figura 6.3.2 Dimensiones del separador de grasas y aceites

Sedimentador primario

El diseño de esta unidad está basado en un porcentaje de remoción de un 60% de sólidos suspendidos, con este dato y utilizando el anexo 2 se determina una carga superficial de $35 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. Además se selecciona una profundidad de 3,6 m siendo este el valor típico en la literatura utilizado en estos equipos, y un largo y ancho de 3 m y 1 m respectivamente. Los resultados del dimensionamiento se observan a continuación:

Cuadro 6.3.7 Resultados del dimensionamiento del sedimentador primario

Característica	Valor
% remoción (%)	60
$C_{su} (\text{m}^3/\text{m}^2\text{d})$	35
$P_r (\text{m})$	3,6
$B (\text{m})$	1
$L (\text{m})$	3
$A (\text{m}^2)$	4,3
$V (\text{m}^3)$	16
TRH (h)	2,5
$C_H (\text{m}^3/\text{md})$	57,7

Una vez que se eliminan los sólidos suspendidos estos se llevan al digester de lodos para su debido tratamiento y remoción

Dimensionamiento del tanque ecualizador

El tanque se diseña de manera que brinde un caudal proyectado de salida constante de 1,74 l/s ($150 \text{ m}^3/\text{d}$ del caudal propuesto, cuadro B.5). Para esto se calcula el volumen de la estructura tomando en consideración un caudal proyectado de $6,25 \text{ m}^3/\text{h}$ (Cuadro B.5). Además se cuenta con un tiempo de retención hidráulica de 16,2 horas según el diseño original.

En el cuadro 6.3.8 se muestra el resultado del dimensionamiento del tanque de homogenización.

Cuadro 6.3.8 Resultado del dimensionamiento del tanque ecualizador

Parámetro	Valor
$Q_a (\text{m}^3/\text{h})$	6,25
TRH (h)	16,2
$V (\text{m}^3)$	102

Además el equipo cuenta con el mismo sistema de aireación mediante aspiración de aire con el fin de homogenizar su contenido y evitar malos olores. La bomba de alimentación a la siguiente unidad debe operar de manera continua (salvo en condiciones de bajo nivel en el tanque de igualación, en cuyo caso se apagará automáticamente). Las bombas deben ser alternadas en su operación de manera que su desgaste sea homogéneo.

Selector biológico

Se utiliza un tiempo de retención de 2 horas, y una profundidad de 3,5 m según las indicaciones del diseño actual. Los datos del dimensionamiento se observan en el cuadro 6.3.9.

Cuadro 6.3.9 Resultados del dimensionamiento del selector biológico

Parámetro	Valor
Qa (m ³ /h)	6,25
TRH (h)	2
V (m ³)	13
H (m)	3,5

Dimensionamiento del tanque de aireación

El tanque de aireación se dimensionó considerando un TRH de 42 horas (diseño original) a un caudal de 150 m³/d (cuadro B.5), y una edad de lodos de 12 días (diseño original). Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Cuadro 6.3.10 Resultados del dimensionamiento del tanque de aireación

Característica	Valor
TRH (h)	42
V (m ³)	263
C _m (kg DBO ₅ /kg MLSS)	0,23
C _v (kg DBO ₅ /m ³)	0,59
P _f (kg fangos/d)	56,26
P _e (kg fangos en exceso/kg DBO ₅)	0,86

Respecto a la demanda de oxígeno del sistema de aireación del equipo se debe determinar la cantidad de materia carbonosa, la materia nitrogenada y la materia desnitrificada a 25 °C. Los resultados obtenidos por los distintos métodos se pueden observar en los siguientes cuadros.

Cuadro 6.3.11 Resultados del dimensionamiento de la demanda de oxígeno de la materia carbonosa

Método	Valor
WPCF (kgO ₂ /d)	132,75
Eckenfelder-Lawrence-McCarty (kgO ₂ /d)	160
WRC (kgO ₂ /d)	140,32
ATV (kgO ₂ /d)	157,18

Cuadro 6.3.12 Resultados del dimensionamiento de la demanda de oxígeno de la materia nitrogenada

Característica	Valor
DO ₂ (kgO ₂ /d)	27,42

Cuadro 6.3.13 Resultados del dimensionamiento de la demanda de oxígeno de la materia desnitrificada

Característica	Valor
DO ₂ (kgO ₂ /d)	4,29

Una vez obtenidos los valores anteriores se procede a sumar la materia carbonosa (promedio de los 4 métodos) y la materia nitrogenada, generalmente se resta la materia desnitrificada pero como da un valor tan bajo se va a obviar. De esta manera se obtiene el total de la demanda de oxígeno que se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 6.3.14 Resultados del dimensionamiento de la demanda de oxígeno total

Característica	Valor
DO ₂ (kgO ₂ /d)	174,98

Dimensionamiento del sistema de adición de nutrientes

La cantidad exacta de nutrientes que se deben agregar debe ser determinada luego de análisis periódicos de la calidad del agua que llega a la planta de tratamiento. Idealmente, se debe manejar una relación de DBO₅: TKN: P (demanda bioquímica de oxígeno: nitrógeno total Kjeldhal: fósforo total) de 100: 5: 1. Tomando en cuenta que hay una cantidad de 3700 g de NH₄-NH y 430 g de PO₄-P en el afluente (del sistema original, el cual se toma como referencia para el proyectado), se obtienen los siguientes resultados.

Cuadro 6.3.15 Resultados del dimensionamiento del sistema de adición de nutrientes

Característica	Valor
N(g/d)	1475
P (g/d)	605

Dimensionamiento del clarificador

El clarificador se dimensionó para una carga de superficie de $8,3 \text{ m}^3$ diarios/ m^2 (diseño original) y una carga hidráulica de $31,25 \text{ m}^3/\text{m}$ (diseño original) a un caudal de $150 \text{ m}^3/\text{d}$ (cuadro B.5). El tiempo de retención hidráulico se fijó en 6,3 horas (diseño original).

Cuadro 6.3.16 Resultados del dimensionamiento del clarificador

Característica	Valor
TRH (h)	6,3
V (m^3)	40
A (m^2)	19
C_H (m^3/md)	31,25
L (m)	4,8
SVI (ml/g)	272,16
SSr (g/L)	10

Dimensionamiento del digestor de lodos aerobio

Tomando en cuenta que se producen $7,97 \text{ kg/d}$ de lodos (diseño original), y, que la edad de lodos de 15 días (diseño original) y un tiempo de retención hidráulica de 7,44 horas (según el diseño original) se obtienen los siguientes resultados.

Cuadro 6.3.17 Resultados del dimensionamiento del digestor de lodos

Característica	Valor
V (m^3)	46,5
P_f (kg fangos/d)	7,97

6.4 Comparación del estado actual de la PTAR con el dimensionamiento sugerido

A continuación se muestra un cuadro comparativo donde se exponen las principales modificaciones en los equipos de la PTAR según lo sugerido para el nuevo diseño.

Cuadro 6.4.1 Comparación de equipos según el estado actual y el diseño propuesto

Equipo	Estado actual	Diseño propuesto
Tamiz inclinado	Caudal: 7 l/s Ancho: 40 cm Largo: 234 cm Profundidad: 82 cm	Caudal: 7 l/s Ancho: 40 cm Largo: 234 cm Profundidad: 82 cm

Cuadro 6.4.1 (continuación) Comparación de equipos según el estado actual y el diseño propuesto

Equipo	Estado actual	Diseño propuesto
Separador de grasas	Maneja 4,5 mg/l de grasas Ancho: 0,4 m Largo: 0,8 m Profundidad: 1,6 m	Maneja 4,5 mg/l de grasas Ancho: 0,4 m Largo: 0,8 m Profundidad: 1,6 m
Tanque ecualizador	Caudal salida: 1,16 l/s Caudal pico: 4,18 m ³ /h Volumen: 68 m ³ TRH: 16,2 h	Caudal salida: 1,74 l/s Caudal pico: 6,25 m ³ /h Volumen: 102 m ³ TRH: 16,2 h
Sedimentador primario	-	Rociadores de agua Profundidad: 3,6 m Largo: 3 m Ancho: 1 m TRH: 2,5 h
Selector biológico	Volumen: 8 m ³ TRH: 2 h	Volumen: 13 m ³ TRH: 2 h
Tanque de aireación	Volumen: 175 m ³ Demanda de O ₂ : 113,28 kg O ₂ /d Edad lodos: 12 d C _m : 0,23 kg DBO ₅ /kg MLSS C _v : 0,59 kg/m ³	Volumen: 263 m ³ Demanda de O ₂ : 170,69 kg O ₂ /d Edad lodos: 12 d C _m : 0,23 kg DBO ₅ /kg MLSS C _v : 0,59 kg/m ³
Clarificador	Área: 12 m ² Largo: 1,61 m TRH: 6,3 h C _s : 8,3 m ³ /m ² d C _h : 31,25 m ³ /md	Área: 19 m ² Largo: 4,8 m TRH: 6,3 h C _s : 8,3 m ³ /m ² d C _h : 31,25 m ³ /md
Digestor de lodos	Volumen: 29,36 m ³ TRH: 7,44 h Edad lodos: 15 d	Volumen: 46,5 m ³ TRH: 7,44 h Edad lodos: 15 d

6.5 Balance de masa del diagrama de flujo de la planta sugerida

Análisis de sólidos suspendidos totales (SST) para la planta sugerida

Corriente 11, 12, 13

Se sabe que la planta actual posee un flujo de 100 m³/d, que tiene 2350 mg/l de SST y produce 2,41 m³/d de lodos, de esta manera se obtiene que la planta sugerida de 150 m³/d con 2350 mg/l de SST produciría 3,615 m³/d.

Si se utiliza la ecuación 3.4.2 para determinar la cantidad de masa seca en la corriente trece se obtiene:

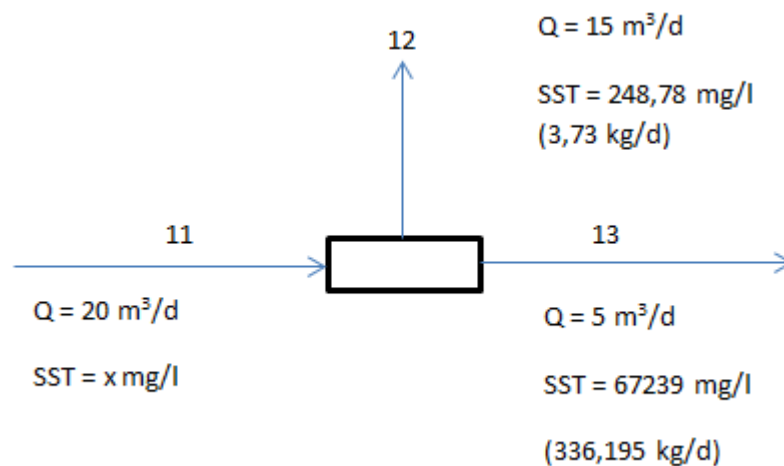
$$\text{Lodo} = \left[\frac{(X/1000)}{(1000)(1,5)(0,062)} \right] \times 5 = 3,615 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$X = 67239 \text{ mg/l}$$

Del balance de masa de la planta actual se sabe que la recirculación del filtro prensa es alrededor de un 0,37% de SST con lo que se obtiene que en la corriente doce hay 248,78 mg/l de SST.

$$\frac{67239}{100} \frac{X}{37} = 248,78 \text{ mg/l}$$

De esta manera por medio de un balance de masa se obtiene que la cantidad de SST para la corriente once es de 16996,3 mg/l



$$(20)(x) = (15)(248,78) + (5)(67239)$$

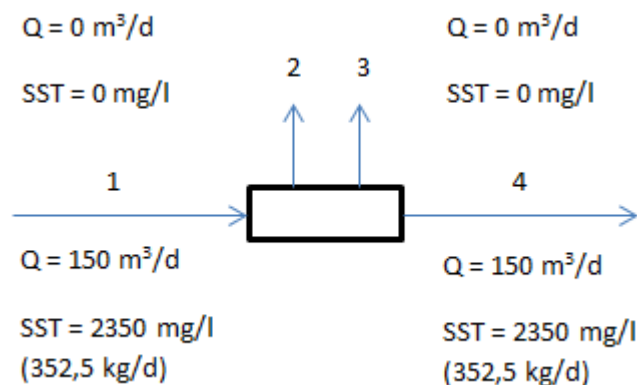
$$20x = 3731,7 + 336195$$

$$X = 16996,3 \text{ mg/l} \text{ (339,93 kg/d)}$$

Corriente 1, 2, 3, 4

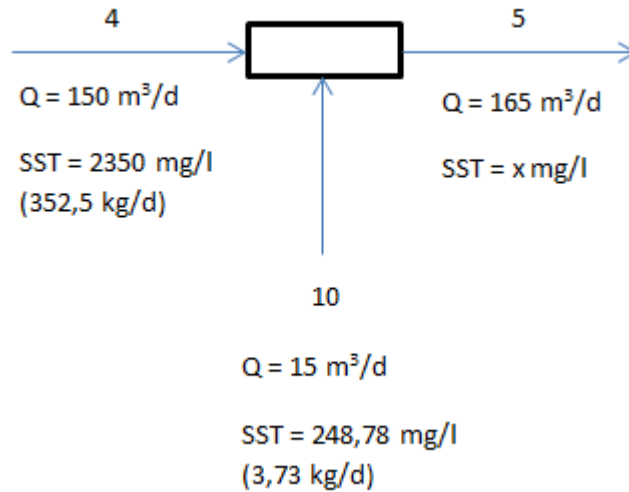
Tomando como base la cantidad de sólidos suspendidos de la planta actual se tiene que en la corriente uno entran 2350 mg/l de SST. Esta corriente pasa por el tamiz y el separador de grasas pero esos equipos no reducen los SST por lo que la corriente cuatro va a tener el mismo valor que el afluente (2350 mg/l).

