

T.Mon
628.3
J61
2011



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
RECINTO UNIVERSITARIO "SIMÓN BOLÍVAR"
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



“Pre-Diseño de una Unidad de Tratamiento de las Aguas Residuales procedentes de una Industria de Bebidas”

Trabajo de Diploma elaborado por:

Thelma Teresa Jiménez Jerez
Alexander Javier Mairena Romero

Para optar al Título de Ingeniero Químico

Tutor: Ing. Larisa Korsak, MSc.

Asesor: Ing. Silvio Rojas, MSc.

Enero 2011

Managua, Nicaragua

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarnos en todo momento de nuestras vidas, por brindarnos sabiduría en los 5 años de nuestra carrera universitaria, por darnos la oportunidad de culminar con éxito nuestros estudios universitarios

De manera especial, agradecemos a nuestra tutora Tkn. Larissa Korsak, por brindarnos todo su apoyo, tiempo invertido, paciencia y por transmitirnos todo su conocimiento en la durante la realización de nuestro trabajo monográfico.

Al MSc. Ing. Silvio Rojas, por todo su tiempo empleado en la asesoría de la realización del estudio de rentabilidad del presente trabajo monográfico.

Al Ing. Vidal Téllez, por habernos brindado la oportunidad de realizar nuestra tesis en la Industria de Bebidas, y por toda la colaboración durante la realización de este documento.

**Thelma Teresa Jiménez Jerez
Alexander Javier Mairena Romero.**

DEDICATORIA

Primeramente a mi Dios todo poderoso, por todas las cosas maravillosas que me ha dado en lo largo de mi vida, especialmente por brindarme la oportunidad de finalizar mis estudios universitario.

A mis padres Sr.: Miguel Jiménez García y Sra.: Thelma Jerez Bustos, que son las personas que más admiro en la vida, por sus esmeros, dedicación, esfuerzo y luchas para formarme como profesional.

A mi hermana Samaria Jiménez, por el cariño y el apoyo incondicional que me brinda.

A mi novio y compañero de tesis Alexander Mairena Romero, por el apoyo, cariño, comprensión y por ser partícipe de esta meta propuesta.

Thelma Teresa Jiménez Jerez.

DEDICATORIA

Dedico este Trabajo Monográfico a Dios a nuestro Señor por haberme guiado y fortalecido en mí caminar como estudiante y por permitirme culminar satisfactoriamente mi carrera universitaria.

A mi familia, especialmente a mis padres y hermanos(as) por todo su amor, cariño y comprensión a lo largo de los años, con su sacrificio y esfuerzo me brindaron los medios necesarios para coronar mi carrera como Ingeniero Químico.

A mi novia y mejor amiga Thelma Jiménez, por estar a mi lado en todo momento ofreciéndome su apoyo durante mis estudios universitarios y en la realización de este trabajo.

Alexander Javier Mairena Romero.

OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUÍA

El trabajo de Diploma titulado ***“Pre-Diseño de una Unidad de Tratamiento de las Aguas Residuales procedentes de una Industria de Bebidas”*** realizado por los bachilleres Thelma Teresa Jiménez Jerez y Alexander Javier Mairena Romero es un trabajo en el campo de Medio Ambiente, que al ser implementado, representará para la Industria de Bebidas un ahorro de aproximadamente 21,358 dólares anuales en concepto de tratamiento de las aguas residuales. Según los parámetros establecidos en la FIQ, dicho trabajo se puede catalogar de tipo mixto, que incluye una investigación aplicada, que generó datos para el diseño; el pre-diseño del sistema de tratamiento, utilizando modelos y métodos de cálculo aceptados internacionalmente; y una evaluación de viabilidad técnico- económica para una industria de moderada contaminación.

El trabajo se realizó en coordinación con Industria de Bebidas, la empresa facilitó todos los datos necesarios para que el diseño, y expresó claramente sus preferencias en tanto respecto a las tecnologías de purificación existentes, como las expectativas de ahorros esperados. También, los bachilleres tuvieron apoyo del Centro de Investigación de Recursos Acuáticos (CIRA) de la UNAN, donde se realizaron todos los análisis químicos del agua a tratar.

Los bachilleres durante el estudio, demostraron mucha responsabilidad, la capacidad y eficiencia en búsqueda de la información, mucha motivación para llevar a cabo de manera exitosa sus estudios universitarios.

Como catedrático guía considero que el trabajo cumple totalmente con la calidad técnica y científica requerida, por lo que solicito a los honorables miembros del tribunal examinador evaluar este gran esfuerzo y otorgar a los bachilleres **Thelma Teresa Jiménez Jerez y Alexander Javier Mairena Romero** el título de Ingeniero(a) Químico(a).

Ing. LARISA KORSAK, MSc
Tutora del estudio
Profesora titular

RESUMEN

En el presente trabajo monográfico, se desarrolló un pre diseño del sistema para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Industria de Bebidas, que al ser implementado permitirá a la misma tratar las aguas en sus propias instalaciones, obteniendo así ahorros anuales; en lugar de tener el contrato con ENACAL para su tratamiento respectivo, como sucede actualmente.

Inicialmente se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica a través de la realización de 3 muestreos. Los valores promedios obtenidos fueron comparados con la norma expresada en el Decreto 33-95, artículo 19 del Ministerio de Ambiente de Recursos Naturales (MARENA); lo que permitió establecer que solamente la temperatura cumple con las características especificadas.

Tomando en cuenta el consumo de agua en la empresa, las producciones anuales y el indicador de agua por litro de bebida producida, se proyectó el caudal de diseño; y con base en las caracterizaciones fisicoquímicas del agua residual se seleccionó un sistema de tratamiento. Este es un sistema aerobio, de lodo activado, eficaz para lograr el cumplimiento de las normas de vertidos aplicables a la Industria de Bebidas y con mínimo riesgo de malos olores, un aspecto importante tratándose de la industria de la rama alimenticia.

Se determinó la rentabilidad del proyecto usando el análisis del VPN, el cual fue igual a U\$ 94,318.06; este valor nos indica lo favorable que es que para la Industria de Bebidas tratar sus aguas dentro de sus instalaciones, ya que se tendrían ahorros de 21,358.67 dólares anuales.

Tabla de Contenido		Página
I.	Introducción	1
II.	Objetivos	2
III.	Marco teórico	3
	3.1 Generalidades del agua residuales	3
	3.2 Clasificación de las aguas residuales industriales	3
	3.3 Características de aguas residuales	4
	3.3.1 Propiedades físicas	4
	3.3.2 Propiedades químicas	5
	3.3.3 Constituyentes inorgánicos	5
	3.4 Métodos de tratamiento	6
	3.5 Niveles de tratamiento de las aguas residuales	7
	3.6 Etapas de tratamiento de las aguas residuales	7
	3.6.1 Pre tratamiento	8
	3.6.2 Tratamiento primario	8
	3.6.3 Tratamiento secundario	8
	3.6.4 Factores ambientales	9
	3.6.5 Tratamiento terciario	9
	3.6.6 Disposición de lodos	9
	3.7 Características de las aguas residuales generadas en la industria de bebidas	11
	3.7.1 Características de las aguas residuales generadas en la industria de bebidas	12
	3.8 Métodos de evaluación de proyectos	12
	3.8.1 Valor presente neto (VPN)	12
	3.8.2 Tasa interna retorno (TIR)	13
	3.8.3 Costo anual uniforme equivalente (CAUE)	13
	3.8.4 Inversión	13
	3.8.5 Flujo neto efectivo (FNE)	13
	3.8.6 Interés	14
	3.8.7 Tasa de interés	14
	3.8.8 Tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR)	14
	3.8.9 Inflación	14
IV.	Material y Método	15
	4.1 Caracterización del agua residual en términos de parámetros físico-químicos y determinación del caudal	15

4.1.1	Punto de muestreo	15
4.1.2	Frecuencia y duración de muestreo	15
4.1.3	Determinación del caudal residual	16
4.1.4	Características de los contaminantes del efluente	16
4.1.5	Costo de los análisis	16
4.1.6	Análisis estadísticos de los valores obtenidos	17
4.2	Selección del sistema de tratamiento más adecuado desde el punto de vista de viabilidad económica	18
4.3	Realización del pre-diseño de la unidad seleccionada	18
4.4	Determinación de la rentabilidad de la unidad propuesta	18
V.	Presentación y discusión de resultados	19
5.1	Cuantificación y caracterización del Agua residual de la industria de bebidas	19
5.2	Caracterización fisicoquímica	21
5.3	Selección del sistema de tratamiento más adecuado desde el punto de vista de viabilidad económica	31
5.4	Pre-diseño de la unidad de tratamiento	33
5.5	Determinación de la rentabilidad de la unidad propuesto	38
VI.	Conclusiones	45
VII.	Recomendaciones	46
VIII.	Abreviaturas	47
IX.	Bibliografía	49
	Anexo A Diseño de lodos activados	52
	Anexo B Rentabilidad de la unidad propuesta	66
	Anexo C Análisis de la caracterización del agua	68
	Anexo D Elementos nutrientes en aguas residuales	80
	Anexo E Técnicas analíticas	82
	Anexo F Plano del sistema de tratamiento de aguas residuales	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Página

Figura 3.1	Diagrama del proceso de lodos activados	11
Figura 5.1	Comportamiento del caudal diario en m ³ /h	19
Figura 5.2	Indicador de agua por litros bebidas	20
Figura 5.3	Valores de temperatura respecto al artículo 19, decreto 33-95	23
Figura 5.4	Valores de pH respecto al artículo 19, decreto 33-95	24
Figura 5.5	Valores de sólidos suspendidos respecto al artículo 19, decreto 33-95	25
Figura 5.6	Valores de sólidos totales respecto al artículo 19, decreto 33-95	26
Figura 5.7	Valores de sólidos sedimentables	27
Figura 5.8	Valores de DQO respecto al artículo 19, decreto 33-95	28
Figura 5.9	Valores de DBO ₅ respecto al artículo 19, decreto 33-95	29
Figura 5.10	Propuesta de diseño de la unidad de tratamiento de aguas residuales para la industria de bebidas	33
Figura 5.11	Diseño de rejillas	34
Figura 5.12	Diseño de etapa de de neutralización	35
Figura 5.13	Diseño del tanque de aireación	36
Figura 5.14	Diseño del clarificador	37

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 4.1	Parámetros fisicoquímicos analizados	16
Tabla 4.2	Precios de análisis sin IVA a realizarse en el CIRA-UNAN	17
Tabla 5.1	Valores promedio de los caudales residuales	19
Tabla 5.2	Datos de proyección de producción, consumo de agua, agua residual e indicador	21
Tabla 5.3	Valores promedio de caracterización del agua residual	22
Tabla 5.4	Valores obtenidos de los nutrientes	30
Tabla 5.5	Valores de nutrientes requeridos	30
Tabla 5.6	Calidad de agua con la unidad de tratamiento propuesto	37
Tabla 5.7	Alcantarillado sanitario	39
Tabla 5.8	Tarifas para DQO y sólidos totales	39
Tabla 5.9	Tratamiento base	39
Tabla 5.10	Tratamiento en exceso	40
Tabla 5.11	Costos totales	40
Tabla 5.12	Costos anual sin tratamiento	41
Tabla 5.13	Inversión	41
Tabla 5.14	Costo de operación	41
Tabla 5.15	Datos de calidad de agua	42
Tabla 5.16	Costos residual de ENACAL	42
Tabla 5.17	Costos totales anuales de tratamiento	43
Tabla 5.18	Ahorro anual	43

I. Introducción

La contaminación del agua es uno de los problemas ambientales más importantes que enfrentan las industrias y surge como resultado de las actividades productivas del hombre; dicha contaminación genera diversos residuos que deben ser tratados con el fin de proteger el recurso acuático.

La Industria de Bebidas no posee una planta para tratar sus aguas residuales dentro de las instalaciones. Sin embargo, la gerencia de la empresa mantiene un contrato con ENACAL, por medio del cual la Industria asume el costo por el servicio de tratamiento de sus aguas residuales en la planta de tratamiento de Managua.

La Industria de Bebidas, comprometida con los aspectos ambientales, está en constante búsqueda de alternativas de mejoras que permitan administrar más eficientemente los recursos, disminuir costos actuales de producción y también reducir la carga de contaminantes vertidos con sus aguas residuales al alcantarillado municipal a través de su propio sistema de tratamiento.

El compromiso por parte de la industria de bebidas es generar no solo valor económico, sino también realizar acciones en pro del medio ambiente como parte de su responsabilidad social ante el entorno en que vivimos.

El presente trabajo tiene como objetivo proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales que garantice un efluente de agua conforme con las leyes ambientales del país y a la vez presentar una opción más favorable económicamente que el contrato actual con ENACAL.

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

II. Objetivos

Objetivo General

Pre-Diseñar una Unidad de Tratamiento de las Aguas Residuales procedentes de la Industria de Bebidas para reducir los costos actuales de tratamiento.

Objetivos Específicos

- Caracterizar el agua residual en términos de parámetros físico-químicos y determinar el caudal.
- Seleccionar un sistema de tratamiento más adecuado desde el punto de vista de viabilidad técnica y económica.
- Realizar un pre-diseño de la unidad seleccionada.
- Determinar la rentabilidad de la unidad propuesta.

III. Marco Teórico

3.1 Generalidades del agua residual

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 (Mara, 1970).

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 (Mara, 1970).

3.2 Clasificación de aguas residuales industriales¹

Las industrias se clasifican en cinco grupos según sus vertidos:

Industrias con efluentes principalmente orgánicos: papeleras, azucareras, mataderos, curtidos, conserveras, lecherías y subproductos, fermentaciones, preparación de productos alimenticios, bebidas y lavanderías.

Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos: refinerías y petroquímicas, coquerías, químicas y textiles.

Industrias con efluentes principalmente inorgánicos: productos de limpieza, recubrimiento de metales, explotaciones mineras y salinas.

Industrias con efluentes con materias en suspensión: lavaderos de mineral y carbón, corte y pulido de mármol y otros minerales, laminación en caliente y colada continua.

¹http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Caracter%C3%ADsticas_de_las_aguas_residuales#Clasificaci.C3.B3n_de_las_Industrias_seg.C3.BA_n_sus_Vertidos.

Industrias con efluentes de refrigeración: centrales térmicas y centrales nucleares.

3.3 Características de aguas residuales

Las aguas residuales están compuestas de sustancias orgánicas e inorgánicas procedentes de instalaciones industriales diversas. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo (Rodríguez, 1983).

3.3.1 Propiedades físicas

3.3.1.1 Sólidos totales

Sólidos totales (ST) es la suma del total de sólidos en suspensión y sólidos disueltos (TDS). Cada uno de estos grupos se pueden dividir en fracciones volátiles y fijos. Sólidos totales es el material que queda en el plato después de la evaporación que se haya secado por lo menos 1 hora durante la noche (preferiblemente) en un horno a 103-105⁰C (Lin, 2007).

3.3.1.2 Sólidos en suspensión

Sólidos suspendidos totales (SST) se refiere a los residuos que no son filtrables (Lin, 2007).

3.3.1.3 Sólidos sedimentables

Sólidos sedimentables es el término que se aplica al material que es sedimentado fuera de suspensión dentro tiempo definido. Son sólidos de mayor densidad que el agua, se encuentran dispersos debido a fuerzas de arrastre o turbulencias. Cuando estas fuerzas y velocidades cesan y el agua alcanza un

estado de reposo, precipitan en el fondo. Suelen eliminarse fácilmente por cualquier método de filtración.

3.3.1.4 Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos son también llamados sólidos filtrables. Total disuelto en aguas residuales crudas están en el rango de 250 a 850 mg /L (Lin, 2007).

3.3.1.5 Sólidos volátiles

Porción de la materia orgánica que se puede eliminar o volatilizarse cuando esta se quema en un horno mufla a una temperatura de 550°C.

3.3.2 Propiedades químicas

3.3.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

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 y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es el resultado de tres tipos de materiales: materiales orgánicos carbónicos, nitrógeno oxidable, compuestos químicos reductores (Ramalho, 1983).

3.3.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato en medio ácido (Ramalho, 1983).

3.3.3 Constituyentes inorgánicos

3.3.3.1 Nitrógeno amoniacal

Se le considera un constituyente normal de las aguas superficiales y está íntimamente relacionado con descargas recientes de desagües. Cuando su concentración es mayor de 0.1 mg/L (como N), podría constituirse en un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales (OPS/CEPIS/PUB, 2004).

El amonio en las aguas residuales es producido en su mayor parte por la eliminación de compuestos que tienen nitrógeno orgánico y por la hidrólisis de la urea o urea. En casos menos frecuentes, se puede producir por reducción de nitratos en condiciones anaeróbicas (OPS/CEPIS/PUB, 2004).

3.3.3.2 Nitritos y nitratos

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y plantas acuáticas. Por lo general en el agua se encuentra formado amoníaco, nitratos y nitritos.

El ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que se encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. Esta es la causa de que los nitritos se transforman rápidamente para dar nitratos y que generalmente estos últimos predominen en las superficiales como subterráneas. Esta reacción de oxidación se puede efectuar en los sistemas biológicos y también por factores abióticos (OPS/CEPIS/PUB, 2004).

3.3.3.3 Fosfato

Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro-, meta- y polifosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos pueden estar solubles como partículas de detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos (OPS/CEPIS/PUB, 2004).

Es común encontrar fosfatos en el agua. Son nutrientes de las vidas acuáticas y limitantes del crecimiento de las plantas. Sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, etcétera (OPS/CEPIS/PUB, 2004).

3.3.3.4 Alcalinidad total

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica (OPS/CEPIS/PUB, 2004).

3.4 Métodos de tratamiento²

Hay tres clases principales de procesos de tratamiento:

Procesos físicos que dependen esencialmente de las propiedades físicas de la impureza, como tamaño de partícula, peso específico, viscosidad, etc. Ejemplos comunes de este tipo de procesos son: cribado, sedimentación, filtrado, transferencia de gases.

Procesos químicos que dependen de las propiedades químicas de una impureza o que utilizan las propiedades químicas de reactivos agregados. Algunos procesos químicos son: coagulación, precipitación, intercambio iónico.

Procesos biológicos constituyen una serie de importantes procesos de tratamientos que tienen en común 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) (Rodríguez, 2003).

Los objetivos de un tratamiento biológico en el agua residual doméstica son (1) transformar componentes biodegradables disueltos y particulado en productos finales aceptables, (2) capturar y contener sólidos suspendidos y coloidales en un floc biológico o capa biológica, (3) transformar y remover nutrientes como nitrógeno y fósforo y (4) en algunos casos remover compuestos orgánicos específicos. Para el agua residual industrial el objetivo es remover o reducir la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos. Ya que algunos de los constituyentes y compuestos encontrados en el agua residual industrial son tóxicos para los microorganismos, el pre tratamiento puede ser requerido antes que el agua residual sea descargada al sistema municipal (Metcalf & Eddy, 2003).

3.5 Niveles de tratamientos de las aguas residuales

² html.rincondelvago.com/aguas-residuales_2.html

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua residual. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado).

3.6 Etapas de tratamientos de las aguas residuales

En la siguiente tabla se muestra las diversas operaciones que se pueden encontrar en las etapas de una planta de aguas residuales.

Tabla 3.1 Principales operaciones en las diferentes etapas de tratamientos de aguas residuales.

Tratamiento Primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario
Cribado	Lodos activados	Microtamizado
Sedimentación	Estabilización por contacto	Filtración
Flotación	Lagunaje con aireación	Precipitación y coagulación
Separación de aceites	Estabilización por lagunaje	Adsorción
Homogeneización	Filtros biológicos	Intercambio iónico
Neutralización	Discos biológicos	Osmosis inversa

Fuente: Ramalho, 1983

3.6.1 Pre tratamiento

Los sistemas preliminares están diseñados para remover o quitar los materiales flotantes de gran tamaño, remover sólidos inorgánicos pesados y cantidades excesivas de grasas y aceites (Lin, 2007).

3.6.2 Tratamiento primario

El objetivo tratamiento primario es reducir la velocidad de flujo del agua residual lo suficiente para permitir que los sólidos suspendidos se sedimenten y remover los materiales sedimentables (Lin, 2007).

3.6.3 Tratamiento secundario

El tratamiento biológico consiste en la aplicación de un proceso natural controlado en el cual un número muy grande de microorganismos consumen materia orgánica soluble y coloidal del agua residual en un contenedor pequeño relativamente a un tiempo razonable (Lin, 2007).

El tratamiento biológico puede dividirse en dos grupos: crecimiento apegado y un crecimiento suspendido. Los procesos con crecimiento apegado son filtros percoladores, filtros rotatorios biológicos de contacto (RBC) y filtros de arena intermitente. El crecimiento suspendido incluye lodos activados y sus modificaciones, digestores aerobios y anaerobios, filtros anaerobios y lagunas aerobias (Lin, 2007).

3.6.4 Factores ambientales

Condiciones ambientales de temperatura y pH tienen un importante efecto en la selección, sobrevivencia y crecimiento de los microorganismos. En general, un óptimo crecimiento para microorganismos particulares ocurre dentro de un rango medianamente estrecho de temperatura y pH (Metcalf & Eddy, 2003).

De acuerdo con el rango de temperatura en el cual su función es mejor, las bacterias pueden ser clasificadas como psicrófilicas, mesofílicas y termofílicas.

Tabla 3.2 Clasificación de temperatura en los procesos biológicos.

Tipo	Rango de Temperatura °C	Rango Optimo °C
Psicrófilico	10-30	12-18
Mesofílico	20-50	25-40
Termofílico	35-75	55-65

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

El pH del medio es también un factor clave en el crecimiento de los organismos. La mayoría de las bacterias no pueden tolerar niveles de pH encima de 9.5 o debajo de 4. Generalmente el pH óptimo para el crecimiento de bacterias se encuentra entre 6.5 y 7.5 (Metcalf & Eddy, 2003).

3.6.4.1 Sistema anaerobio

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 en su estado más reducido, CH_4 . La utilización de este sistema tiene como ventaja la obtención de un gas combustible (Rodríguez, 2003).

3.6.4.2 Sistema aerobio

La presencia de oxígeno 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 puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua (Rodríguez, 2003).

3.6.4.3 Lodos activados

Consiste en poner en contacto en un medio aerobio, normalmente en una balsa aireada, el agua residual con flóculos biológicos previamente formados, el de los que es adsorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Junto con el proceso de degradación, y para separar los flóculos del agua, se ha de llevar a cabo una sedimentación donde se realiza un recirculación de los fangos para mantener una elevada concentración de microorganismo en el interior del reactor, además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismo (Rodríguez, 2003).

La representación esquemática del proceso se presenta en el siguiente diagrama mostrado a continuación:

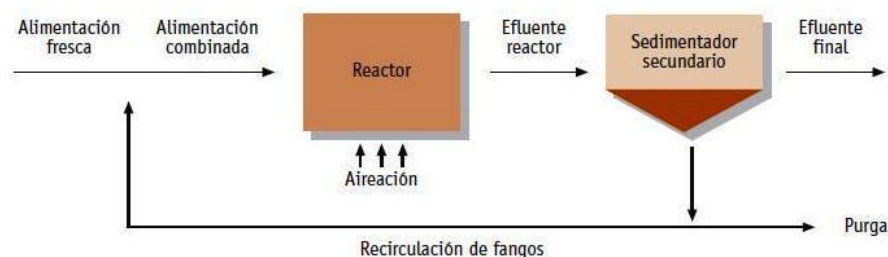


Fig.3. 1 Diagrama del proceso de lodos activados.