La corriente dos se utiliza para realizar purgas manuales de desechos sólidos que quedan atrapados en las rejillas del tamiz como por ejemplo: pulpas, cáscaras, papeles, hojas, etc... Mientras que la corriente tres se utiliza para remover las grasas y aceites que vienen con el afluente. Para ambas corrientes se asume un flujo de $0 \text{ m}^3/\text{d}$ debido a que el flujo que sale de esos equipos es muy pequeño y las purgas manuales se realizan con muy poca frecuencia ya que solo son necesarias cuando las rejillas y la trampa de grasas están llenas. Otro factor que influyó para asumir ese flujo fue el hecho que dependiendo del producto que se esté elaborando la producción puede ser muy baja y la cantidad de desechos y grasas también (por ejemplo los colados, jugos y petitpoas que se elaboran en una menor cantidad).



Corriente 4, 5, 12

Como se dijo anteriormente la corriente cuatro tiene un valor de 2350 mg/l de SST. La corriente doce viene del filtro prensa y anteriormente se obtuvo un valor de 248,78 mg/l de SST. De esta manera la corriente cinco se adquiere por medio de un balance entre las corrientes cuatro, doce y cinco y se consigue un valor de 2158,98 mg/l de SST.



$$(150)(2350) + (15)(248,78) = (165)(x)$$

$$352500 + 3731,7 = 165x$$

$$X = 2158,98 \text{ mg/l (356.23 kg/d)}$$

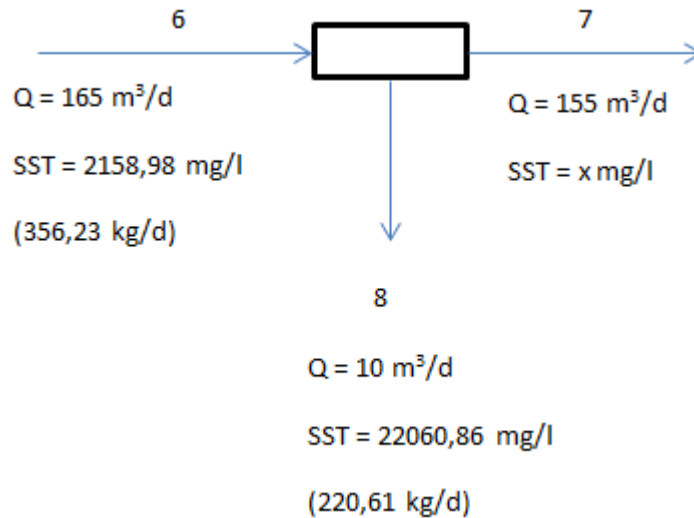
Corriente 5 y 6

La corriente cinco entra al equalizador y como este equipo solo homogeniza los caudales, la cantidad de SST de la corriente seis es la misma que los SST de la corriente cinco. Esto quiere decir que es de 2158,98 mg/l.

Corriente 6, 7, 8

Si a la planta actual de 100 m³/d entran al clarificador 2214,6 mg/l de SST y salen 22629,2 mg/l, entonces a la planta sugerida de 150 m³/d si entran 2158,98 mg/l de SST deben de salir 22060,86 mg/l por la corriente ocho.

De esta manera por medio de un balance de masa se obtiene que por la corriente siete salen 874,99 mg/l



$$(165)(2158,98) = (10)(22060,86) + (155)(x)$$

$$356231,7 = 220608,6 + 155x$$

$$X = 874,99 \text{ mg/l (135, 62 kg/d)}$$

Lodo

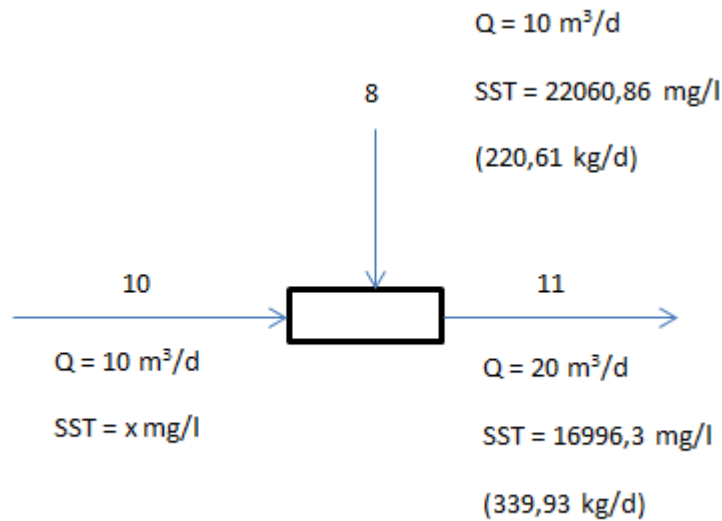
$$\text{Lodo} = \left[\frac{M_{SS}}{(\rho_{H_2O})(S_s)(W_s)} \right] \times Q \quad (3.4.2)$$

Si se tiene que en la corriente ocho hay una concentración de sólidos de un 3%, se obtiene 4,9 m³/d de lodos (utilizando la ecuación 3.4.2)

$$\text{Lodo} = \left[\frac{\left(\frac{22060,86}{1000} \right)}{(1000)(1,5)(0,03)} \right] \times 10 = 4,9 \text{ m}^3/\text{d}$$

Corriente 8, 10, 11

De balances anteriores se obtuvo que la corriente once tiene 16996,3 mg/l de SST y la corriente ocho posee 22060,86 mg/l de SST. Realizando un balance de masa entre las tres corrientes se obtiene un valor de 11931,74 mg/l de SST para la corriente diez.



$$(10)(x) + (10)(22060,86) = (20)(16996,3)$$

$$10x + 220608,6 = 339926$$

$$X = 11931,74 \text{ mg/l (119,32 kg/d)}$$

Lodo

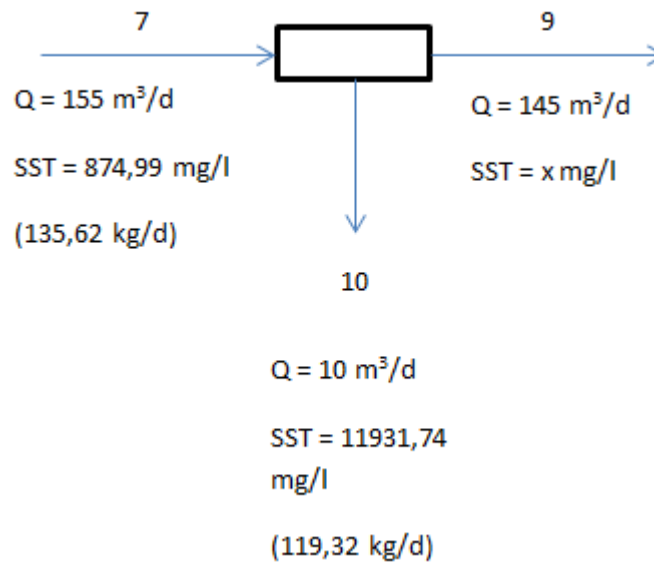
Si se tiene que en la corriente once hay una concentración de sólidos de un 5%, se obtiene $4,53 \text{ m}^3/\text{d}$ de lodos (utilizando la ecuación 3.4.2)

$$\text{Lodo} = \left[\frac{M_{ss}}{(\rho_{H_2O})(S_o)(W_s)} \right] \times Q$$

$$\text{Lodo} = \left[\frac{\left(\frac{16996,3}{1000} \right)}{(1000)(1,5)(0,05)} \right] \times 20 = 4,53 \text{ m}^3/\text{d}$$

Corriente 7, 9, 10

De balances anteriores se obtuvo que la corriente diez tiene $11931,74 \text{ mg/l}$ de SST y la corriente siete tiene $874,99 \text{ mg/l}$ de SST. Por medio de un balance de masa se obtiene que la cantidad de sólidos suspendidos totales de la corriente nueve es de $112,5 \text{ mg/l}$.



Lodo

Si se tiene que en la corriente diez hay una concentración de sólidos de un 3%, se obtiene 2,65 m³/d de lodos (utilizando la ecuación 3.4.2)

$$\text{Lodo} = \left[\frac{M_{ss}}{(\rho_{H_2O})(S_o)(W_s)} \right] \times Q$$

$$\text{Lodo} = \left[\frac{\left(\frac{11931,74}{1000} \right)}{(1000)(1,5)(0,03)} \right] \times 10 = 2,65 \text{ m}^3/\text{d}$$

Análisis de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) para la planta sugerida

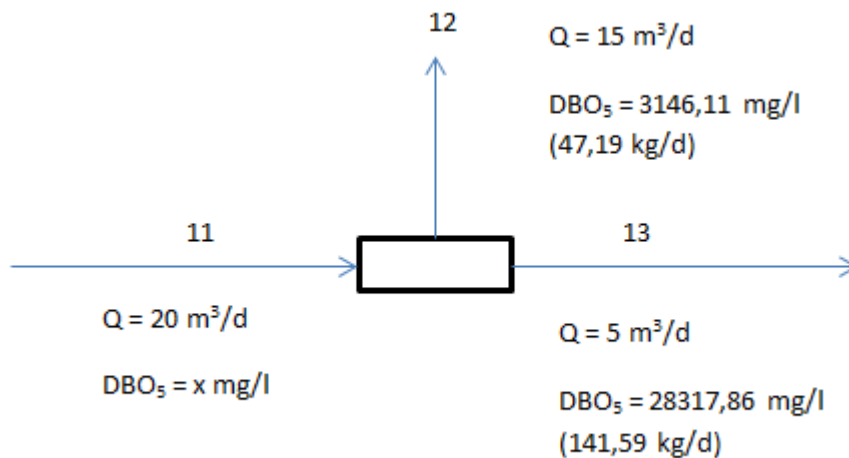
Corriente 11, 12, 13

Si sabemos que la planta actual por la corriente de salida del filtro prensa pasan 74781,5 mg/l de SST que producen 31494,4 mg/l de DBO₅ entonces para la planta sugerida si se sabe que salen 67239 mg/l de SST se producen 28317,86 mg/d de DBO₅.

Del balance de masa de la planta actual se sabe que la recirculación del filtro prensa es alrededor de un 11,11% de DBO₅ con lo que se obtiene que en la corriente doce hay 3146,11 mg/l de DBO₅.

$$\frac{28317,86}{100} \frac{x}{11,11} = 3146,11 \text{ mg/l}$$

De esta manera por medio de un balance de masa se obtiene que la cantidad de DBO₅ para la corriente once es de 9439,05 mg/l



$$(20)(x) = (15)(3146,11) + (5)(28317,86)$$

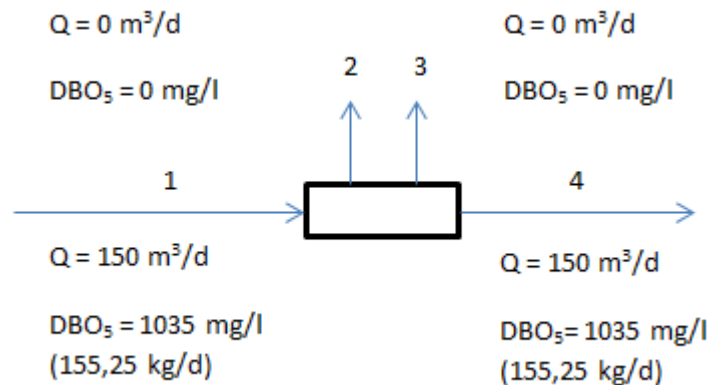
$$20x = 47191,65 + 141589,3$$

$$X = 9439,05 \text{ mg/l} \text{ (188,78 kg/d)}$$

Corriente 1, 2, 3, 4

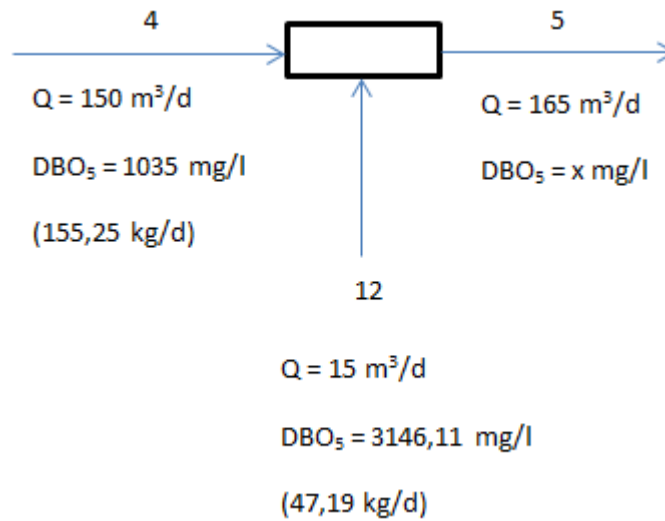
Tomando como base la cantidad de DBO₅ de la planta actual se tiene que en la corriente uno entran 1035 mg/l de DBO₅. Esta corriente pasa por el tamiz y el separador de grasas pero esos equipos no reducen la DBO₅ por lo que la corriente cuatro va a tener el mismo valor que el afluente (1035 mg/l).