Fuente: Rodríguez, 2003

3.6.5 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales (Ramalho, 1983).

3.7 Disposición de lodos

Los lodos son compuestos de subproductos recogidos en las diferentes etapas de descontaminación de las aguas residuales. Su producción resulta de un proceso de acumulación consecutivo de tres fenómenos combinados:

- La producción de microorganismos.
- La acumulación de materias en suspensión minerales.
- La acumulación de materias orgánicas no biodegradables en las condiciones de trabajo.

Una característica muy importante de los lodos es la fuerza con la que el agua está ligada a la materia seca que contienen. Una parte del agua se presenta como agua libre, pero la mayor cantidad del agua adicional requiere de fuerzas externas para ser eliminada.

3.7.1 Características de las aguas residuales generadas en la Industria de Bebidas

Las aguas residuales de la industria de bebidas debido a sus actividades se caracterizan por presentar:

Alto contenido de agentes químicos tales como:

Espuma clorada, soda cáustica, detergente alcalino, ácido per-acético, lodos originados en la planta de potabilización de agua por medio de la acción del floculante Hidroflox, colorantes de bebidas, tintas de máquinas codificadoras.

3.8 Métodos de evaluación de proyectos

La evaluación de proyectos es un proceso por el cual se determina el establecimiento de cambios generados por un proyecto a partir de la comparación entre el estado actual y el estado previsto en su planificación. Es

decir, se intenta conocer qué tanto un proyecto ha logrado cumplir sus objetivos o bien qué tanta capacidad poseería para cumplirlos (Baca, 2007).

Los Método de evaluación de proyectos más utilizados son:

- Valor Presente Neto (VPN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)

3.8.1 Valor presente neto (VPN)

El valor presente simplemente significa traer del futuro al presente cantidades monetarias a su valor equivalente. En términos formales de evaluación económica, cuando se trasladan cantidades del presente al futuro, se dice que se utiliza una tasa de interés, pero cuando se trasladan cantidades del futuro al presente, como el del cálculo del VPN, se dice que se utiliza una tasa de descuento debido a la cual a los flujos de efectivo ya trasladados al presente se les llama flujos desconectados (Baca, 2007).

VPN es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{FNE}{(1+TMAR)^n} \quad (3.1)$$

3.8.2 Tasa interna de retorno (TIR)

TIR es la tasa de descuento que hace el VPN = 0.

$$VPN = 0 = -I + \frac{FNE}{(1+i)^1} + \frac{FNE}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE}{(1+i)^{25}} \quad (3.2)$$

Al igualar el VPN a cero y obtenidos los flujos netos de efectivo así como la inversión, la única incógnita que queda es la *i*. Esta tasa se obtiene por iteración o de manera gráfica (Baca, 2007).

3.8.3 Costo anual uniforme equivalente (CAUE)

El método del CAUE consiste en convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos. Si el CAUE es positivo, es porque los ingresos son mayores que los egresos y por lo tanto, el proyecto puede realizarse pero, si el CAUE es negativo, es porque los ingresos son menores que los egresos y en consecuencia el proyecto debe ser rechazado. No es usual calcular el CAUE para analizar una sola alternativa, pues el CAUE en forma individual significa muy poco al no tener referencia contra el cual compararlo. (Baca, 2007)

3.8.4 Inversión³

La inversión es todo desembolso de recursos financieros para adquirir bienes concretos durables o instrumentos de producción, denominados bienes de equipo, y que la empresa utilizará durante varios años para cumplir su objeto social

3.8.5 Flujo neto de efectivo (FNE)

Los de efectivos se describen como las entradas y salidas de reales de dinero. Un diagrama de flujo de efectivo es una representación gráfica de los flujos de efectivos atrasados en una escala de tiempo (Blank y Tarquín, 1999).

3.8.6 Interés

Es el incremento entre la suma original de dinero prestado y la suma final debida, o la suma original poseída (o invertida) y la suma final acumulada (Blank y Tarquín, 1999).

3.8.7 Tasa de interés⁴

Es la tasa que se aplica en una operación comercial, la cual determina el interés a pagar, se expresa en tanto por ciento (%) y generalmente la tasa de interés se da por año.

3.8.8 Tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR)

La TMAR es una tasa de retorno razonable establecida como una tasa base para una alternativa. La TMAR es siempre más alta que el retorno esperado de

³ <http://www.zonaeconomica.com/inversion/definicion>

⁴ http://html.rincondelvago.com/matematicas-financieras_10.html

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

una inversión segura. Puede ser un valor utilizado para toda compañía para evaluar la mayoría de los proyectos de inversión (Blank y Tarquín, 1999).

3.8.9 Inflación

Es un incremento en la cantidad de dinero necesaria para obtener la misma cantidad de producto o servicio antes de presencia del precio inflado. La inflación ocurre porque el valor del dinero ha cambiado, se ha reducido en y como resultado necesitan más dólares para menos bienes (Blank y Tarquín, 1999).

IV. Material y Método

Para el pre-diseño de la unidad de tratamiento de agua de la Industria de bebidas se realizaron caracterizaciones para determinar los contaminantes presentes en el agua residual; también se calculó el caudal actual y se proyectó el futuro para los próximos 15 años. Con base en los resultados obtenidos se procedió a la selección y pre-diseño del sistema de tratamiento.

A continuación se describen las principales pautas efectuadas en el logro de los objetivos:

4.1 Caracterización del agua residual en términos de parámetros físico-químicos y determinación del caudal

El cumplimiento de este objetivo se logró a través de tres muestreos completos financiados por la Industria de Bebidas. Sin embargo, para contar con mayor número de datos y así aumentar la confiabilidad de los mismos, se procedió adicionalmente:

- Determinar los sólidos sedimentables en situ.
- Utilizar datos históricos de la DBO₅ y DQO proporcionados por la empresa.

4.1.1 Punto de muestreo

El punto de muestreo fue único, en el canal Parshall, donde convergen todas las aguas utilizadas en los procesos de la Industria de Bebidas.

4.1.2 Frecuencia y duración de muestreo

Se tomaron muestras compuestas, cada 30 minutos se recogieron 50 ml de agua en un periodo de 24 horas, esto en función del tiempo de descarga de aguas residuales que genera la planta durante los turnos de trabajo. Se realizaron dos muestreos en el mes de Julio y un último muestreo en Agosto, para un total de tres muestreos en el presente año.

4.1.3 Determinación del caudal residual

El caudal residual se determinó por medio del canal Parshall. Dicho canal está equipado con un sensor de nivel y una pantalla digital que permitió ver los valores del caudal directamente.

4.1.4 Características de los contaminantes del efluente

Las muestras que se recolectaron en el punto de muestreo se analizaron en el CIRA, con la participación de los autores de este trabajo. Los parámetros a analizar fueron seleccionados a partir del Decreto 33-95 y aquellos necesarios para ser tomados en cuenta durante el pre diseño. Estos y las técnicas analíticas utilizadas se detallan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Parámetros fisicoquímicos analizados.

Parámetros	Técnica Analítica (1998)
pH	SM 4500-H ⁺ B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	SM 5540 D
Sólidos Sedimentables(mg/L)	SM 2540 B
DBO(mg/L)	SM 5210 C
DQO(mg/L)	SM 5220 C
SAAM	SM 5540 C
Nitrógeno Total	4500.P.B.C
Fósforo Total	Suma NTK + N –NO ₃ + N –NO ₂

Fuente: Clesceri, 1998

4.1.5 Costos de análisis

Los costos de análisis de los parámetros mencionados anteriormente, se detallan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Precios de análisis sin IVA a realizarse en el CIRA-UNAN.

Parámetros	Precios (\$)
pH	3.61
Sólidos Totales (mg/L)	10.81
Sólidos Suspendidos (mg/L)	6.63
DBO(mg/L)	11.08
DQO(mg/L)	6.63
SAAM	26.03
Toma de muestras	200

Fuente: CIRA, 2011

El precio total de dichos análisis con IVA incluido es de \$ 325.53.

4.1.6 Análisis estadístico de los valores obtenidos

Luego que se realizó la caracterización físico-química del agua los valores obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando las siguientes ecuaciones:

- La media: $\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$ (4.1)

- La desviación estándar (s): $S = \frac{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2}}{n}$ (4.2)

Donde para ambas ecuaciones:

X_i : Son los valores puntuales

\bar{X} : Es el valor medio

n : El número de datos

4.2 Selección del sistema de tratamiento más adecuado desde el punto de vista de viabilidad técnico-económica

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización del agua residual y determinado el caudal se prosiguió a la selección de la unidad de tratamiento

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

más adecuado para la industria de Bebidas. Los aspectos que se tomaron en cuenta para dicha selección eran los siguientes:

- Características del agua residual (tipos de contaminantes presentes y la concentración de ellos)
- El caudal
- Generación de olores
- Área disponible para la Instalación
- Disponibilidad de materiales y accesorios
- Aspectos económicos de la empresa

4.3 Realización del Pre-diseño de la unidad seleccionada

El pre-diseño del sistema consiste en el dimensionamiento y cálculo de parámetros de funcionamiento del sistema de tratamiento agua residual. El objetivo de la unidad de tratamiento es garantizar la calidad del efluente de agua conforme al decreto 33-95 y a su vez que presente una opción económicamente viable para la suspensión del Contrato actual con ENACAL.

4.4 Determinación de la rentabilidad de la unidad propuesta

Se determinó la rentabilidad de la unidad de tratamiento seleccionada usando el análisis del VPN, así mismo se estimaron los costos totales de operación del sistema y los ahorros anuales que tendrá la Industria de Bebidas por la suspensión del pago de tratamiento a ENACAL.

V. Presentación y discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la medición del caudal y la realización de la caracterización físico-química del agua residual generada por la Industria de Bebidas se presentan a continuación.

5.1 Cuantificación del agua residual de la industria de bebidas

La medición de caudal se realizó por medio del canal Parshall, los resultados encontrados se presentan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Valores de los caudales obtenidos.

Fecha	Caudal Residual (m ³ /d)
08 de Julio	513.55
13 de Agosto	754.7
27 de Agosto	670.62
Promedio	646.29

Los valores del caudal en los tres muestreos fueron cercanos, con baja fluctuación, lo cual que se puede observar en la Figura 5.1. El promedio de los caudales en la Industria de Bebidas fue de 649.29 m³/d.

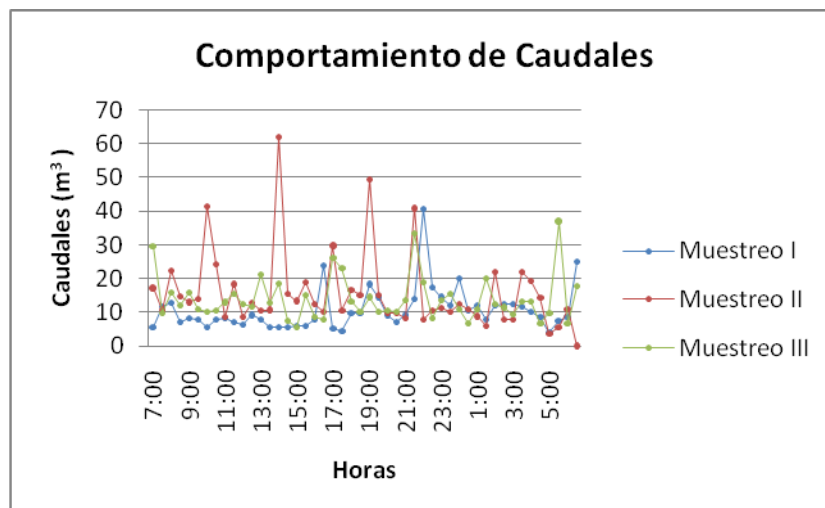


Figura 5.1 Comportamiento del caudal diario en m³/h, (Anexo C).