La corriente dos se utiliza para realizar purgas manuales de desechos sólidos que quedan atrapados en las rejillas del tamiz como por ejemplo: pulpas, cáscaras, papeles, hojas, etc... Mientras que la corriente tres se utiliza para remover las grasas y aceites que vienen con el afluente. Para ambas corrientes se asume un flujo de $0 \text{ m}^3/\text{d}$ debido a que el flujo que sale de esos equipos es muy pequeño y las purgas manuales se realizan con muy poca frecuencia ya que solo son necesarias cuando las rejillas y la trampa de grasas están llenas. Otro factor que influyó para asumir ese flujo fue el hecho que dependiendo del producto que se esté elaborando la producción puede ser muy baja y la cantidad de desechos y grasas también (por ejemplo los colados, jugos y petitpoas que se elaboran en una menor cantidad).



Corriente 4, 5, 12

Como se dijo anteriormente la corriente cuatro tiene un valor de 1035 mg/l de DBO_5 . La corriente doce viene del filtro prensa y anteriormente se obtuvo un valor de $3146,11 \text{ mg/l}$ de DBO_5 . De esta manera la corriente cinco se adquiere por medio de un balance entre las corrientes cuatro, doce y cinco y se consigue un valor de $1226,92 \text{ mg/l}$ de DBO_5 .



$$(150)(1035) + (15)(3146.11) = (165)(x)$$

$$155250 + 47191,65 = 165x$$

$$X = 1226.92 \text{ mg/l } (202,44 \text{ kg/d})$$

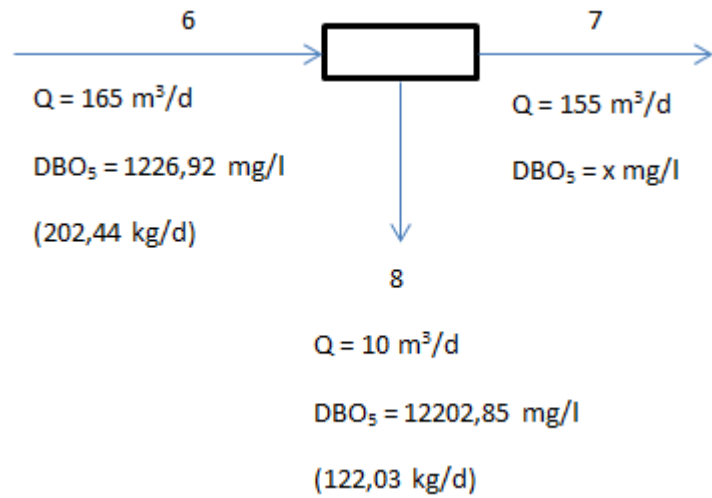
Corriente 5 y 6

La corriente cinco entra al ecualizador y como este equipo solo homogeniza los caudales, la cantidad de DBO_5 de la corriente seis es la misma que los DBO_5 de la corriente cinco. Esto quiere decir que es de 1226,92 mg/l.

Corriente 6, 7, 8

Si a la planta actual de $100 \text{ m}^3/\text{d}$ entran al clarificador 1196,3 mg/l de DBO_5 y salen 11898,31 mg/l, entonces a la planta sugerida de $150 \text{ m}^3/\text{d}$ si entran 1226,92 mg/l de DBO_5 deben de salir 12202,85 mg/l por la corriente ocho.

De esta manera por medio de un balance de masa se obtiene que por la corriente siete salen 518,8 mg/l



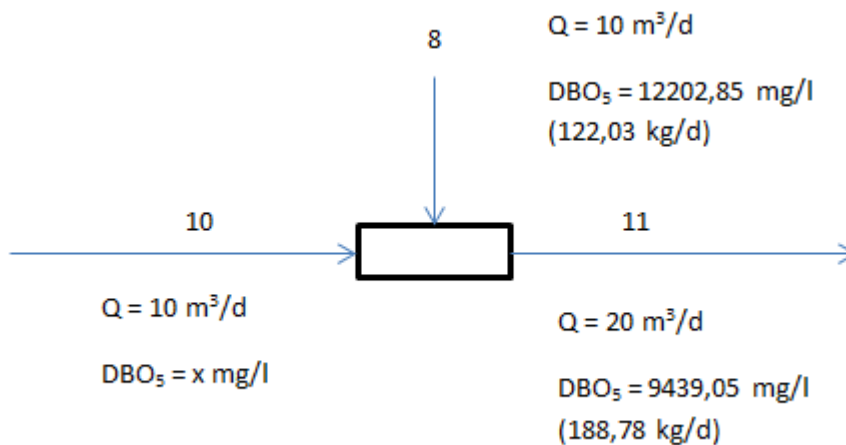
$$(165)(1226.92) = (10)(12202,85) + (155)(x)$$

$$202441,8 = 122028,5 + 155x$$

$$X = 518,8 \text{ mg/l (80,414 kg/d)}$$

Corriente 8, 10, 11

De balances anteriores se obtuvo que la corriente once tiene $9439,05 \text{ mg/l}$ de DBO_5 y la corriente ocho posee $12202,85 \text{ mg/l}$ de DBO_5 . Realizando un balance de masa entre las tres corrientes se obtiene un valor de $94,22 \text{ mg/l}$ de DBO_5 para la corriente diez.



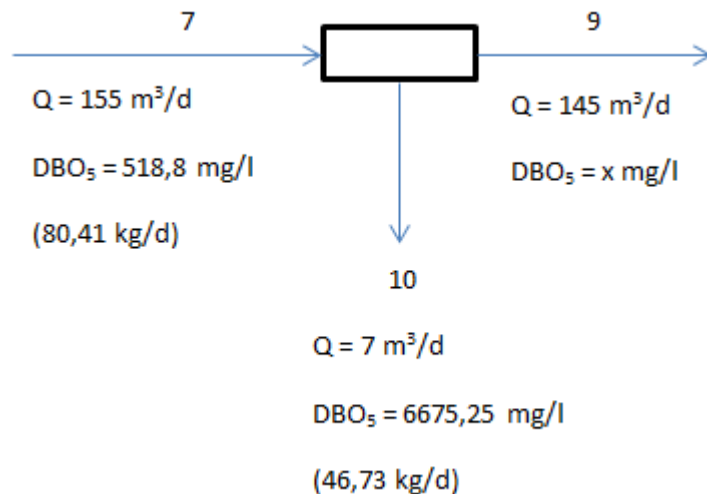
$$(10) (x) + (10) (12202,85) = (20) (9439,05)$$

$$10x + 122028,5 = 188781$$

$$X = 6675,25 \text{ mg/l (66,75 kg/d)}$$

Corriente 7, 9, 10

De balances anteriores se obtuvo que la corriente diez tiene 6675,25 mg/l de DBO₅ y la corriente siete tiene 518,8 mg/l de DBO₅. Por medio de un balance de masa se obtiene que la cantidad de DBO₅ de la corriente nueve es de 94,22 mg/l.



Análisis de los desechos sólidos (pulpas, cáscaras, papeles, hojas, etc.) para la planta sugerida (corriente 2)

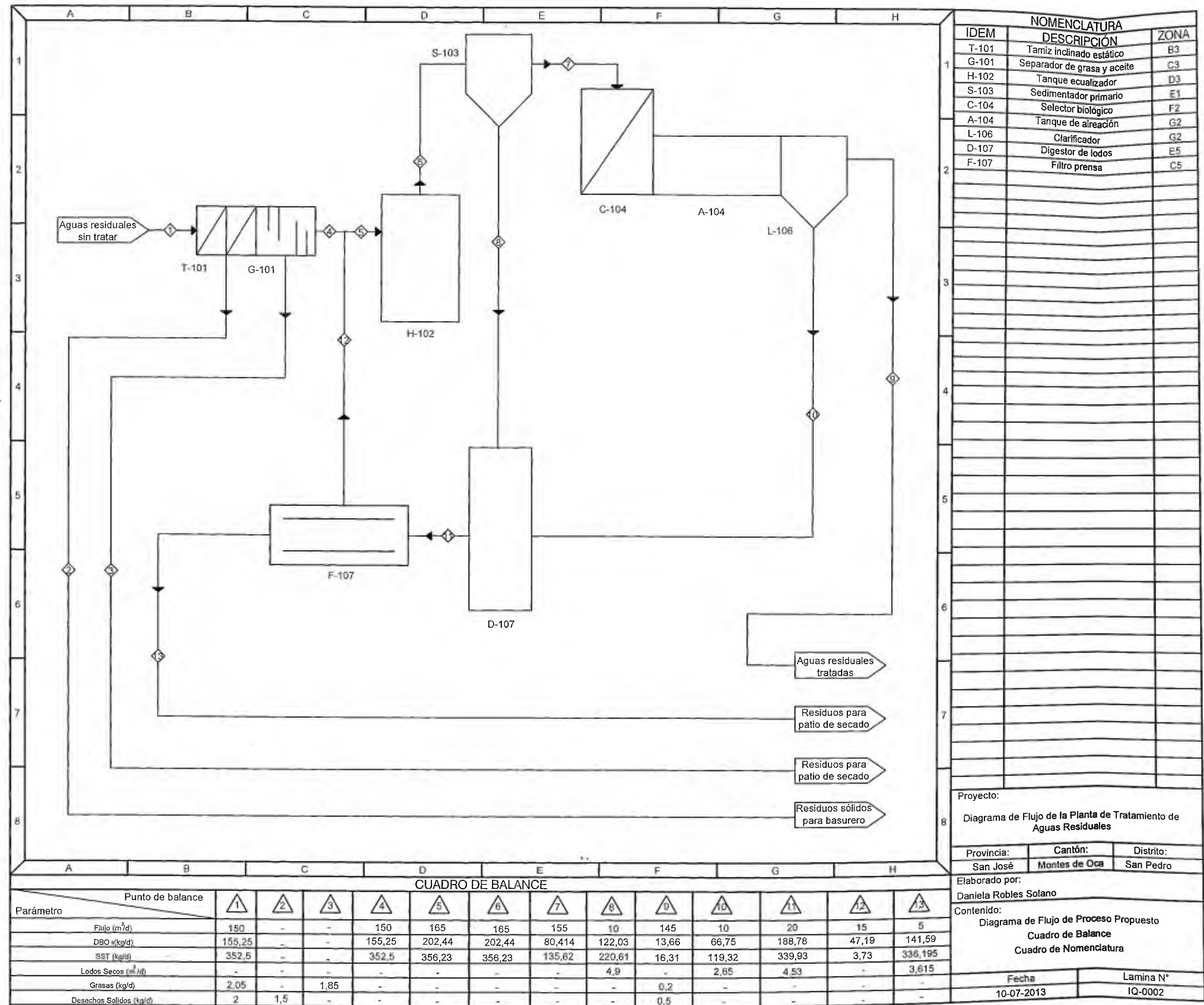
Se mide y entran 2 kg/d de desechos y se sabe que el equipo tiene una eficiencia de 75% lo que da una remoción de 1,5 kg/d que salen por la corriente dos y el resto de sólidos (0,5 kg/d) salen por la corriente siete.

$$(2)(0,75) = 1,5 \text{ kg/d}$$

Análisis de grasas y aceites para la planta sugerida (corriente 3)

Se mide y entran 2,05 kg/d de grasas y aceites y se sabe que el equipo tiene una eficiencia de 90%, lo que da una remoción de 1,85 kg/d que salen por la corriente tres y el resto (0,2 kg/d) salen por la corriente siete.

$$(2,05)(0,90) = 1,85 \text{ kg/d}$$



NOMENCLATURA		
IDEM	DESCRIPCIÓN	ZONA
T-101	Tamiz inclinado estático	B3
G-101	Separador de grasa y aceite	C3
H-102	Tanque ecualizador	D3
S-103	Sedimentador primario	E1
C-104	Selector biológico	F2
A-104	Tanque de aireación	G2
L-106	Clarificador	G2
D-107	Digestor de lodos	E5
F-107	Filtro prensa	C5

CUADRO DE BALANCE

Punto de balance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Flujo (m ³ /d)	150	-	-	150	165	165	155	10	145	10	20	15	5
DBO (kg/d)	155,25	-	-	155,25	202,44	202,44	80,414	122,03	13,66	66,75	188,78	47,19	141,59
BST (kg/d)	352,5	-	-	352,5	356,23	356,23	135,62	220,61	16,31	119,32	339,93	3,73	336,195
Lodos Secos (m ³ /d)	-	-	-	-	-	-	-	4,9	-	2,85	4,53	-	3,615
Grasas (kg/d)	2,05	-	1,85	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-
Desechos Sólidos (kg/d)	2	1,5	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-

Proyecto:
Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Provincia: San José Cantón: Montes de Oca Distrito: San Pedro

Elaborado por:
 Daniela Robles Solano

Contenido:
 Diagrama de Flujo de Proceso Propuesto
 Cuadro de Balance
 Cuadro de Nomenclatura

Fecha: 10-07-2013 Lamina N°: IQ-0002

*Los desechos solidos son por ejemplo: papeles, pulpas, cascara, etc
 Figura 6.2.1 Diagrama de la planta de aguas residuales propuesta (Robles,2013)

CAPÍTULO 7

COSTEO PRELIMINAR PARA EL REDIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

7.1 Costos de adaptación del sistema de tratamiento propuesto

El costo básico del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto va a depender de los equipos que se necesiten adaptar (en este caso todos se deben adaptar menos el tamiz inclinado, separador de grasa y el filtro prensa), así como del precio de la adaptación. Además de la inversión necesaria para adquirir nuevos equipos (sedimentador primario). Se aclara que se piensa adaptar los equipos existentes en vez de construir una nueva planta, ya que se cuenta con el espacio suficiente para esto y además esto hace que el proyecto sea rentable para la empresa. El proceso sería básicamente trabajar sobre el equipo existente y modificar sus dimensiones de largo, ancho y profundidad.

La inversión de capital fijo consiste en el capital necesario para la puesta en marcha de la operación, esto incluye lo relacionado con el funcionamiento de los equipos. La inversión de capital fijo se compone de dos valores, los costos asociados con el equipo adquirido y adaptado, y, los costos indirectos que toman en cuenta un estimado del capital invertido para compensar imprevistos tales como un aumento en los precios de los equipos y materias primas, cambios de diseño y gastos no anticipados.

El capital de trabajo consiste en el dinero correspondiente a la mano de obra utilizada, así como el capital estimado para la compra de materias primas.

De esta manera se tiene que el costo de la planta propuesta (adaptaciones de equipos y la adquisición del sedimentador primario), basándose en una cotización de la empresa que se encarga de la PTAR actual es de \$81200. Es importante aclarar que este precio ya incluye todos los costos directos e indirectos mencionados anteriormente. No se tiene el desglose del precio en dólares de cada rubro debido al hecho de que la empresa entrega un precio global por todo el trabajo que realizarían.

CAPÍTULO 8

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA REACONDICIONADA

8.1 Información básica de diseño

Jornada de trabajo de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento opera de manera automática y continua, de acuerdo con el volumen de llegada de aguas residuales industriales procedentes de la planta de producción. Los procesos biológicos de tratamiento se dan de manera continua, sin embargo la extracción de subproductos, limpieza de unidades y otras actividades de control solo se harán en horas del día, coincidiendo con las horas de mayores actividades de producción.

Volúmenes de diseño y capacidad de la planta

La planta de tratamiento ha sido diseñada para manejar un máximo diario de 150 m³/d de aguas residuales industriales, de manera regular y sostenida.

Caudal máximo horario

El caudal promedio horario de diseño es de 4,6 m³ por hora. En horas pico, la planta puede manejar aproximadamente 6,25 m³ por hora. Sin embargo debe recordarse que la planta cuenta con un tanque de igualación (de 102 m³) en el cual se podrán absorber variaciones mayores de caudal.

Tipo de agua residual

Las aguas residuales que llegan a la planta de tratamiento son aguas residuales provenientes de la limpieza de equipos y lavado de tanques; limpieza y clasificación de materia prima, derrames accidentales de materias primas, productos en proceso o productos terminados; asociados al proceso de fabricación.

Dado su origen, se trata de aguas residuales de carácter industrial algunos de cuyos componentes (azúcares, carbohidratos, aminoácidos, grasas, y otros productos orgánicos

presentes en el proceso) son altamente biodegradables, sin presencia de compuestos tóxicos, metales pesados o materiales peligrosos.

De acuerdo con la normativa del país, esta agua están clasificadas como “agua residual de tipo especial”, y la empresa aparece ubicada dentro del CIU 3113: Envasado y conservación de frutas y legumbres. De manera rutinaria se deberá analizar en ellas lo siguiente (Artículo 34 y Tabla 9 para caudal mayores a 100 m³/d):

- Semanal: Temperatura, pH, Sólidos Sedimentables y caudal
- Trimestral: DBO₅, DQO, Grasas y Aceites, SST

Características del agua residual cruda

La calidad de las aguas residuales industriales crudas de la planta de tratamiento muestra una composición aproximada siguiente:

- pH: unidades 2 a 9
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): 1035 mg/l
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): 2070 mg/l

Características que deberá cumplir el efluente del sistema de tratamiento

De acuerdo con lo establecido en el Decreto Ejecutivo 33601-S-MINAE, “las descargas de aguas residuales especiales a cuerpos receptores provenientes de la industria de Envasado y conservación de frutas y legumbres, deberán cumplir con los rangos y límites máximos permisibles descritos a continuación:

Cuadro 8.1.1 Límites máximos permisibles para aguas residuales vertidas en cuerpos receptores

Parámetro	Rango y límite máximo permisible (Promedio diario)
pH	5-9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	150
DBO ₅ (mg/l)	150
DQO (mg/l)	400
Grasas y aceites (mg/l)	30

Personal

La planta de tratamiento de aguas residuales deberá contar con –al menos – el siguiente personal.

- Operador principal: Encargado de las labores de operación y control normales de la planta. Es deseable que sea un técnico. Deberá poder hacer los análisis de laboratorio y elaborar los reportes operacionales exigidos por la autoridad ambiental; tomar decisiones sobre cambios en las condiciones de los procesos de la planta acorde con las variaciones encontradas en la calidad y cantidad de las aguas residuales crudas, almacenar adecuadamente (en medio electrónico) la información generada en la planta; informar oportunamente cualquier anomalía observada; atender situaciones de emergencia; recibir visitantes; comunicarse adecuadamente con los organismos reguladores; entre otras funciones básicas

Equipo

Para la operación y mantenimiento normal de la planta de tratamiento se requerirán equipos de campo (esencialmente herramientas de limpieza), equipos de laboratorio y algunos insumos de consumo normal.

- Equipos de campo: Uniforme, guantes de hule, gafas de seguridad, botas de hule, manguera, rastrillo, pala, sacos de fibra para retiro de arenas y lodos secos, bolsas para basura, cubetas plásticas de 10 litros, recipientes plásticos para recolección de basura (hojas, lodos, arenas, etc.)
- Equipos de laboratorio: Conos Imhoff, cronómetro, termómetro, medidor de oxígeno disuelto, analizador de DQO, pH-metro, jarras plásticas
- Insumos: Soda cáustica grado industrial, ácido fosfórico (sulfúrico o clorhídrico) grado industrial, urea, fosfato de amonio grado agrícola o industrial, reactivos para análisis de DQO, reactivos para calibración del pH-metro, ácido clorhídrico 0,1 N, agua destilada

8.2 Proceso industrial

La industria elabora varios productos que durante su producción generan aguas que deben ser tratadas con el fin de poder ser desechadas según los estándares legislativos. Básicamente se pueden generalizar como 4 líneas de producción, 3 son granos y una es la línea de colados.

Proceso industrial de granos

El proceso inicia con el lavado y selección del grano con el fin de eliminar cualquier suciedad o residuo que traiga el producto además y de escoger los granos de mejor calidad, después se procede a hidratarlos según la curva de hidratación de cada grano (entre 12-14 horas). Una vez que se termina el proceso de hidratación se llenan las latas con el producto y un poco de salmuera y se llevan al autoclave para eliminar cualquier bacteria que pueda estar presente. Para finalizar se procede a etiquetar y almacenar el producto. De este proceso todas las aguas que provienen del lavado e hidratación de los granos son las que llegan a la planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de ser tratadas.

Proceso industrial de colados

Lo primero es la elaboración de la mezcla según el colado que se procese dependiendo de la tanda de producción. Después se procede a pasar la mezcla por un “finisher”, en esta etapa lo que se busca es homogenizar la mezcla haciéndola pasar por una malla. Siguiendo la línea de producción se encuentra una trampa magnética que tiene como fin eliminar cualquier traza o residuo magnético que pueda contener el producto. Una vez finalizada esa etapa se tiene la mezcla final que se lleva a un tratamiento térmico que tiene como fin la eliminación de bacterias. El siguiente proceso es un evaporador flash seguido de un filtro metálico y un detector de metales; una vez finalizado todo el proceso anterior se lleva el producto a la llenadora. Una vez que los envases están llenos se llevan a un túnel de enfriamiento, donde además de enfriar se genera un vacío con el fin de eliminar todo el aire y de cerrar el botón de la tapa con el fin de que quede seguro. Para finalizar se etiqueta y se lleva a almacenar el producto final.

Al igual que la producción de granos en esta línea las aguas generadas antes del llenado son las que se llevan a la planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de tratarlas para que cumplan los estándares para eliminarlas según la legislación.

En las 4 líneas de producción se generan distintas cantidades de aguas de desecho y de distintas características, debido a que generalmente se elaboran 2 líneas de producción al mismo tiempo (una de granos y otra de colados) y las tandas varían dependiendo del pedido que se esté elaborando. De esta manera para las 4 líneas de producción se tienen como características fisicoquímicas los Cuadros 8.2.1 al 8.2.3 que son los resultados de los muestreos realizados del afluente de la planta. Se van a tomar como base los datos del Cuadro 8.2.1 ya que estos fueron los mayores de manera que representan el caso crítico. Además se tiene que el caudal de entrada a la planta (proveniente de las líneas de producción) va a ser de 150 m³/d basándose en el futuro aumento de producción del producto “A” como se explico en el capítulo 6.

Cuadro 8.2.1 Valores de los parámetros fisicoquímicos del afluente obtenidos durante los muestreos el día 20 de Febrero del 2012

Parámetro	Valor
DBO ₅ (mg/l)	1035
DQO (mg/l)	2070
SSV (mg/l)	2572

Cuadro 8.2.2 Valores de los parámetros fisicoquímicos del afluente obtenidos durante los muestreos el día 27 de Febrero del 2012

Parámetro	Valor
DBO ₅ (mg/l)	987
DQO (mg/l)	1840
SSV (mg/l)	2025

Cuadro 8.2.3 Valores de los parámetros fisicoquímicos del afluente obtenidos durante los muestreos el día 5 de Marzo del 2012

Parámetro	Valor
DBO ₅ (mg/l)	878
DQO (mg/l)	1600
SSV (mg/l)	1910

A continuación se presenta el diagrama de bloques del proceso industrial.