5.1.1 Estimación del caudal de diseño

El Caudal de diseño se estimó haciendo una proyección a 15 años. Esto se hizo tomando de base la producción anual actual, el consumo de agua y el indicador de agua.

El indicador de agua representa el volumen de agua (en litros) consumido por cada litro de bebida producido y para el año 2010 fue de 1.97. La empresa estima que éste va a disminuir anualmente 3% hasta llegar a 1.54 en el 2018, lo que se observa en la Figura 5.2.

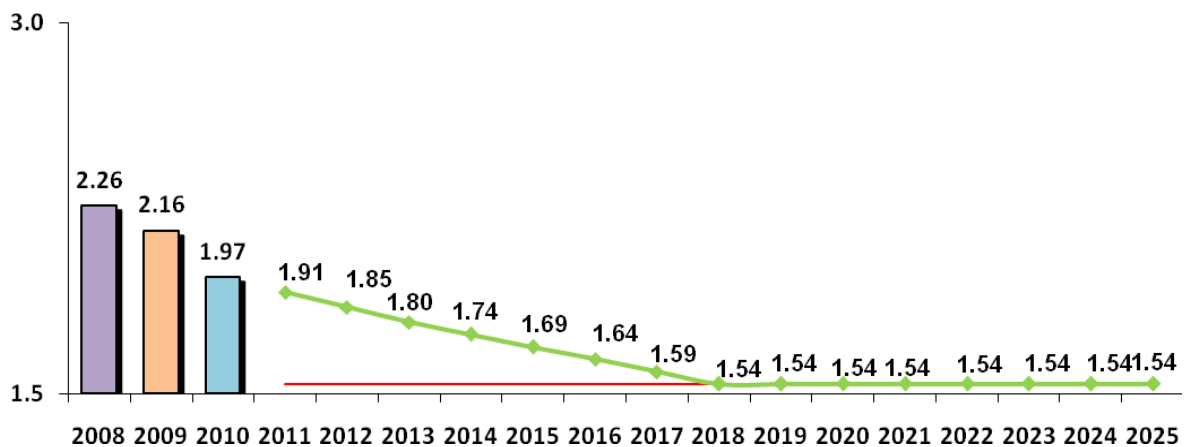


Figura 5.2 Indicador de agua por litros bebidas.

La Industria de Bebidas comprometida con el medio ambiente, realiza prácticas del uso sostenido de agua con el fin de aprovechar más eficientemente los recursos y mantener el indicador constante en los años futuros. Este indicador permitió estimar el consumo de agua en los próximos 15 años.

Por otro lado, se planifica el crecimiento de la producción de las bebidas 5% anual. El volumen de generación del agua residual constituye la diferencia entre el consumo de agua y el volumen de la producción, dando como resultado el caudal de diseño (el año 2025) de 691.47m³/d. El resumen de estas consideraciones se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 5.2 Datos de proyección de producción, consumo de agua, agua residual e Indicador.

Año	Producción anual (L/año)	Consumo de agua (L/año)	Agua residual m³/d	Indicador
2009	212,547,986.00	454,770,982.66	663.62	2.20
2010	223,175,385.30	439,655,509.04	593.10	1.97
2011	234,334,154.57	447,789,135.96	584.81	1.91
2012	246,050,862.29	456,073,234.97	575.40	1.85
2013	258,353,405.41	464,510,589.82	564.81	1.80
2014	271,271,075.68	473,104,035.73	552.97	1.74
2015	284,834,629.46	481,856,460.39	539.79	1.69
2016	299,076,360.94	490,770,804.91	525.19	1.64
2017	314,030,178.98	499,850,064.80	509.10	1.59
2018	329,731,687.93	509,097,291.00	491.41	1.54
2019	346,218,272.33	534,552,155.55	515.98	1.54
2020	363,529,185.94	561,279,763.33	541.78	1.54
2021	381,705,645.24	589,343,751.49	568.87	1.54
2022	400,790,927.50	618,810,939.07	597.32	1.54
2023	420,830,473.88	649,751,486.02	627.18	1.54
2024	441,871,997.57	682,239,060.32	658.54	1.54
2025	463,965,597.45	716,351,013.34	691.47	1.54

5.2 Caracterización físico-química del agua

Todos los valores obtenidos en la caracterización se reúnen en el Anexo C. Los resultados promedios se presentan en la Tabla 5.3, a la vez se comparan con la Norma 33-95, los que aplican.

Tabla 5.3 Valores promedio obtenidos en la caracterización del agua residual.

Parámetros fisicoquímicos	Valores de caracterización	Arto. 19
Temperatura °C	32.3	50
pH	11.83	6.10
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	1281.57	400
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)	2173.43	900
Fósforo total (mg/L)	3.50	n/a
Nitrógeno total (mg/L)	0.23	n/a
Sólidos suspendidos (mg/L)	567.05	400
Sólidos sedimentables (ml/L)	1	n/a
Sólidos totales (mg/L)	3704.86	1500

Fuente: Decreto 33-95, artículo 19.

Se observa que solamente el parámetro de temperatura está dentro del rango de especificidad presentado en el Decreto 33-95.

5.2.1 Temperatura⁵

De los tres muestreos realizados la temperatura promedio fue 32.3⁰C; esta se encuentra por debajo del límite de la Norma 33-95 del artículo 19, en la gráfica 5.3 se observa la poca fluctuación de este parámetro manteniéndose los valores muy cercanos. La temperatura es un parámetro importante para el mantenimiento óptimo del sistema a seleccionar. El rango optimo para bacterias mesofílicas encontradas en sistemas aerobios oscila entre 25 – 50 ⁰C; en cambio para bacterias termofílicas, más abundantes en tratamientos anaerobios,

⁵ http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0917_Q.pdf

el rango recomendado es de 55 – 65 °C. La temperatura promedio encontrada en este estudio nos indica que las condiciones para el desarrollo de procesos biológicos serán óptimas.

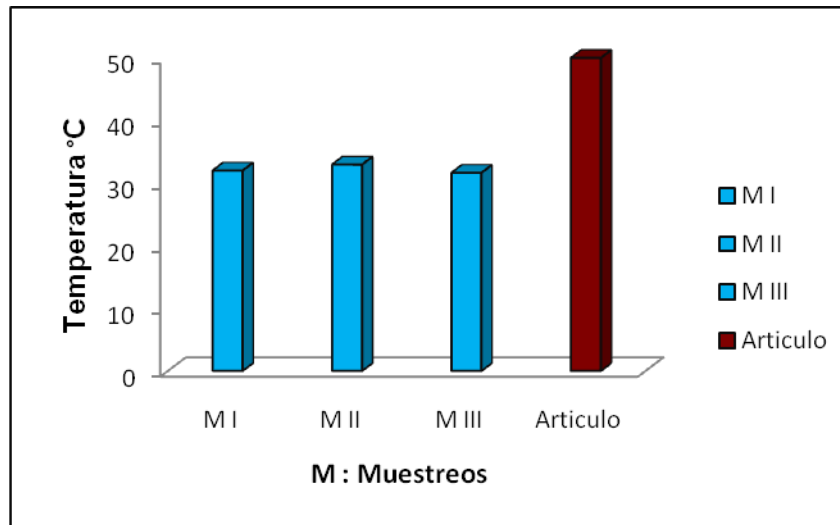


Figura 5.3 Valores de temperatura respecto al artículo 19, Decreto 33-95.

5.2.2 pH

La variación de pH tiene su origen en las sustancias químicas utilizadas en la Industria de Bebidas como son: ácidos, soda cáustica, detergentes, desinfectante, espuma clorada, etc. Los valores de pH en los tres muestreos presentaron poca variabilidad en sus mediciones (ver Figura 5.4), dichos valores se encuentran fuera de los límites permisibles del artículo 19, ya que el límite de la norma es 6.10. En los sistemas de tratamiento secundario de aguas residuales, se debe mantener un pH entre 6.5 a 7.5, para asegurar un crecimiento de los microorganismos.

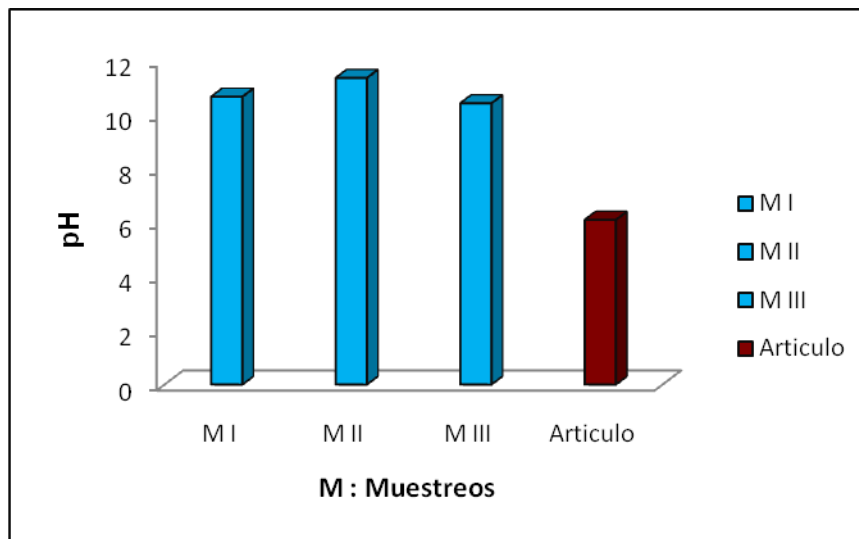


Figura 5.4 Valores de pH respecto al artículo 19, Decreto 33-95.

5.2.3 Sólidos suspendidos

El valor promedio de los sólidos suspendidos (SST) fue de 567.05 mg/L. Éste parámetro no cumple con los límites permisibles según la Norma del MARENA, la cual permite 400 mg/L de SST. Al menos un 20% de su valor promedio debe ser reducido, para estar dentro de la norma. En la Figura 5.5 se puede observar variación entre cada muestreo, siendo el muestreo II de mayor cantidad de Sólidos Suspendidos encontrados en el agua.

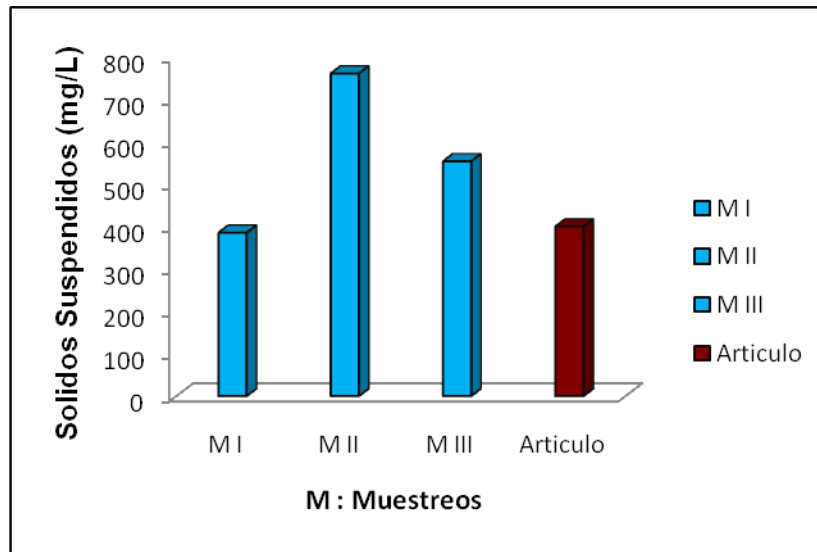


Figura 5.5 Valores de sólidos suspendidos respecto al artículo 19, Decreto 33-95.

5.2.4 Sólidos totales

La Norma nacional establece la cantidad permisible de Sólidos Totales (ST) debe tener un valor no mayor a 1500 mg/L y el valor promedio fue de 3704.86 mg/L, lo que supera más del doble de los límites permisibles según el Decreto 33-95. La gran cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua residual se debe al uso de materias primas solubles utilizadas en el proceso productivo y amplia variedad de los agentes químicos en la limpieza como: detergentes, ácidos, soda cáusticas, tintas de máquinas codificadoras, etc.

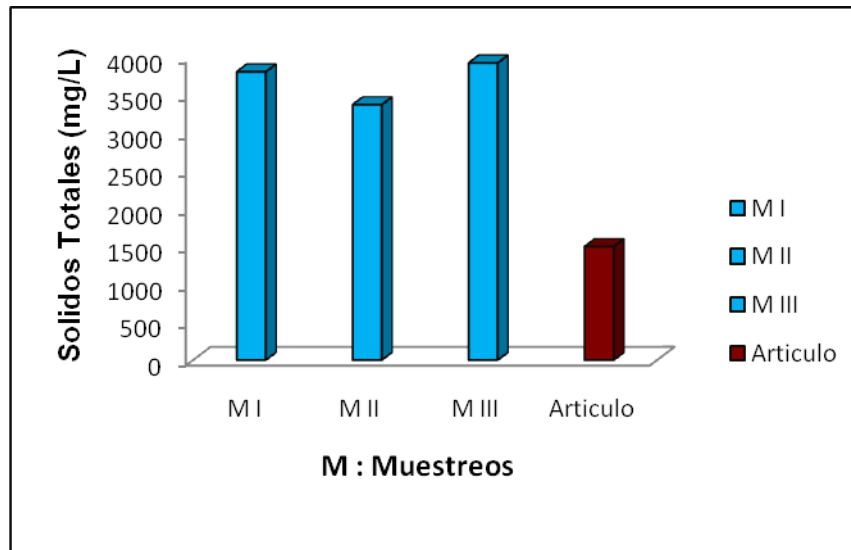


Figura 5.6 Valores de sólidos totales respecto al artículo 19, Decreto 33-95.

5.2.5 Sólidos sedimentables

La Norma nacional en su arto.19, no establece cantidad para sólidos sedimentables, sin embargo este análisis se realizó para conocer la cantidad de sólidos que se pueden sedimentar en un tratamiento primario y así estimar la necesidad de una unidad de sedimentación. El análisis de sólidos sedimentables del agua residual de la Industria presentó como valor predominante 1 ml/L, en 5 análisis de un total de 7 realizados, y el valor máximo encontrado fue de 80 ml/L (ver Figura 5.7). En general se observó que el agua contiene pocos residuos de gran tamaño, ya que la mayor cantidad de los sólidos se encuentran disueltos. (Anexo C).

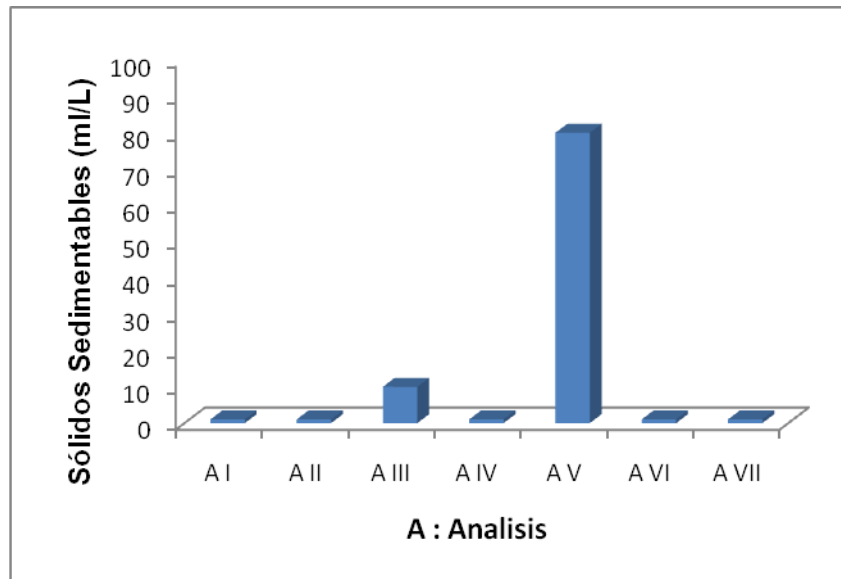


Figura 5.7 Valores de sólidos sedimentables.

5.2.6 Demanda química de oxígeno (DQO)

Cabe destacar, que aparte de los 3 muestreos realizados, la Industria de Bebidas proporcionó datos de la demanda química de oxígeno (DQO) de los meses de junio, septiembre y noviembre del 2009, así como de enero y abril del 2010. En todos los muestreos la DQO no cumple con los límites máximos permisibles, según la norma 33-95, artículo 19, se puede observar en la figura 5.8 la variación entre cada uno de los muestreos, siendo el muestreo del mes de abril el que contiene la mayor cantidad de carga de DQO.

Los valores de DQO son más altos que los de la DBO, lo cual indica que existen compuestos que pueden ser oxidados solo por vía química y no biológica.

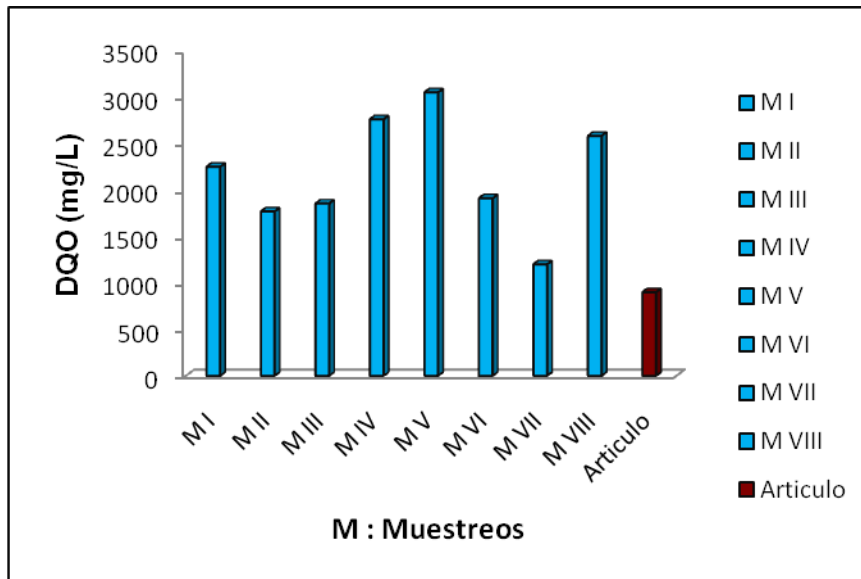


Figura 5.8 Valores de DQO Respecto al Artículo 19, Decreto 33-95.

5.2.7 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Igualmente para el análisis de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) se utilizaron los datos históricos de la Industria de los meses junio, septiembre y noviembre del 2009, así como de enero y abril del 2010. La DBO₅ presentó un comportamiento variable en las muestras y está por encima del Decreto 33-95 Artículo 19 (ver Figura 5.9). El valor promedio de los muestreos fue de 1281.57 mg/L, siendo el muestreo de agosto el mayor. La gran cantidad de materia orgánica biodegradable disuelta en el agua residual proveniente del proceso productivo.

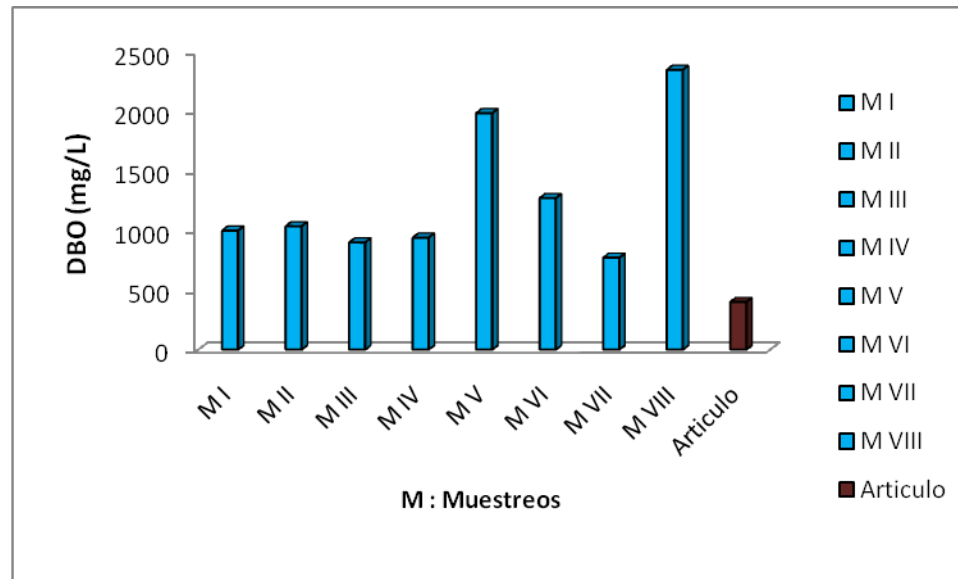


Figura 5.9 Valores de DBO respecto al Artículo 19, Decreto 33-95.

Se calculó la relación DBO_5 / DQO :

Variables	Valor
DBO_5 (mg/L)	1281.57
DQO (mg/L)	2173.43

$$DBO_5 / DQO = 1281.57 \text{ (mg/L)} / 2173.43 \text{ (mg/L)} = 0.59 \quad (5.1)$$

Dado que la relación de DBO_5 / DQO para este proceso fue de 0.59, se puede deducir que se trata de una agua residual con una moderada biodegradabilidad, ya que esta se encuentra dentro del ⁶rango 0.3 y 0.8 de las aguas que pueden ser tratadas por medios biológicos.

5.2.8 Nitrógeno y fósforo

El nitrógeno y el fósforo son considerados nutrientes esenciales. El nitrógeno es requerido por los microorganismos como nutriente para su propio crecimiento. Solo se realizó un muestreo para determinar este parámetro, el cual fue de 0.23 mg/L. El fósforo es esencial para el desarrollo de todos los microorganismos. Interviene en diferentes sistemas enzimáticos. Pero en cantidades anormales presentes en aguas residuales es una de las principales causas de la aparición

⁶ www.Aguaresidual/guatemala

de fenómeno conocido como eutrofización, que provoca una disminución en los niveles de oxígeno en el agua, trayendo como consecuencia la muerte de flora y fauna acuática. El valor obtenido del análisis del fósforo total fue de 3.5 mg/L.

Tabla 5.4 Valores obtenidos de los nutrientes.

Parámetro	Valor (mg/L)
DBO ₅	1281.57
Nitrógeno (N)	0.23
Fósforo (P)	3.50

Para la formación de la biomasa es necesario un equilibrio entre la fuente de carbono (expresado como DBO₅ o DQO) y el nitrógeno y el fósforo. Dicho equilibrio debe controlarse en la entrada al reactor biológico manteniendo la relación⁷ de DBO₅: N: P de 100:5:1. La relación de DBO₅:N:P obtenida en este estudio a partir de las caracterizaciones fue aproximadamente de 100:0.01:0.27, lo que indica que el agua residual de la Industria de Bebidas carece de nutrientes y por lo tanto es necesario adicionarlos al agua residual para la sobrevivencia de los microorganismos. (Ver Anexo D).

Tabla 5.5 Valores de nutrientes requeridos.

Nutrientes	Afluyente (kg/d)	Requerida (kg/d)	Adición (kg/d)
Nitrógeno	0.16	28.71	28.55
Fósforo	2.42	5.74	3.32

⁷ SEMINARIO WWW.ASECORP-ONLINE.COM

5.3 Selección del sistema de tratamiento más adecuado desde el punto de vista de viabilidad técnica y económica

Una vez obtenidos los datos de las caracterizaciones del agua residual de la Industria de Bebidas, y tomando en cuenta los principales aspectos establecidos previamente en la metodología que son de relevancia para cumplir los objetivos propuestos, se seleccionó el tratamiento biológico, aerobio de tipo lodos activados.