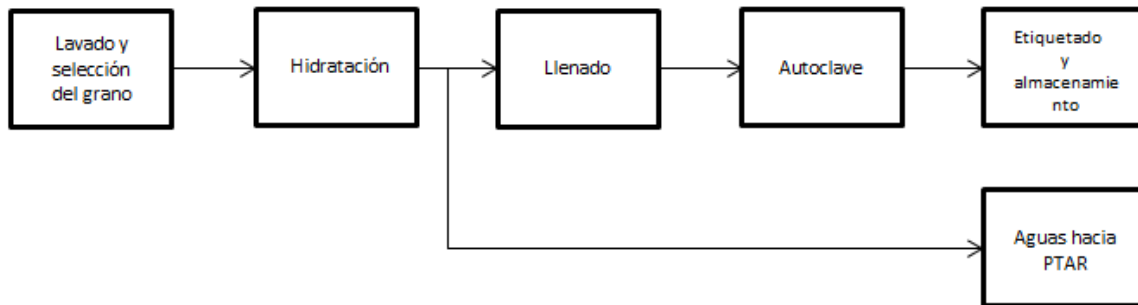


Figura 8.2.1 Diagrama de bloques del proceso industrial de granos (Robles, 2012)

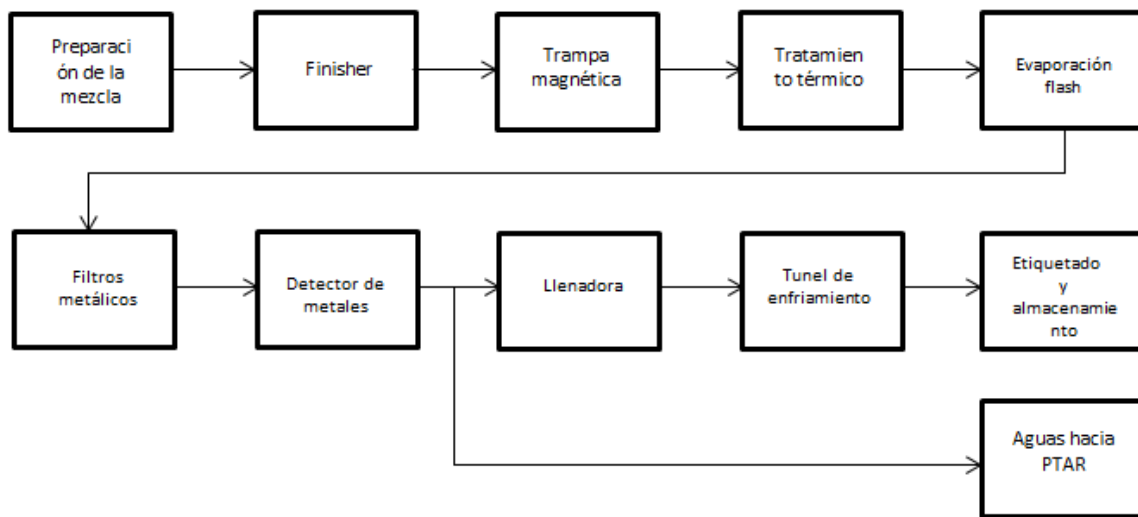


Figura 8.2.2 Diagrama de bloques del proceso industrial de colados (Robles, 2012)

8.3 Descripción del proceso de tratamiento

La empresa productora de alimentos enlatados y colados, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que cuenta con los siguientes equipos: Tamiz inclinado, separador de grasas y aceites, tanque equalizador, sedimentador primario, selector biológico, tanque de aireación, clarificador, digestor de lodos y un filtro prensa. En la figura 8.8.1 se presenta un diagrama de la planta.

El proceso se inicia con el bombeo (bombas ubicadas en un cárcamo de bombeo construido dentro de la planta) desde la planta de producción de las aguas residuales a tratar. Estas ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) a través de un

tamiz estático para eliminar los residuos que traen para luego pasar por el separador de grasas y aceites que como su nombre lo indica tiene como fin eliminar las grasas y aceites del agua, luego pasan por un tanque ecualizador para lograr que las aguas sean lo mas homogéneas posibles. Posteriormente pasan por un sedimentador primario con el fin de reducir la cantidad de sólidos suspendidos. Después las aguas residuales pasan hacia el tratamiento biológico aerobio en el cual se remueve el material biodegradable aun presente en ellas.

La PTAR produce lodos biológicos en exceso los cuales son deshidratados mecánicamente dentro de la PTAR para facilitar su traslado hasta el sitio de disposición final. El agua tratada, se vierte directamente al cuerpo receptor más cercano.

La PTAR maneja hasta 150 m³/día de caudal con una carga total de 103,5 kg/día de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) a la entrada del proceso.

8.4 Puesta en marcha

Para poner en funcionamiento la planta de tratamiento reacondicionada por primera vez, se parte del hecho que todas las unidades están llenas con agua. El arranque del sistema de tratamiento de aguas residuales será llevado a cabo en etapas: tratamiento preliminar y primario, sistema de aireación en el tanque de aireación y el clarificador final. El tratamiento preliminar entrará en funcionamiento de inmediato, recibiendo las aguas industriales desde la empresa. Sin embargo, el paso de agua hacia los procesos biológicos siguientes se hará de manera lenta y gradual, permitiendo que se vaya desarrollando la biomasa necesaria para el proceso.

Arranque del tratamiento preliminar y primario

En una primera etapa, se implementará y asegurará la operación correcta del tratamiento preliminar y primario. Durante esta etapa, se verificará el estado de los diferentes elementos que lo componen, así como su desempeño. Se observará, y registrará, entre otros, lo siguiente:

- La frecuencia de limpieza requerida en la rejilla estática
- La cantidad y características de sólidos retirados diariamente en la rejilla y el sedimentador primario

- El flujo de agua a través del tratamiento primario
- El desempeño de las bombas de alimentación y descarga
- La cantidad de residuos y sólidos suspendidos que están siendo recuperados en el tamiz y el sedimentador primario
- Fugas

Una vez que esté verificado el estado y la correcta operación de todos los componentes de ambos tratamientos, se podrá proceder a poner en operación el proceso biológico y clarificador.

Arranque del sistema biológico aerobio y clarificador

Inicialmente, con el sistema lleno con agua, se pondrán en funcionamiento los equipos de aireación. La generación de burbujas finas de aire, dirigidas hacia el centro del tanque de aireación, denotará un sentido de giro apropiado de los equipos y su adecuado funcionamiento. Durante esta etapa, se verificará el estado de los diferentes elementos que los componen, así como su desempeño. Se observará, y registrará, entre otros, lo siguiente:

- Ausencia de ruidos extraños
- Ausencia de vibración en las estructuras de entrada de aire
- Producción de burbujas hasta el centro del tanque
- Una vez esté verificado el estado y la operación correcta del equipo aireador se procederá a admitir agua residual. El procedimiento de arranque del sistema está basado en el aumento “gradual” de la población microbiana existente en un momento dado con el fin de poder alcanzar las cargas orgánicas de diseño que pueden aplicarse al mismo. El procedimiento de arranque estará bien encaminado si es posible, a través del tiempo, aumentar paulatinamente la cantidad de material orgánico que entra al sistema, sin pérdida de eficiencia en la conversión de materia orgánica (sin observar un deterioro en la calidad del agua de salida del clarificador secundario) ni la aparición de olores molestos dentro del sistema.
- El agua pasa del tanque de aireación al clarificador final por gravedad, sin la intervención del operador. Este deberá asegurarse que la bomba de recirculación

opere de manera continua, y la salida del agua clarificada se realiza a través de toda la canal de recolección de efluente, sin observar zonas muertas.

8.5 Operación

Para la operación de la planta de tratamiento, el operador vigilará los siguientes aspectos. En cada uno de ellos, se deberá verificar y asegurar que cada etapa de la planta cumple con las condiciones para la cual fue diseñada y construida.

Tratamiento preliminar y primario

- El agua de llegada a la planta de tratamiento se hace de manera regulada
- La bomba de alimentación al tamiz estático opera de acuerdo con el nivel del cárcamo de bombeo y se apaga cuando el nivel de agua disminuye
- La rejilla estática desplaza los sólidos retenidos hacia la parte baja (estos se desprenden de manera natural) y la malla permanece libre de grasas
- Retirar de la superficie y del fondo del sedimentador primario los lodos y sólidos flotantes utilizando los barredores del mismo
- Llevar los lodos purgados por el sedimentador primario al digester de lodos
- El contenido del tanque de igualación es mezclado con el equipo de aireación y el pH del agua residual se mantiene alrededor de 7,0 a 7,5 unidades
- Se registra la temperatura del agua residual en el tanque de igualación, antes de su entrada al tratamiento aerobio

Sistema de lodos activados

- Se mide y registra diariamente el contenido de oxígeno disuelto en el tanque de Aireación. Este deberá ser mayor o igual a 1,5 mg/l
- Se mide y registra diariamente el nivel de biomasa (sólidos suspendidos) en el tanque de aireación mediante prueba de sedimentación en el cono Imhoff
- Si el nivel de biomasa alcanza los 1500 mg/l (unos 300 ml/l en media hora de sedimentación en el cono Imhoff) se deberá retirar lodos hacia el digester de lodos
- Se mide y registra diariamente el pH en el tanque de aireación

- Se mide y registra diariamente la turbidez del efluente del clarificador final
- Se verifica el retorno de lodos del clarificador final al selector biológico

8.6 Control operacional

La planilla de control diario que aparece en anexos puede ser usada como una guía para facilitar al operario las labores de seguimiento que debe hacer cada día a la planta de tratamiento. Adicionalmente, es conveniente realizar chequeos externos mensuales de la calidad del agua tratada. De esa forma se podrá observar el desempeño del sistema y detectar cualquier anomalía del sistema durante su operación. Para ello, se debe contratar los servicios de un laboratorio idóneo en el muestreo y el análisis de aguas residuales. Entre los análisis que se deben realizar cada mes están: pH, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO)

El agua que sale del sistema de tratamiento aerobio deberá ser libre de olor, con muy baja concentración de sólidos en suspensión, y libre de color.

Tratamiento preliminar

Toda el agua residual de la empresa llega a este punto. La operación estará centrada en revisar con frecuencia el estado de la rejilla, con el fin de tomar medidas que eviten su taponamiento: se dispone de un cepillo suave y de agua fresca a presión, para su limpieza. Durante los meses iniciales de arranque y operación, es conveniente que el operario de la PTAR registre la frecuencia de limpieza de la rejilla, así como la cantidad de sólidos retenidos y su apariencia. Durante esta etapa inicial debe cuidarse que no entren residuos de construcción (arenas, papeles, plásticos, pintura, etc.) al sistema de tratamiento pues ocasiona el atascamiento de los equipos de bombeo y la obstrucción de tuberías.

Sistema de lodos activados

Bajo condiciones normales de operación, el agua residual que sale del tanque de igualación llega hasta el selector biológico y, de allí pasa por gravedad al tanque de aireación y finalmente al clarificador secundario. Pasará luego a la caja final, desde donde abandona definitivamente el sistema de tratamiento para poder ser vertida al colector final.

En operación normal, y una vez se alcancen los niveles deseados de lodos (biomasa) dentro del tanque de aireación, se deberá proceder a purgar lodos del sistema. Su frecuencia variará de acuerdo con la concentración de las aguas residuales industriales. Esta purga se hace a través de las válvulas correspondientes, hacia el digestor de lodos. Este lodo debe digerirse (o “estabilizarse”) antes de ser retirado del sistema, por espacio de 15 días. La purga de lodos deberá de hacerse de acuerdo con el inventario de lodos (cantidad) dentro del tanque de aireación.

8.7 Posibles dificultades

Si se siguen las recomendaciones dadas en los apartados anteriores, la planta no deberá presentar problemas operativos. Sin embargo, algunas condiciones particulares pueden causar inconvenientes al operador, los principales de ellos aparecen a continuación.

- El cárcamo de bombeo (de recepción de las aguas residuales de la empresa) se rebasa: Se debe revisar que las bombas de alimentación al hidrotamiz (tamiz estático) estén energizadas; que el flotador que las controla esté operando bien y se encuentre ajustado al punto de control óptimo
- La rejilla estática (hidrotamiz) se está rebasando y el agua no pasa a través de la malla: Se debe limpiar la malla con un cepillo suave y con agua a presión pues la grasa tiende a adherirse a la malla obstruyéndola
- La trampa de grasas tiene algo de olor: Se debe limpiar la grasa con mayor frecuencia pues su acumulación genera reacciones de descomposición que causan olores molestos
- La trampa de grasas se tapona: Se debe retirar arenas del sistema con mayor frecuencia
- El tanque de igualación se rebasa o alcanza niveles altos peligrosos: Se debe revisar el estado de las bombas de alimentación
- El tanque de aireación presenta espuma blanca abundante: Es algo normal durante la puesta en operación del sistema. Se debe romper con agua en forma de ducha. Con el paso del tiempo la espuma desaparecerá

- El tanque de aireación presenta espuma marrón abundante: Se debe revisar el pH del tanque de aireación y asegurarse que se encuentra por encima de 7,0 unidades, además se debe revisar que la cantidad de sólidos suspendidos esté por debajo de los 1500 mg/l
- El tanque de aireación presenta espuma oscura abundante: Se debe revisar la concentración de oxígeno disuelto en el tanque, así como la concentración de biomasa, para asegurarse que se encuentran dentro de los valores establecidos
- El nivel de oxígeno en el tanque de aireación es bajo: Se debe revisar el estado de los equipos de aireación para asegurarse que no están obstruidos. Revisar la concentración de biomasa (sólidos suspendidos) dentro del tanque
- El efluente del clarificador final muestra alta concentración de sólidos suspendidos: Revisar el estado de la bomba de recirculación de lodos. Condiciones de pérdida de lodos en el clarificador deben atenderse con prontitud para evitar la pérdida de lodos del sistema

8.8 Mantenimiento

La norma básica a aplicar en el mantenimiento preventivo se puede resumir en los aspectos de Seguridad, Orden y Limpieza, “SOL”. El sistema de tratamiento de aguas residuales no maneja productos químicos tóxicos especiales. Sin embargo, posee tanques cerrados, tanques abiertos y materiales biológicos, los cuales presentan un riesgo potencial para la seguridad y la salud humana. Por ello, el personal operativo de la PTAR debe permanecer alerta todo el tiempo, y vigilar los aspectos de (1) Seguridad; (2) Salud; y (3) Medio Ambiente. El personal operativo vigilará en todo momento el cumplimiento de las normas mínimas de Seguridad establecidas por la empresa. Además, hará un énfasis especial sobre el cumplimiento de dichas normas a los visitantes que ocasionalmente lleguen a la PTAR.