La relación DBO/DQO de 0.59 favoreció la selección del sistema de tratamiento biológico, ya que este valor indicó que casi 60% del material orgánico presente es biodegradable.

Analizando los valores de la DQO y de la DBO, donde el promedio no supera los 2,000 mg/L, se puede concluir que el tratamiento biológico apropiado es el aerobio, ya que la contaminación no es excesivamente alta. Sin embargo, es posible en un futuro surja la tendencia de aumento de la DQO debido a que el indicador del agua esta reduciéndose mientras la producción aumenta, lo que va a incrementar la carga orgánica y por ende el sistema de tratamiento se podría ver con la necesidad de incluir una etapa anaerobia. En la actualidad, la empresa expresó la preferencia por el tratamiento aerobio, ya que éste no genera malos olores.

Se optó por el sistema de lodos activados tomando en cuenta el área con que cuenta la empresa para la ubicación del sistema de tratamiento. Se sabe, que los sistemas de lodos activados son tratamientos intensivos, compactos por lo que no requieren de mucho terreno. El caudal de diseño a tratar no supera los 700 m³/d, por lo que el tanque de aireación es de un volumen aceptable.

Cabe mencionar, que el pH del agua se encuentra entre 10 y 12, o sea el afluente a tratar es muy básico, por ello existe la necesidad de neutralizar el agua en la entrada al sistema para asegurar una actividad biológica óptima. Con este propósito se propuso un mezclador hidráulico donde se podrá dosificar el ácido.

A parte de la unidad biológica se analizó la necesidad del pre tratamiento para eliminar residuos sólidos ya que estos ocasionan problemas mecánicos en las bombas y demás equipos de una planta de tratamiento. Para el tratamiento preliminar del agua de la Industria de Bebidas se seleccionó cribado, ya que no son necesarias las etapas de remoción de arena, remoción de grasas y aceites

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

debido a que el agua residual carece de los contaminantes mencionados. Para el cribado se previó la instalación de rejillas para remover los sólidos flotantes grandes. No hubo necesidad de tanque de sedimentación primaria, debido a que los sólidos sedimentables están presentes en una cantidad baja.

Se evaluó el mercado de oferta de accesorios necesarios para la instalación, construcción y puesta en marcha del sistema propuesto y se encontró que hay disponibilidad de todos los accesorios.

Resumiendo, el sistema seleccionado garantizará un tratamiento eficiente con alta calidad de agua tratada, sin presencia de olores y con baja demanda del terreno, considerando todos los aspectos solicitados por la Industria de Bebidas.

En la Figura 5.10 se muestra el diagrama de bloque de las etapas de tratamiento propuesto.

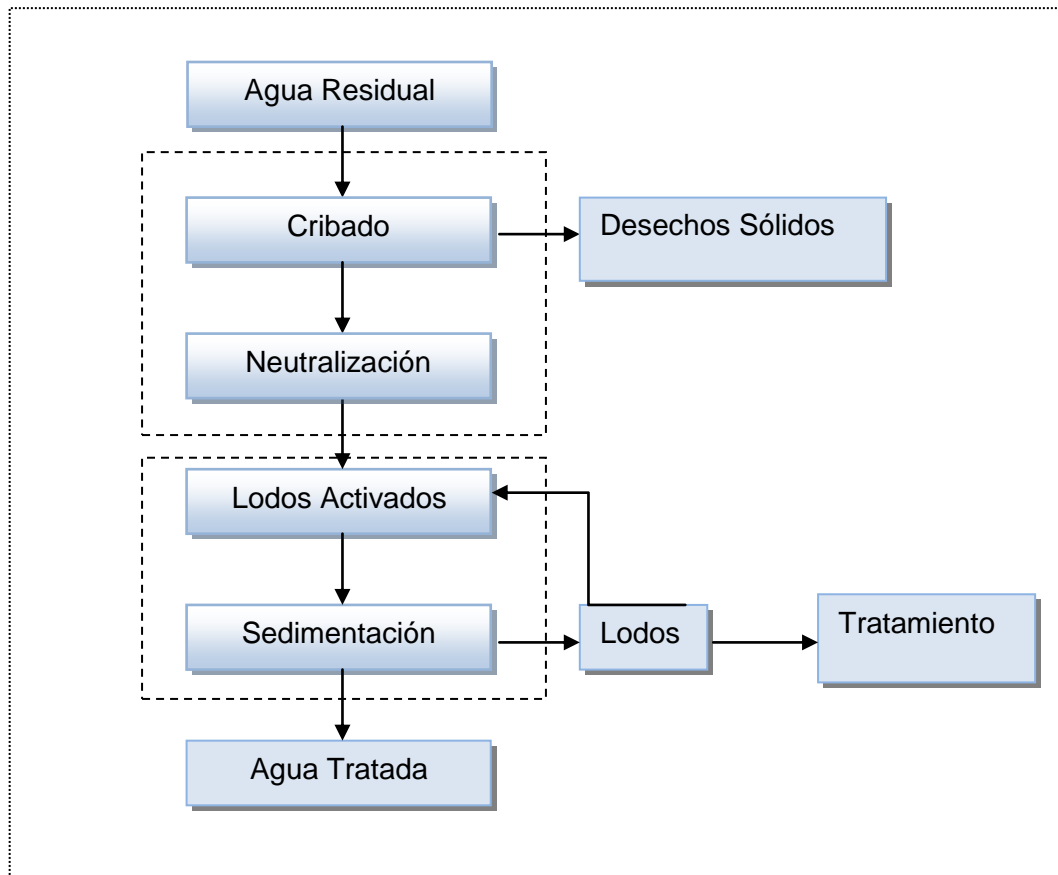


Figura 5.10 Propuesta de diseño de la unidad de tratamiento de aguas residuales para la Industria de Bebidas.

5.4 Pre - diseño del sistema de tratamiento

Pre tratamiento

Seguido de la selección del sistema se realizó el pre-diseño de la unidad biológica del tratamiento de aguas residuales y las etapas adicionales previstas.

5.4.1 Cribado

Se ha diseñado una rejilla barras paralelas que tienen como objetivo remover los sólidos de mayor tamaño para que no dañen a ningún equipo en los tratamientos posteriores. La limpieza es manual. En la figura 5.11 se puede apreciar el canal con las rejillas diseñadas y las principales dimensiones encontradas por medio

de las ecuaciones de diseño (Metcalf & Eddy, 2003). El cálculo detallado de la unidad se encuentra en el Anexo A.

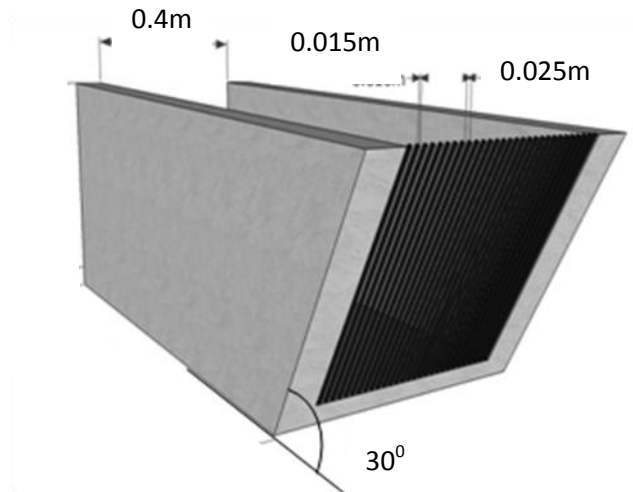


Figura 5.11 Diseño de rejillas.

5.4.2 Neutralización

Se diseñó un mezclador de tipo rampa con el fin de neutralizar el pH porque éste es muy básico, se encuentra entre 10 y 12. Para la neutralización se adicionará ácido nítrico. En esta etapa se garantizará mezcla homogénea de los aditivos en el agua. Además, el mezclador constará con un sensor donde se leerá directamente el pH para luego pasar a la unidad de tratamiento.

Este ácido tendrá dos funciones: neutralizar el agua y servir como nutriente ya que el agua residual carece de nutrientes, la cantidad de nitrógeno en el efluente es 0.16 kg/d y lo necesario para los microorganismos es 28.71 kg/d , y la cantidad de fósforo es 2.42 kg/d y lo necesario es 5.74 kg/d , para la carencia de fósforo se le adicionará sales de fosfato. En la Figura 5.12 se puede apreciar el mezclador hidráulico y las principales dimensiones encontradas por medio de las ecuaciones de diseño (Lin, 2007). El cálculo detallado de la unidad se encuentra en el Anexo A.

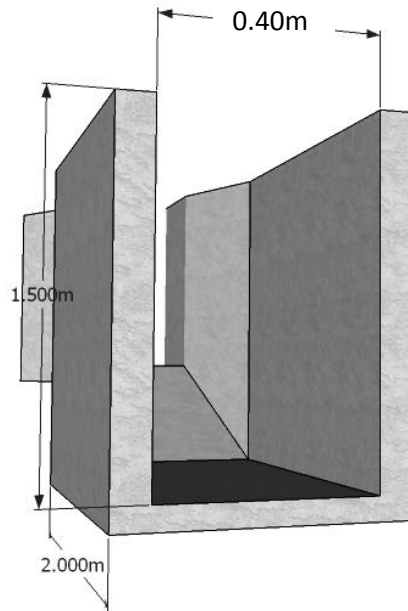


Figura 5.12 Diseño de la etapa de neutralización.

5.4.3 Tanque de aireación de lodos activados

Se ha diseñado un tanque de aireación donde las bacterias aerobias degradan la materia orgánica presente en el agua residual. Este contará de un compresor que garantizará $2,772.67 \text{ m}^3/\text{h}$ de aire. El medio utilizado para airear el agua residual son difusores de membrana fina que garantizará en todo el volumen del tanque una concentración de 2 mg/L . La eficiencia del sistema puede lograr a remover más del 85% de la DBO_5 y los SST (Lin, 2007). Sin embargo, con una eficiencia mínima de 73% para DBO_5 y 85% para SST se garantiza una calidad del efluente a la salida por debajo de los límites del artículo 19 del decreto 33-95, debido a esto se utilizaran estos porcentajes de remoción mínimos requeridos para el diseño y también para determinar si el pre-diseño es rentable con estos porcentajes de remoción mínimos.

En la Figura 5.13 se puede apreciar el tanque y las principales dimensiones encontradas por medio de las ecuaciones de diseño (Lin, 2007). El cálculo detallado de la unidad se encuentra en el Anexo A.

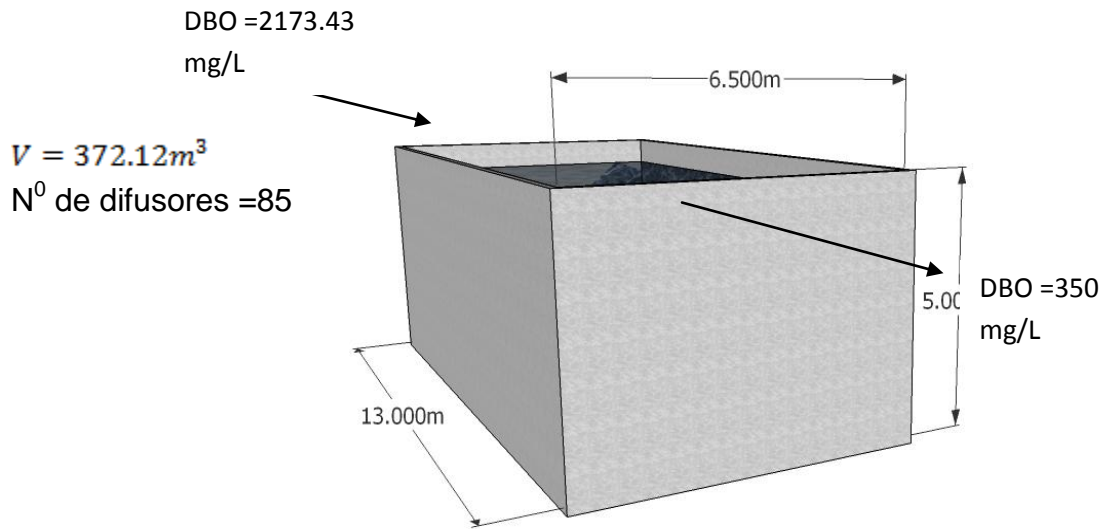


Figura 5.13 Diseño de tanque de aireación.

5.4.4 Sedimentación

Esta es la última etapa de la unidad de tratamiento que consiste en un clarificador, donde los lodos sedimentan en un 85%. Una parte de lodos es recirculada al tanque de aireación, y el exceso de éstos es eliminado del sistema. El tiempo de retención del agua en el clarificador es de 2.5h. En la Figura 5.14 se puede apreciar la unidad y las principales dimensiones encontradas por medio de las ecuaciones de diseño (Lin, 2007). El cálculo detallado de la unidad se encuentra en el Anexo A.

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

$$V = 66.36m^3$$

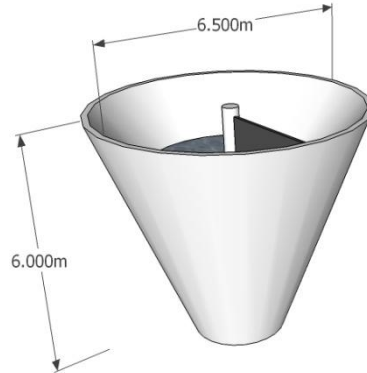


Figura 5.14 Diseño del clarificador.

Cada unidad de tratamiento prevista proporciona un cierto grado de reducción de determinados contaminantes del agua. En la Tabla 5.4 se muestra el resumen de la calidad de agua por parámetro después de atravesar el sistema propuesto.

Tabla 5.6 Calidad de agua con la unidad de tratamiento propuesto.

Parámetros fisicoquímicos	Afluente	Efluente	% de Remoción mínimos	% de Remoción máximos
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	1281.57	350	73	Mayor del 85
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)	2173.43	593	73	Mayor del 85
Sólidos Suspendidos (mg/L)	567.05	85	85	Mayor del 85
Sólidos Totales (mg/L)	3704.86	370	90	Mayor del 90

Fuente: Lin, 2007

5.4.5 Cuantificación de los lodos generados en el proceso de lodos activados

El Sistema de Lodos Activados tiene como desventaja la generación de Lodos. Se estima que el sistema diseñado generará una cantidad de lodos igual a 183.82 kg/d (Ver Anexo A). Estos lodos son procedentes de los clarificadores, donde una parte del lodo es recirculado al tanque de aireación y la otra es purgada diariamente, estos lodos son únicamente secundarios ya que el sistema carece de un tratamiento primario. Los lodos deberán ser sometidos a un tratamiento posterior para su adecuada disposición.

5.5 Determinación de la rentabilidad de la unidad propuesta

El método utilizado para determinar la rentabilidad del pre-diseño fue el del VPN (Valor Presente Neto); éste se calculó determinando los costos actuales que presenta la Industria de Bebidas en tratar sus aguas por medio del contrato con ENACAL y los costos que obtendrían con la implementación del sistema de tratamiento.

5.5.1 Costos actuales por pago de tratamiento a ENACAL

El caudal y los parámetros fisicoquímicos DQO y sólidos totales en conjunto con una tarifa establecida por ENACAL son utilizados para cuantificar los gastos mensuales que tiene la Industria.

En este estudio se utilizaron los gastos incurridos en los meses de junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2009 para obtener una aproximación de los costos anuales que han venido presentando.

Los costos que presenta la Industria de Bebidas por medio del contrato con ENACAL al tratar sus aguas se dividen en 3 y son:

- Alcantarillado sanitario: representa el gasto por cantidad de m³ de agua residual que se dirige al alcantarillado.
- Tratamiento base: es el gasto ocasionado por tratar agua residual con una DQO y ST con los Límites del Decreto 33-95.
- Tratamiento en Exceso: es el Gasto por tratamiento de agua residual que supera los límites para DQO y ST establecidos en el Decreto 33-95.

El valor del gasto del alcantarillado sanitario es igual a la cantidad de agua registrada en el canal parshall por la tarifa establecida por ENACAL de C\$ 4.30.

Tabla 5.7 Alcantarillado sanitario.

Mes	Jul-09	Ago-09	Sep-09	Oct-09	Nov-09	Dic-09
Caudal (m ³)	18,850.00	24,600.00	17,080.00	24,030.00	14,000.00	18,570.00
Costo \$	3,684.32	4.808,18	3.338,36	4.696,77	2.736,36	3.629,59

Fuente: Industria de Bebidas, 2011

El tratamiento base es el costo por tratamiento de agua residual con una DQO = 900 mg/L y ST = 1500 mg/L. Las tarifas establecidas por ENACAL para estos parámetros se detallan en la siguiente tabla

Tabla 5.8 Tarifas para DQO y ST.

Descripción	C\$
Tarifa DQO	1.51
Tarifa ST	1.72

Fuente: Industria de Bebidas, 2011

Tabla 5.9 Tratamiento base.

Mes	Jul-09	Ago-09	Sep-09	Oct-09	Nov-09	Dic-09
DQO (mg/L)	1,164.42	1,519.61	1,055.08	1,484.40	864.82	1,147.12
ST (mg/L)	2,210.59	2,884.91	2,003.02	2,818.06	1,641.82	2,177.75
Total \$	3,375.01	4,404.52	3,058.10	4,302.46	2,506.64	3,324.87

Fuente: Industria de Bebidas, 2011

El tratamiento en exceso es gasto adicional por tratar agua residual que supera los límites del Decreto 33-95 para DQO y ST.

Tabla 5.10 Tratamiento exceso.

Mes	Jul-09	Ago-09	Sep-09	Oct-09	Nov-09	Dic-09
DQO (mg/L)	1,746.62	2,279.41	1,582.62	1,434.92	835.99	1,108.88
ST (mg/L)	1,473.73	1,923.27	1,335.35	1,555.57	906.28	1,202.12
Total \$	3,220.35	4,202.69	2,917.96	2,990.49	1,742.27	2,311.00

Fuente: Industria de Bebidas, 2011

La suma del tratamiento base y tratamiento en exceso es el tratamiento total, la disminución de estos costos es significativa con la implementación del sistema de tratamiento, debido a que el efluente final presenta valores mínimos de DQO y ST.

$$\text{Tratamiento Total} = \text{Tratamiento Base} + \text{Tratamiento en Exceso} \quad (5.1)$$

Los costos totales representan los costos por uso del alcantarillado y por tratamiento de DQO y ST, estos costos se detallan en la siguiente Tabla.

Tabla 5.11 Costos totales.

Mes	Jul-09	Ago-09	Sep-09	Oct-09	Nov-09	Dic-09
Tratamiento Total	6,595.36	8,607.20	5,976.06	7,292.95	4,248.91	5,635.88
Alcantarillado	3,684.32	4,808.18	3,338.36	4,696.77	2,736.36	3,629.59
Total \$	10,279.68	13,415.39	9,314.42	11,989.72	6,985.27	9,265.47

Fuente: Industria de Bebidas, 2011

En la tabla anterior se puede observar como el valor del mes de noviembre del año 2009 es el único que resultó mucho menor del valor promedio de todos los costos; por lo tanto debido a la gran variabilidad de este dato con respecto a los demás se decidió realizar el promedio de los meses de julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre para el cálculo de los costos sin tratamiento.

A partir de estos costos totales se calculó el promedio de los 5 meses que resultó igual a \$10,852.93.

Tabla 5.12 Costo anual sin tratamiento.

Descripción	Costos \$
Promedio de los 5 Meses	10,852.93
Gasto Anual	130,235.16

5.5.2 Costos por tratamiento con la unidad

Los costos de agua residual con la unidad de tratamiento son los costos de inversión, los costos de operación y los costos residuales de ENACAL, se detallan cada uno a continuación.

El costo de la inversión del sistema de tratamiento es igual al costo de construcción, equipos y accesorios, estos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.13 Inversión.

Descripción	Costos \$
Construcción	25,000.00
Equipos	10,980.00
Accesorios (30% de los Equipos)	3,294.00
Total	39,274.00

Los costos de operación anuales se determinaron con la suma de los costos de energía, costos de mantenimiento y mano de obra.

Tabla 5.14 Costos de operación.

Descripción	Costos \$
Costos de Energía	2,325.60
Mantenimiento	549.00
Mano de Obra	695.00
Total al Mes	3,569.60
Total Anual	42,835.20

Una vez implementado el sistema de tratamiento todavía existirán costos por parte de ENACAL como son el alcantarillado y un pago menor por el tratamiento

Base ya que el tratamiento no deja en cero los valores de DQO y ST, estos son llamados Costos Residuales de ENACAL.

Dichos costos van relacionados con la calidad de Agua Final que se tendrá en el efluente del sistema de tratamiento, estos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 5.15 Datos de calidad de agua en el efluente.

Descripción	Costos \$
Caudal Máximo (m ³ /d)	692
DQO (mg/L)	593
ST (mg/L)	370

La unidad propuesta está diseñada con una remoción 73% para DBO₅ y 90% para sólidos totales, cabe destacar que el sistema de lodos activados es muy efectivo y puede lograr una remoción mayor al 85% (Lin, 2007). El caudal del agua residual es 692 m³/d corresponde al de diseño según las proyecciones en 15 años. Por lo tanto se puede esperar que una vez implementado el sistema los costos por alcantarillado y los costos de tratamiento en exceso sean menores que los presentados en este estudio y como resultado los ahorros anuales serian mayores.

Tabla 5.16 Costos residuales de ENACAL.

Descripción	Costos \$
Alcantarillado	4,057.64
Tratamiento Base	1,445.80
Total al Mes	5,503.44
Total Anual	66,041.29

Los costos totales anuales con tratamiento son la suma de los costos de operación anuales y los costos residuales de ENACAL.

Tabla 5.17 Costos totales anuales con tratamiento.

Descripción	Costos \$
Costos de Operación	42,835.20
Costos Residuales	66,041.29
Total \$	108,876.49

El ahorro anual se calculó a partir de la diferencia de los costos anuales sin tratamiento menos los costos por tratamiento con la unidad anuales con tratamiento, este ahorro es igual al flujo neto de efectivo ya que este ingreso representa la ganancia anual, este valor se utilizó para calcular el VPN.

Tabla 5.18 Ahorro anual.

Descripción	Costos \$
Costo Anual/ sin Tratamiento	130,235.16
Costo Anual/ con Tratamiento	108,876.49
Ahorro o FNE	21,358.67

5.5.3 Cálculo del VPN

Los indicadores financieros utilizados en este pre-diseño son valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR) ambos criterios servirán determinar la rentabilidad del diseño.

VPN es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{FNE}{(1+TMAR)^n} \quad (5.2)$$

Si $VPN > 0$ el pre diseño se acepta

Si $VPN = 0$ el pre diseño no presenta pérdidas ni ganancias

Si $VPN < 0$ el pre diseño se rechaza

TIR es la tasa de descuento por la cual el VPN es igual a cero.

Si la $TIR > TMAR$ el pre diseño Es rentable

Si la $TIR < TMAR$ el pre diseño No es rentable

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

La TMAR fue proporcionada por la Industria de Bebidas con un valor del 14%, este valor se utilizó para calcular el VPN.

$$TMAR = 14\% \quad (5.3)$$

La Vida Útil de la planta se estima en 25 años, se utilizó un $n = 25$ en la fórmula del VPN y los FNE son los ahorros anuales que obtendría la Industria de Bebidas.