Entre los puntos críticos a cuidar están:

- La PTAR maneja aguas residuales, las cuales presentan microorganismos potencialmente patógenos al ser humano. No se permite comer o fumar dentro de las instalaciones de la PTAR. Se dispone de jabón yodado (u otro bactericida) y

agua limpia dentro de la PTAR, para que el operario y los visitantes asean sus manos luego de recorrer las instalaciones

- Todo espacio cerrado debe ventilarse apropiadamente antes de ser inspeccionado. El tanque de igualación y pozo de bombeo inicial, constituyen espacios cerrados que solo puede inspeccionarse en su interior luego de una previa ventilación, y cumpliendo con todas las normas y protocolos de seguridad previstos por la empresa para estos casos. Dentro de estas unidades se puede liberar ácido sulfhídrico, H_2S , el cual es altamente tóxico. La producción de H_2S se debe a la presencia de bacterias sulfo-reductoras (las cuales transforman sulfatos en sulfuro), que generan H_2S bajo condiciones anaerobias
- Nota Importante: bajo ninguna circunstancia el operario entrará a uno de estos sitios (tanque de igualación) sin la supervisión de otra persona en la parte exterior de los mismos. El operario permanecerá en el interior de estas unidades el mínimo tiempo necesario para las labores de limpieza descritas antes y deberá salir con frecuencia a la superficie a respirar aire fresco
- El orden y el aseo alrededor de las instalaciones que conforman la planta de tratamiento son fundamentales para la buena imagen de la empresa y para la correcta operación del sistema. El operario vigilará siempre estos aspectos
- No se debe permitir el ingreso de niños ni de animales a la planta de tratamiento

8.9 Desechos

La planta de tratamiento producirá algunos subproductos. Los principales son los siguientes:

- Basuras (retenidas en la primera rejilla estática o hidrotamiz), grasas y arenas: Serán retiradas diariamente de la planta de tratamiento, guardadas en bolsas plásticas y retiradas con otras basuras de la empresa hacia el relleno sanitario de la ciudad
- Lodos aerobios, producidos en el sistema de lodos activados: Una vez estabilizados, este material puede igualmente ser aprovechado como acondicionador de suelos o enviados al relleno sanitario de la ciudad

8.10 Reportes operacionales

De acuerdo con lo establecido en el Decreto Ejecutivo 33601-S-MINAE, la empresa deberá hacer reportes operacionales trimestrales, con base en muestras compuestas de las aguas tratadas. Los parámetros a analizar y reportar son: (1) Temperatura, (2) pH, (3) Sólidos sedimentables, (4) Caudal, (5) DBO₅, (6) DQO, (7) Sólidos sedimentables totales, (8) Grasas y aceites, y (8) Plaguicidas. Todos los anteriores los realiza un laboratorio acreditado.

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se analizaron los parámetros físico-químicos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, y se determinó que cumple con las especificaciones que establece el MINAE para vertidos de industrias alimenticias
- Se determinó que la PTAR cuenta con complicaciones de espumado en el tanque equalizador, e, inconvenientes de espuma marrón y sedimentación de lodos en el tanque de aireación y clarificador respectivamente
- Revisando los reportes operacionales de la PTAR y relacionándolos con los programas de producción de la planta, se encontró que la espuma en el tanque equalizador aparece cuando se elabora el producto “A”
- Para la eliminación de la espuma en el tanque equalizador se sugiere la implementación de rociadores para manejar de una manera más automatizada el proceso
- Los parámetros causantes de los inconvenientes en el tanque de aireación y el clarificador de la PTAR son los sólidos suspendidos
- Para solucionar las complicaciones relacionadas con la purga de sólidos cuando hay un exceso de sólidos sedimentables se sugiere realizar la purga cada vez que se tengan 300 ml/l de sólidos sedimentables en un cono Imhoff en 30 min
- Con respecto a los sólidos suspendidos se recomienda incorporar un sedimentador primario con una malla catiónica al equipo de la PTAR
- Con respecto a la sobrecarga interna, se recomienda rediseñar la planta para un caudal de 150 m³/d, la cual manejaría con holgura la producción futura
- Las dimensiones obtenidas en los diferentes equipos muestran resultados adecuados para el terreno disponible
- El valor de la inversión inicial para realizar las adaptaciones propuestas a la planta se estima en \$81200

- Los impactos ambientales debido a la adaptación de la planta afectan de manera exclusiva el área de influencia directa del proyecto y son similares a los causados por cualquier tipo de construcción siendo estos de carácter temporal
- El principal impacto positivo del proyecto es la posibilidad de aumentar la producción de la planta, además del correcto funcionamiento de la misma
- El manual de operación y mantenimiento tienen como objetivo brindar una guía para el manejo adecuado del sistema, logrando así el funcionamiento óptimo del sistema propuesto
- Otra recomendación es la compra de un microscopio, un analizador de DQO y un medidor de oxígeno, de esta manera se puede analizar de manera más rápida cualquier inconveniente con la planta y por consiguiente la solución del mismo
- Se recomienda analizar la posibilidad de incluir un medidor de flujo a la entrada de la planta para facilitar el registro y análisis de pruebas

NOMENCLATURA

A	Área	m^2
ARI	Aguas residuales industriales	
B	Ancho	cm
C_H	Carga hidráulica	m^3/md
C_m	Carga másica	$kgDBO_5/kg$ SSV
C_v	Carga volumétrica	$kgDBO_5/m^3$
C_{su}	Carga superficial	m^3/m^2d
DBO_5	Demanda biológica de oxígeno en 5 días	mg/l
DBO_{5a}	Demanda biológica de oxígeno en 5 días en afluente	mg/l
DBO_{5e}	Demanda biológica de oxígeno en 5 días en efluente	mg/l
DO_2	Demanda de Oxígeno	kgO_2/d
DQO	Demanda química de oxígeno	mg/l
e	Separación de malla	mm
E	Eficiencia eliminación DBO_5	%
E_f	Edad de fango	d
F/M	Food to microorganisms	
GA	Grasas y aceites	mg/l
H	Altura	cm
L	Longitud	cm
N	Nitrógeno	
P	Fósforo	
pH	Potencial de hidrógeno	
P_e	Producción específica de fango	kg fango/ kg DBO_5
P_f	Producción de fango	kg fango/d
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales	
Q	Caudal	m^3/d
Q_a	Caudal acumulado	m^3/h
Q_m	Caudal medio	m^3/d
Q_p	Caudal punta	m^3/d
SD	Sólidos disueltos	ml/l
SS	Sólidos sedimentables	mg/l
SST	Sólidos suspendidos totales	mg/l
SSV	Sólidos suspendidos volátiles	mg/l
SSR	Concentración fango recirculado	g/l
ST	Sólidos totales	mg/l

SVI	Índice volumétrico de fango	ml/g
T	Temperatura	°C
TKN	Nitrógeno total Kjeldhal	
TRH	Tiempo retención hidráulico	h
V	Volumen	m ³
V ₃₀	Volumen en 30 minutos	ml/l
WPCF	Método empírico del manual de práctica 8	
WRC	Método del Water Research Center	
Símbolos		
ρ	Densidad	kg/m ³
Θ	Pendiente	°

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación nacional de industriales. (1997). *Manual de Caracterización de Aguas Residuales*. Medellín: ANDI.
- Bitton, G. *Wastewater Microbiology*. 2nded. New York: Wiley-Liss, Inc., 1999
- Cheremisinoff, P.N. (2001). *Handbook of Water and Waste Water Treatment Technology*. Marcel Dekker.
- CONAGUA. (s.d.). *Cuanta agua tiene el planeta*. Centro Virtual de Información del Agua. Recuperado el 27 de febrero de 2012, a partir de <http://www.agua.org.mx/content/section/5/27>
- Daphne, L. (1994). *Hazardous organic waste amenable to biological treatment*. Chelsea: Lewis Publishers.
- Dillner Westlund, A. Hagland, E. and Rothman, M. (1998). *Foaming in anaerobic digesters caused by Microthrix parvicella*. The Conference Program Committee. (G.B.) BPC Wheatons.
- Falcon, C. (1964). *Manual de tratamiento de aguas negras*. México: limusa.
- Celenza, G.J. (2000). *Industrial Waste Treatment Process Engineering Biological Processes*. Technomic Publishing.
- Garay, J. Panizzo, L. (1993). *Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos*. Cartagena: Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas.

- Henry, J. & Heinke, G. (1999). *Ingeniería ambiental*. México: Prentice Hall.
- Jenkins, D., Richard, M. G. y Daigger, G. T. (1993). *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*. USA: Lewis Publishers.
- Jenkins, D., Richard, M. G. and Daigger, G. T. (2004). *Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming and other solids separation problems*. London: IWA Publishing.
- Kerley, S. and Forster, C. F. (1995). *Extracellular polymers in activated sludge and stable foams*. Biotech.
- Khemis, M., Tanguy, G., Leclerc, J., Valentin, G., Lapique, F. (2005). *Electrocoagulation for the treatment of oil suspensions: relation between the electrode generations and the waste content*. Process Safety and Environmental Protection.
- KIELY, G. (1999). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Mc. Graw Hill.
- Mamais, D., Andreadakis, A., Noutsopoulos, C. and Kalergis, C. (1998). *Causes of, and control strategies for, Microthrix parvicella bulking and foaming in nutrient removal activated sludge systems*.
- Marco, A. E. (1997). *How and why combine chemical biological processes for wastewater treatment*. Sci.Tech.

- Martin, M.E. (2007). *Dimensionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en una urbanización y formulación del manual de operación y mantenimiento*.
- McCarthy, P. (1981). *One hundred years of anaerobic treatment*. Alemania: Travemude.
- Peters, M; Timmerhaus, K & West, R. (2003). *Plant design and economics for chemical engineers*. New York: McGraw Hill.
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de Aguas Residuales*. México: Reverté.
- Rodier, J. (1981). *Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Barcelona: Omega.
- Rodríguez Fernández-Alba, A., Letón García, P., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernández, S., & Sanz García, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Informes de Vigilancia Tecnológica. Madrid: CITME, CEIM, Comunidad de Madrid.
- Seviour, R. J. and Blackall, L. L. (1998). *The microbiology of activated sludge*. London: Chapman & Hall.
- Scott, J.P. & Ollis, D.F. (1995). *Integration of chemical and biological oxidation processes for water treatment: review and recomendation*. Environ.

APÉNDICES

APÉNDICE A
DATOS EXPERIMENTALES

Cuadro A.1 Resultados de la caracterización del agua residual del efluente

Parámetro	Muestra de agua		
	#1	#2	#3
Q (m ³ /d)	62,2	67,8	62,9
pH	6,7	6,7	6,8
T (°C)	26,1	26,8	26,1
DBO ₅ (mg/l)	70	18	22
DQO (mg/l)	110	120	45
ST (mg/l)	1100	950	1200
SD (mg/l)	1050	900	1150
SST(mg/l)	50	50	50
SD (ml/l)	0,2	0,15	0,13
GA (mg/l)	5	3	3

Cuadro A.2 Resultados de la caracterización del agua residual del tanque de aireación

Parámetro	Valor
Q (m ³ /d)	110
pH	7
T (°C)	25
DBO ₅ (mg/l)	100
DQO (mg/l)	240
ST (mg/l)	6500
SD (mg/l)	3500
SST (mg/l)	3000
SS (ml/l)	700
GA (mg/l)	7

Cuadro A.3 Resultados de la caracterización del agua residual del afluente

Parámetro	Muestra de agua		
	#1	#2	#3
DBO ₅ (mg/l)	1035	987	878
DQO (mg/l)	2070	1840	1600
SSV (mg/l)	2572	2025	1910

APÉNDICE B
RESULTADOS INTERMEDIOS

Cuadro B.1 Datos de pesos de crisoles sin muestra para determinar los sólidos totales

Número de crisol	Crisoles sin muestra (g)
1	85,391
2	85,391
3	85,387
4	85,372

Cuadro B.2 Datos de pesos de crisoles con muestra para determinar los sólidos totales

Número de crisol	Crisoles con muestra (g)
1	85,413
2	85,410
3	85,411
4	85,502

Cuadro B.3 Datos de pesos de crisoles sin muestra para determinar los sólidos disueltos

Número de crisol	Crisoles sin muestra (g)
1	85,390
2	85,391
3	85,390
4	85,387

Cuadro B.4 Datos de pesos de crisoles con muestra para determinar los sólidos disueltos

Número de crisol	Crisoles con muestra (g)
1	85,411
2	85,409
3	85,413
4	85,457

Cuadro B.5 Datos para el dimensionamiento de equipos

Característica	Valor
Qa(m ³ /h)	6,25
Qp(m ³ /d)	150
Qm(m ³ /d)	110
DBO _{5a} (mg/l)	1035
DBO _{5e} (mg/l)	150
SSV(mg/l)	2572

Cuadro B.6 Resultados del dimensionamiento del tamiz estático inclinado

Característica	Valor
e(mm)	1-0,5
$\Theta(^{\circ})$	45
H(cm)	82
B(cm)	40
L(cm)	234

Cuadro B.7 Resultados del dimensionamiento del separador de grasas y aceites

Característica	Valor
H (cm)	1,6
B (m)	40
L (m)	80

Cuadro B.8 Resultados del dimensionamiento del sedimentador primario

Característica	Valor
% remoción (%)	60
C_{su} (m^3/m^2d)	35
P_r (m)	3,6
B (m)	1
L (m)	3
A (m^2)	4,3
V (m^3)	16
TRH (h)	2,56
C_H (m^3/md)	57,7

Cuadro B.9 Resultados del dimensionamiento del tanque equalizador

Parámetro	Valor
Q_a (m^3/h)	6,25
TRH (h)	16,2
V(m^3)	102

Cuadro B.10 Resultados del dimensionamiento del selector biológico

Parámetro	Valor
Q_a (m^3/h)	6,25
TRH (h)	2
V (m^3)	13
H (m)	3,5

Cuadro B.11 Resultados del dimensionamiento del tanque de aireación

Característica	Valor
V(m ³)	263
C _m (kg DBO ₅ /kg SSV)	0,23
C _v (kg DBO ₅ /m ³)	0,59
TRH(h)	42
P _f (kg/d)	56,26
E _f (d)	12
P _e (kg fangos exceso/kg DBO ₅)	0,86
N(kg/d)	1,5
P(kg/d)	0,6
E(%)	90
DO ₂ método WPCF, (kgO ₂ /d)	132,75
DO ₂ , método Eckenfelder (kgO ₂ /d)	160
DO ₂ , método WRC (kgO ₂ /d)	140,32
DO ₂ , método ATV (kgO ₂ /d)	157,18
DO ₂ materia nitrogenada, (kgO ₂ /d)	27,42
DO ₂ materia desnitrificada, O ₂ (kgO ₂ /d)	4,29
DO ₂ (kgO ₂ /d)	174,98

Cuadro B.12 Resultados del dimensionamiento del clarificador

Característica	Valor
TRH (h)	6,3
V (m ³)	40
A (m ²)	19
C _H (m ³ /md)	31,25
L (m)	4,8
SVI (ml/g)	272,16
SSr (g/L)	10

Cuadro B.13 Resultados del dimensionamiento del digestor de lodos

Característica	Valor
V (m ³)	46,5
P _f (kg fangos/d)	7,97

APÉNDICE C

MUESTRA DE CÁLCULO

C.1 Cálculo de los sólidos totales

Para obtener este valor se toma el peso del crisol con la muestra y se le resta el valor del crisol solo, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$ST = \text{masa crisol con muestra} - \text{masa crisol sin muestra} \quad \text{C.1}$$

Por ejemplo para el crisol #1 se toman los datos del cuadro B.1 columna 2, fila 2 (masa del crisol con muestra) y los datos del cuadro B.1 columna 2, fila 2 (masa del crisol sin muestra), y se obtiene:

$$85,413 - 85,391 = 0,022 \text{ g} = 22 \text{ mg}$$

A continuación se debe dividir los mg obtenidos entre la cantidad de muestra utilizada que fue 20 ml (0,02 L), se obtiene:

$$\frac{22}{0,02} = 1100 \text{ mg/l}$$

Resultado que se encuentra en el cuadro A.1 columna 2, fila 7.

C.2 Cálculo de los sólidos disueltos

Para obtener este valor se toma el peso del crisol con la muestra previamente filtrada y se le resta el valor del crisol solo, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$ST = \text{masa crisol con muestra} - \text{masa crisol sin muestra} \quad \text{C.2}$$

Por ejemplo para el crisol #1 se toman los datos del cuadro B.2 columna 2, fila 2 (masa del crisol con muestra) y los datos del cuadro B.2 columna 2, fila 2 (masa del crisol sin muestra), y se obtiene:

$$85,411 - 85,390 = 0,021 \text{ g} = 21 \text{ mg}$$

A continuación se debe dividir los mg obtenidos entre la cantidad de muestra utilizada que fue 20 ml (0,02 L), se obtiene:

$$\frac{21}{0,02} = 1050 \text{ mg/l}$$

Resultado que se encuentra en el cuadro A.1 columna 2, fila 8.

C.3 Cálculo de los sólidos suspendidos totales

Para obtener los Sólidos Suspendidos Totales simplemente se restan los Sólidos Totales menos los Sólidos Disueltos, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$SST = ST - SD \quad \text{C.3}$$

De esta manera para el crisol #1 utilizando los datos del cuadro A.1 columna 2, fila 7 (ST) y los datos de la columna 2, fila 8 (SD), se obtiene:

$$1100 - 1050 = 50 \text{ mg/l}$$

Resultado que se observa en el cuadro A.1 columna 2, fila 9.

C.4 Cálculo del área del sedimentador primario

Para obtener el área del sedimentador primario se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q}{C_{su}} \quad \text{C.4}$$

Si se asume un 60% de remoción de DBO y sólidos suspendidos, según el anexo 2 se obtiene una carga superficial de $35 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. Y del cuadro B.5 columna 2 fila 3 se obtiene el caudal. De esta manera se obtiene:

$$A = \frac{150}{35} = 4,3 \text{ m}^2$$

Este resultado se observa en el cuadro B.8 columna 2 fila 7

C.5 Cálculo del volumen del sedimentador primario

Para obtener el volumen del sedimentador primario se usa la siguiente ecuación:

$$V = AxP_r \quad \text{C.5}$$

Si se decide utilizar una profundidad de 3,6 m y se tiene un área de $4,3 \text{ m}^2$ en el cuadro B.8 columna 2 fila 7. Se obtiene el siguiente resultado:

$$V = 4,3 \times 3,6 = 16 \text{ m}^3$$

Este resultado se encuentra en el cuadro B.8 columna 2 fila 8.

C.6 Cálculo del tiempo de retención hidráulica del sedimentador primario

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$TRH = V/Q \quad C.6$$

Se tiene el valor del volumen en el cuadro B.8 columna 2 fila 8, y el valor del caudal en el cuadro B.5 columna 2 fila 3. Con estos datos se obtiene:

$$TRH = \frac{16}{150} = 0,11 \text{ d} = 2,56 \text{ h}$$

El valor del TRH se encuentra en el cuadro B.8 columna 2 fila 9.

C.7 Cálculo del volumen del tanque equalizador

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = TRH \times Q \quad C.7$$

Donde el TRH se obtiene del cuadro B.9 columna 2 fila 3 y el caudal del cuadro B.5 columna 2 fila 3, de esta manera se obtiene:

$$V = 16,2 \times 6,25 = 101,25 = 102 \text{ m}^3$$

El resultado se puede observar en el cuadro B.9 columna 2 fila 4.

C.8 Cálculo del volumen del selector biológico

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = TRH \times Q \quad C.8$$

Donde el TRH se obtiene del cuadro B.10 columna 2 fila 3 y el caudal del cuadro B.5 columna 2 fila 3 que es $150 \text{ m}^3/\text{d}$ ($6,25 \text{ m}^3/\text{h}$), de esta manera se obtiene:

$$V = 2 \times 6,25 = 12,5 = 13 \text{ m}^3$$

El resultado se puede observar en el cuadro B.10 columna 2 fila 4.

C.9 Cálculo de la carga másica del tanque de aireación

Con el fin de obtener la carga másica del tanque de aireación se procede a utilizar la siguiente ecuación:

$$C_m = \frac{DBO_{5a} \times Q}{SSV \times V} \quad \text{C.9}$$

Si se utilizan los datos del cuadro B.5 columna 2, fila 3, 4, 6 para obtener los datos del caudal, DBO₅ y SSV respectivamente, además se necesita el volumen que se obtiene del cuadro B.11 columna 2 fila 2, de esta manera se obtiene:

$$C_m = \frac{1035 \times 150}{2572 \times 263} = 0,23 \frac{kgDBO}{kgSSV}$$

El resultado se observa en el cuadro B.11 columna 2 fila 3.

C.10 Cálculo del volumen del tanque de aireación

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = TRH \times Q \quad \text{C.10}$$

Donde el TRH se obtiene del cuadro B.11 columna 2 fila 5 y el caudal del cuadro B.5 columna 2 fila 3, de esta manera se obtiene:

$$V = 42 \times 6,25 = 262,5 = 263 \text{ m}^3$$

El resultado se puede observar en el cuadro B.11 columna 2 fila 2.

C.11 Cálculo de la carga volumétrica del tanque de aireación

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_v = \frac{DBO_{5a} \times (1/1000) \times Q}{V} \quad \text{C.11}$$

Se deben utilizar los datos del cuadro B.5 columna 2 fila 4,3 para obtener los valores de la DBO₅ y el caudal respectivamente, también se necesita el valor del volumen del tanque el valor de este se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 2. Con esos datos se obtiene:

$$C_v = \frac{1035 \times (1/1000) \times 150}{263} = 0,59 \text{ kgDBO/m}^3$$

El resultado se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 4.

C.12 Cálculo de la producción de fangos del tanque de aireación

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_f = \frac{SSV \times V}{E_f \times 1000} \quad \text{C.12}$$

Como se mencionó anteriormente el valor de SSV se obtiene del cuadro B.5 columna 2 fila 6, el volumen se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 2 y se toma la edad del fango como 12 días según el diseño original del equipo. Con estos valores se obtiene el siguiente resultado:

$$P_f = \frac{2572 \times 263}{12 \times 1000} = 56,26 \text{ kg/d}$$

Este resultado se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 6.

C.13 Cálculo de la producción específica de fangos del tanque de aireación

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_e = 1,2 \times C_m^{0,23} \quad \text{C.13}$$

El único valor que se necesita es el de la carga másica, el mismo se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 3. Se obtiene el siguiente resultado:

$$P_e = 1,2 \times 0,2^{0,23} = 0,86 \text{ kg lodo/kgDBO}$$

Ese valor se puede encontrar en el cuadro B.11 columna 2 fila 8.

C.14 Cálculo del porcentaje de remoción de DBO₅ del tanque de aireación

Para obtener este parámetro se utiliza la figura del anexo A.3, donde se necesita el valor de la carga másica que se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 3, y se obtiene un 90% de remoción de DBO₅ del tanque de aireación.

El resultado se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 11.

C.15 Cálculo de dosificación de nutrientes

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$100\text{DBO}_5:5\text{N}:1\text{P}$$

C.15

Se necesita el valor de la DBO_5 del afluente que es 103,5 kg/d la cual se obtiene del cuadro B.5 columna 2 fila 4, si este valor se multiplica por 5 y se divide entre 100 se obtienen 5,175 kg/d de N. Ahora si se multiplica 103,5 kg/d por 1 y se divide entre 100 se obtiene 1,035 kg/d de P. A estos valores se le restan 3,7 kg de N y 0,43 kg de P que contiene el agua de la PTAR y se obtiene 1,5 de N y 0,6 de P.

Esos resultados se encuentran en el cuadro B.11 columna 2 fila 9 y 10.

C.16 Cálculo de la demanda de oxígeno del tanque de aireación

Para obtener este parámetro se debe determinar la materia carbonosa, la materia nitrogenada y la materia desnitrificada, y para esto existen distintos métodos que se pueden aplicar, a continuación se mencionan los mismos:

C.16.1 Materia carbonosa

- **Método empírico del manual de práctica 8 (WPCF)**

Usando el gráfico de consumo de oxígeno en función de la edad del fango (12 días) y la temperatura (25 °C), se leyó el valor del consumo de oxígeno eliminado que fue 1,0 kg O_2 /kg DBO_5 . Este valor se necesita convertir a kg O_2 /d mediante la siguiente ecuación:

$$WPCF = O_2 \times Q \times ((\text{DBO}_{5a} - \text{DBO}_{5e})/1000) \quad \text{C.16.1}$$

Los valores del caudal y de las DBO_5 de entrada y salida se encuentran en el cuadro B.5 columna 2 fila 3, 4 y 5 respectivamente, de esta manera se obtiene:

$$WPCF = 1,0 \times 150 \times \left(\frac{(1035 - 150)}{1000} \right) = 132,75 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

El resultado se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 12.

- **Método basado en los modelos de Eckenfelder, Lawrence y McCarty**

En este método se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{kgO}_2/\text{d} = a \times \frac{Q(\text{DBO}_{5a} - \text{DBO}_{5e})}{1000} + b \times V \times \left(\frac{\text{SSV}}{1000}\right) \quad \text{C.16.1.2}$$

Donde $a=0,578$ para un $C_m=0,23$ kg O₂/kg DBO₅ y $b=0,106$ d⁻¹ a 25 °C. Además se necesitan los valores del caudal, DBO₅ de entrada y salida y la cantidad de SSV de la PTAR, valores que se encuentran respectivamente en el cuadro B.5 columna 2 fila 3, 4, 5, 6. Para finalizar el volumen se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 2. Finalmente se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{kgO}_2/\text{d} = 0,578 \times \frac{150(1035 - 150)}{1000} + 0,106 \times 262,5 \times \left(\frac{2572}{1000}\right) = 160$$

El resultado se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 13.

- **Método del Water Research Center (WRC)**

Para utilizar este método se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{kgO}_2/\text{kgDBO}_5 = 0,75 + \frac{0,0525}{C_m \times \left(\frac{\text{DBO}_{5a} - \text{DBO}_{5e}}{\text{DBO}_{5a}}\right)} \quad \text{C.16.1.3}$$

Donde el C_m se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 3 y la DBO₅ del afluente y efluente están en el cuadro B.5 columna 2 fila 4, 5. Se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{kgO}_2/\text{kgDBO}_5 = 0,75 + \frac{0,0525}{0,23 \times \left(\frac{1035 - 150}{1035}\right)} = 1,057$$

Ese valor es equivalente a 140,32 kg O₂/d resultado que se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 14.

- **Método de la ATV**

Para utilizar este método es necesario realizar la siguiente ecuación:

$$\text{kgO}_2/\text{kgDBO}_5 = 0,5 + \frac{0,144 \times E_f \times 1,072^{(T-15)}}{1 + E_f \times 0,08 \times 1,072^{(T-15)}} \quad \text{C.16.1.4}$$

Si se sabe que la edad de los fangos según el diseño es de 12 días y la temperatura del equipo es de 25 °C, se obtiene:

$$\text{kgO}_2/\text{kgDBO}_5 = 0,5 + \frac{0,144 \times 12 \times 1,072^{(25-15)}}{1 + 12 \times 0,08 \times 1,072^{(25-15)}} = 1,184$$

Ese valor equivale a 157,18 kg O₂/d y se puede encontrar en el cuadro B.11 columna 2 fila 15.

C.16.2 Materia nitrogenada

Para determinar la cantidad de materia nitrogenada se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{kgO}_2/\text{d} = 4,57 \times Q \times N - \text{NO}_{3f} \quad \text{C.16.2.1}$$

Se necesita saber el valor del caudal el cual se encuentra en el cuadro B.5 columna 2 fila 3 y de los nitratos formados los cuales se asumen que son 0,04 g/l, de esta manera se obtiene:

$$\text{kgO}_2/\text{d} = 4,57 \times 150 \times 0,04 = 27,42$$

Este valor se puede encontrar en el cuadro B.11 columna 2 fila 16.

C.16.3 Materia desnitrificada

Para obtener este parámetro se necesita la siguiente ecuación:

$$\text{kgO}_2/\text{d} = 2,86 \times Q \times N - \text{NO}_{3r} \quad \text{C.16.3.1}$$

Donde se necesita saber el valor del caudal que se encuentra en el cuadro B.5 columna 2 fila 3, y el valor de los nitratos reducidos por conversión nitrógeno-gas que se asume que es 0,01 g/l. De esta manera se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{kgO}_2/\text{d} = 2,86 \times 150 \times 0,01 = 4,29$$

Este valor se encuentra en el cuadro B.11 columna 2 fila 17.

C.17 Cálculo del área del clarificador

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q}{C_{Su}} \quad \text{C.17}$$

Si se utiliza una carga superficial igual a la de diseño ($8,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) y un caudal de $150 \text{ m}^3/\text{d}$ valor que se encuentra en el cuadro B.5 columna 2 fila 3, se obtiene:

$$A = \frac{150}{8,3} = 19 \text{ m}^2$$

Este valor se puede encontrar en el cuadro B.12 columna 2 fila 4.

C.18 Cálculo de la longitud sobre el vertedero del clarificador

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$L = \frac{Q}{C_H} \quad \text{C.18}$$

Si se sabe que el caudal es $150 \text{ m}^3/\text{d}$ según el cuadro B.5 columna 2 fila 3, y que la carga hidráulica del vertedero es de $31,25 \text{ m}^3/\text{md}$. Se obtiene el siguiente resultado:

$$L = \frac{150}{31,25} = 4,8 \text{ m}$$

Este resultado se puede observar en el cuadro B.12 columna 2 fila 6.

C.19 Cálculo del volumen en el clarificador

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$TRH \times Q = V \quad \text{C.19}$$

Donde el TRH se obtiene del cuadro B.12 columna 2 fila 2 y el caudal del cuadro B.5 columna 2 fila 3 que es $150 \text{ m}^3/\text{d}$ ($6,25 \text{ m}^3/\text{h}$), de esta manera se obtiene:

$$V = 6,3 \times 6,25 = 39,37 = 40 \text{ m}^3$$

El resultado se puede observar en el cuadro B.12 columna 2 fila 3.

C.20 Cálculo del índice volumétrico del fango en el clarificador

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$SVI = \frac{V_{30}}{SSV} \times 1000 \quad \text{C.20}$$

Si se obtuvo un valor de 800 ml/l en media hora, y el valor de SSV se encuentra en el cuadro B.5 columna 2 fila 6, se obtiene:

$$SVI = \frac{700}{2572} \times 1000 = 272,16 \text{ ml/g}$$

Este valor se encuentra en el cuadro B.12 columna 2 fila 7.

C.21 Cálculo del volumen del digestor de lodos

Para obtener el valor del volumen del digestor se utiliza la siguiente ecuación teniendo en cuenta que el tiempo de residencia se toma igual que el del diseño original (0,31 d=7,44 h):

$$V = Q \times TRH \quad \text{C.21}$$

El valor del caudal se encuentra en el cuadro B.5 columna 2 fila 3, de esta manera se obtiene:

$$V = 150 \times 0,31 = 46,5 \text{ m}^3$$

Este resultado se encuentra en el cuadro B.13 columna 2 fila 2.

C.22 Cálculo de la producción de lodos del digestor de lodos

Para obtener este parámetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_f = \frac{SSV \times V}{E_f \times 1000} \quad \text{C.22}$$

Como se mencionó anteriormente el valor de SSV se obtiene del cuadro B.5 columna 2 fila 6, el volumen se encuentra en el cuadro B.13 columna 2 fila 2 y se toma la edad del fango como 15 días según el diseño original del equipo. Con estos valores se obtiene el siguiente resultado:

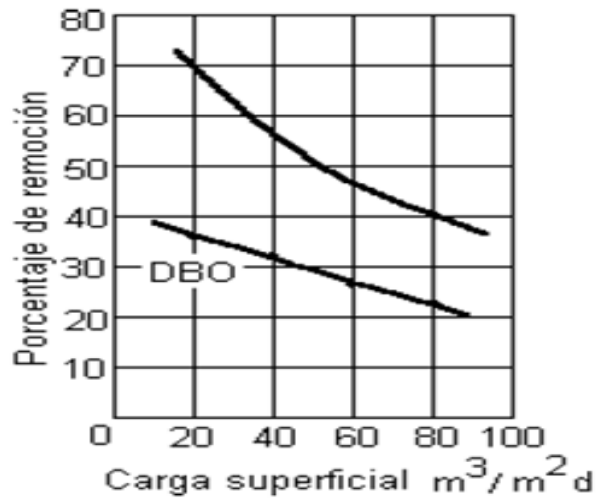
$$P_f = \frac{2572 \times 46,5}{15 \times 1000} = 7,97 \text{ kg/d}$$

Este resultado se encuentra en el cuadro B.13 columna 2 fila 3.

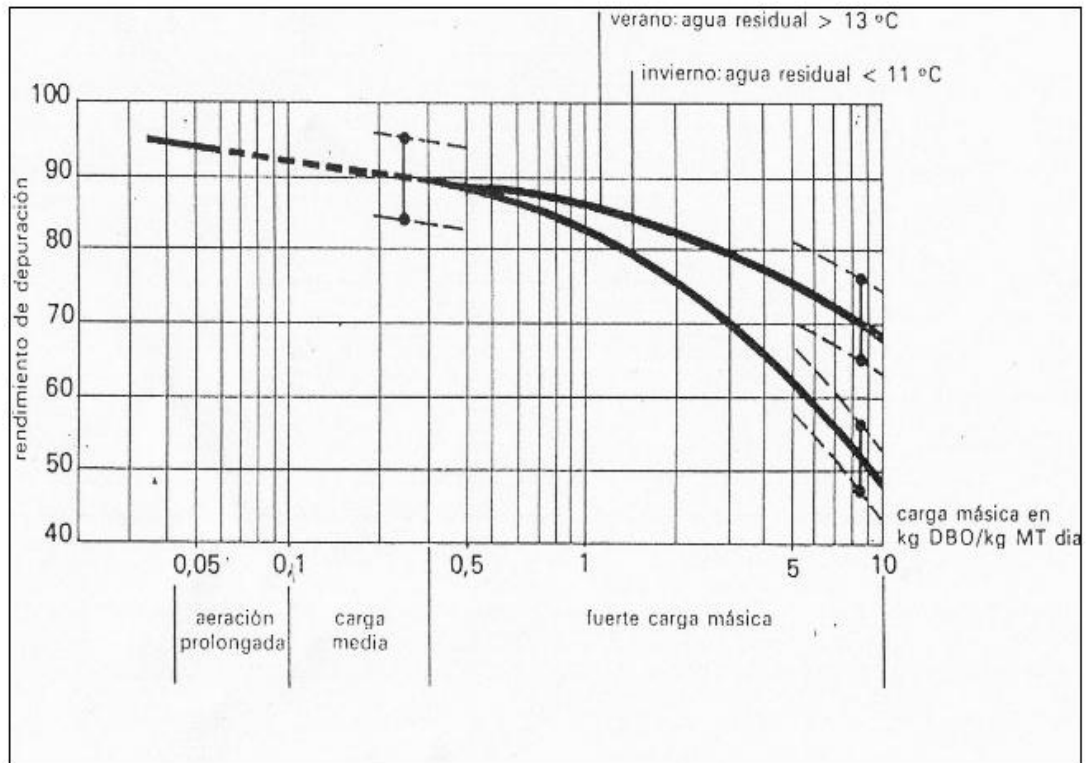
ANEXOS

Aspectos a revisar y ejecutar	Primario	Tanque de Aireación	Clarificador	General
11. Limpia la Rejilla				
12. Limpia el Tanque de Igualación				
13. Toma lectura de Caudal, L/s				
14. Limpia Trampa Grasas y arenas				
15. Dispone la basura en sitio asignado				
21. Revisa equipo de aireación				
22. Mide Inventario de Lodos				
23. Mide concentración de Oxígeno				
24. Mide pH del Tanque de Igualación				
25. Retira espumas y natas				
26. Purga Lodos si es necesario				
27. Revisa retorno de Lodos				
41. Mira la entrada libre de agua				
42. Mira la nivelación de canaleta				
43. Mira ausencia de hojas y basuras				
44. Hace limpieza de paredes y canaletas				
45. Revisa el estado de la bomba				
51. Revisa el estado de malla perimetral				
52. Limpia basuras y hierbas en la planta				
53. Revisa ausencia de olores en planta				
54. Registra visitantes en bitácora				
55. Registra situaciones extrañas bitácora				
56. Comunica situaciones nuevas				

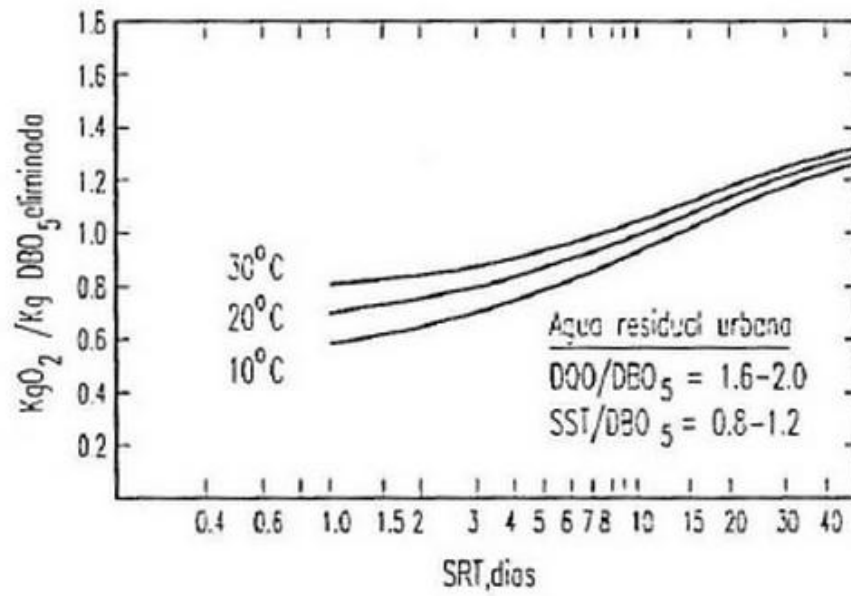
Anexo 1. Planilla de control diario



Anexo 2. Remoción de DBO y sólidos suspendidos en función de la carga superficial



Anexo 3. Obtención del rendimiento de eliminación de DBO5 a partir de la carga másica (Figura 12.5 kiely)



Anexo 4. Consumo de oxígeno en función del TRH y la temperatura