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{FNE}{(1+TMAR)^i} \quad (5.4)$$

$$VPN = -39,274.00 + \frac{21,358.67}{(1+0.14)^1} + \frac{21,358.67}{(1+0.14)^2} + \dots + \frac{21,358.67}{(1+0.14)^{25}}$$

$$VPN = 94,318.06$$

$VPN > 0$ Por lo tanto el pre diseño es rentable

Para el cálculo de la TIR solo se igualó a cero el VPN y el resultado obtenido fue de

$$0 = -39,274.00 + \frac{21,358.67}{(1+TIR)^1} + \frac{21,358.67}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{21,358.67}{(1+TIR)^{25}} \quad (5.5)$$

$$TIR = 54.38 \%$$

Ya que la $TIR > TMAR$ el pre diseño es rentable, el valor de la TMAR se podría duplicar para calcular de nuevo el VPN y obtendríamos de nuevo un resultado rentable por el alto valor de la TIR.

VI. Conclusiones

- Con base en la caracterización físico-química realizada de las aguas residuales de la Industria de Bebidas, se determinó que esta no posee características necesarias para el cumplimiento de los valores establecidos en el artículo 19 contemplado en el Decreto 33-95, debido a que solamente un parámetro, temperatura, cumple con la norma establecida.
- El caudal de diseño es de 691.47 m³/d y aporta una carga de DBO₅ de 886.17 kg al día (esto a partir 8 muestreos diferentes realizados en la Industria de Bebidas, utilizando como promedio 1281.57mg/L de DBO₅).
- La tecnología más adecuada para el tratamiento de aguas residuales de la Industria de Bebidas es lodos activados, esto basado en carga orgánica, características del agua residual, ausencia de olores, área disponible para la Instalación, aspectos económicos de la empresa. El sistema completo de tratamiento deberá estar conformado por un tratamiento preliminar en forma de cribado, un mezclador hidráulico para neutralizar el afluente muy básico, un tanque de aireación y un clarificador.
- La Inversión requerida para la instalación del sistema de lodos activados es de \$ 39,274 dicha inversión será financiada por los ingresos propios de la Industria de Bebidas.
- Se utilizaron los identificadores VPN y TIR para determinar la rentabilidad del pre-diseño, ambos identificadores dieron como resultado que el Sistema es rentable.
- Los ahorros que tendrá la Industria de Bebidas con la unidad de tratamiento propuesto es de \$ 21,358.67 dólares anuales.

VII. Recomendaciones

De acuerdo al estudio realizado a las aguas residuales provenientes de la Industria de Bebidas, con el fin de cumplir con la Norma nacional de vertido según el artículo 19, se recomienda lo siguiente:

- Recurrir a la asistencia técnica para la realización de las obras civiles requeridas para la instalación del sistema de lodos activados propuesto en el capítulo 5 del presente trabajo.
- Realizar el mantenimiento de todos los equipos para garantizar su buen desempeño y el alcance óptimo de los porcentajes de remoción.
- Utilizar máquinas codificadoras de tintas de laser en el proceso de fechado en lugar de las tintas de actuales que se utilizan en las líneas esto para reducir la carga orgánica de contaminantes.
- Ante el posible incremento de la carga orgánica debido a la disminución del Indicador de Agua y aumento de la producción, se recomienda considerar en el futuro un diseño de una etapa adicional anaerobia seguida del tratamiento aerobio propuesto en este estudio.

VIII. Abreviatura

CAUE	Costo Anual Uniforme Equivalente
CIRA	Centro de Investigaciones de Recursos Acuáticos
DBO ₅	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
ENACAL	Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado
F/M	Relación alimento – microorganismo
FNE	Flujos Netos de Efectivo
MARENA	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MLVSS	Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla
pH	Potencial de hidrógeno
RBC	Filtros rotatorios biológicos de contacto
SAAM	Sustancias activas azul de metileno
SM	Método estándar
SST	Sólidos suspendidos totales
ST	Sólidos totales
TDS	Sólidos totales disueltos
TIR	Tasa interno de retorno
TSS	Sólidos suspendidos totales
TMAR	Tasa mínima atractiva de rendimiento
VPN	Valor presente neto

IX. Bibliografía

- Baca, G. (2007). Fundamentos de Ingeniería Económica, 4^{ta} Edición. McGraw-Hill Companies. ISBN 13:978-970-10-6113-8. 89-92; 134
- Blank, L., Tarquin, A. (1999) Ingeniería Económica, 4^{ta} Edición. McGraw-Hill Companies. ISBN 958-600-9661. 26-29; 86; 338; 536
- CIRA, (2011). Informe global de precios por realización de análisis. 1-3
- Clesceri, S., Genberg, E., Eaton, D. (1998). Standard Methods for the examination of the water and wastewater 20th Edition.
- Industria de Bebidas, (2011). Informe anual de costo por tratamiento de aguas residuales. 1-7.
- La Gaceta, (1995). Decreto 33-95. Disposición para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domesticas, industriales y agropecuario.
- Lin, S. D. (2007). Water and Wastewater Calculations Manual, 2nd Edition. The McGraw-Hill Companies. ISBN-10 0-07-147624-5. 288-291; 533-538; 575-578; 631-642.
- Mara, D.D. (1996), Sewage treatment in Hot Climates, John Wiley & Sons, Londres. 45.
- Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering. Treatment and Reuse, 4th Edition. The McGraw-Hill Companies. ISBN 7-302- 05857-1. 548; 551; 558- 559; 561.
- OPS/CEPIS/PUB. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Diseño de plantas de tecnología apropiada. Mezcladores. Tomo II. Editorial centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS/OPS. Lima, Perú. Capítulo 2. 47-57.
- Piura, L. J. (1998). Publicación científica de la escuela de salud pública de Nicaragua. Introducción a la investigación científica. 30-32.

- Ramalho, R.S. (1983). Tratamientos de aguas residuales. Editorial REBERTE S. A. 29-34; 585
- Rodríguez, A. (2006) Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Circulo de innovación en tecnologías medioambientales y energía (CITME). Universidad de Alcála. 10; 30-31.
- Veenstra, S., Polprasert, C. (1996). Wastewater treatment – part. IHEE DELFT. 7-8; 4-49.

Sitios web visitados

- <http://www.zonaeconomica.com/inversion/definicion/> visitado 07/02/2011, a las 10:00 pm.
- http://html.rincondelvago.com/matematicas-financieras_10.html/ visitado 10/02/2011, a las 10:40 pm.
- http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Caracter%C3%ADsticas_de_las_aguas_residuales#Clasificaci.C3.B3n_de_las_Industrias_seg.C3.BA_n_sus_Vertidos/ visitado 17/02/2011, a las 07:15 pm.
- html.rincondelvago.com/aguas-residuales_2.html/ visitado 17/02/2011, a las 08:30 pm.
- http://html.rincondelvago.com/matematicas-financieras_10.html/ visitado 17/02/2011, a las 09:00 pm.
- <http://www.aguamarket.com/sql/productos/productos.asp?producto=1985&nombreactivo=DIFUSORES+DE+MEMBRANA/> visitado 19/02/2011, a las 09:30 am.

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

ANEXOS

Anexo A

A.1. Diseño de rejillas

Los valores de los parámetros asumidos se presentan en la Tabla A.1

Tabla A.I Criterios de diseño para rejillas de limpieza manual.

Parámetro	Limpieza manual
Ancho de Barra (mm)	5-15
Espacio libre entre barras (mm)	25-50
Velocidad de aproximación (m/s)	0.3-0.6
Velocidad a través de las barras (m/s)	0.9
Coefficiente de descarga para rejillas de barras limpias	0.7

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

- **Cálculo del ancho del canal**

$$W = \frac{Q_{\max} \left(\frac{a+s}{s} \right)}{V \cdot D} + C_{\text{rej}} \quad \text{Ec. A.1.1}$$

donde:

Q_{\max} = Caudal de diseño (m^3/s)

a = ancho de las barras (m)

s = espacio libre entre las barras (m)

V = velocidad de aproximación (m/s)

C_{rej} = Coeficiente de seguridad (m). Para finas 0.1 y Gruesas 0.3

D = nivel de aguas arriba de la rejilla a caudal (m)

El valor de D está en función del valor del caudal de diseño ($691.47 \text{ m}^3/\text{d}$) y se calculó con la siguiente ecuación.

$$D = 0.15 + 0.74\sqrt{Q_{max}} \quad \text{Ec. A.1.2}$$

donde:

Q_{max} = Caudal de diseño (m^3/s)

$$D = 0.15 + 0.74\sqrt{8.00 * 10^{-3} m^3/s}$$

$$D = 0.22m$$

$$W = \frac{0.008 m^3/s \left(\frac{0.015m + 0.025m}{0.025m} \right)}{0.6 \frac{m}{s} * 0.22m} + 0.3 m = 0.40 m$$

- **Cálculo de número de barras**

Para el cálculo del número de barras se utilizará la siguiente ecuación

$$N \text{ barras} = \frac{W-a}{s-a} \quad \text{Ec. A.1.3}$$

donde:

W = ancho del canal (m)

a = ancho de las barras (m)

s = espacio libre entre las barras (m)

$$N \text{ barras} = \frac{0.40 - 0.015}{0.025 - 0.015} = 9.62 \sim 10 \text{ barras}$$

- **Perdidas de carga**

$$h_L = \frac{1}{c} \left[\frac{(V_2)^2 - (V_1)^2}{2g} \right] \quad \text{Ec.A.1.4}$$

donde:

- V_2 = velocidad de aproximación a las rejillas (m/s)
 V_1 = velocidad aguas arriba (m/s)
 g = gravedad (m/s^2)
 c = coeficiente de descarga para rejillas de barras limpias

$$h_L = \frac{1}{0.7} \left[\frac{(0.9)^2 - (0.6)^2}{2 * 9.81} \right] \frac{m^2/s^2}{m/s^2} = 0.032m$$

A.2. Diseño de mezclador hidráulico

Para que se dieran las condiciones del salto hidráulico fue necesario aumentar la velocidad, para ello se disminuirá el área en un 50% una vez que el agua residual haya salida de las rejillas, logrando un aumento del doble de velocidad.

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad \text{Ec.A.2.1}$$

$$V_2 = V_1 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)$$

$$V_2 = V_1 * 2 \quad \text{Ya que } A_1 = 2 A_2$$

$$V_2 = 0.6 \frac{m}{s} * 2 = 1.2 m/s$$

La nueva área por donde circulara el agua con esta nueva velocidad

$$A = \frac{Q}{V} \quad \text{Ec.A.2.2}$$

$$A = \frac{8.00 * 10^{-3} m^3/s}{1.2 m/s} = 6.67 * 10^{-3} m^2$$

$$A = W \times h_{agua} \quad \text{Para un ancho de canal de 0.20 m}$$

$$h_{agua} = 6.67 * 10^{-3} m^2 / 0.20m = 0.033m$$

- **Calculo del número de Froude**

Para el diseño del mezclador hidráulico es necesario calcular el número de Froude con la siguiente ecuación.

$$F_r = \frac{V_1}{\sqrt{gh}} \quad \text{Ec.A.2.3}$$

donde:

V_1 = Velocidad Aguas arriba

g = gravedad (m/s^2)

h = altura del agua en el canal

Si el salto hidráulico ocurre el número de Froude debe ser mayor que uno y el flujo aguas arriba debe ser súper crítico (Lin, 2007).

$$F_r = \frac{V_1}{\sqrt{gh}} = \frac{1.2 \text{ m/s}}{\sqrt{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.033m}} = 2.10$$

$Fr > 1$ el salto hidráulico es posible

- **Calculando la profundidad del agua después del salto**

$$D_2 = D_1 \left[\left(\frac{1}{4} + 2Fr^2 \right)^{1/2} - \frac{1}{2} \right] \quad \text{Ec.A.2.4}$$

donde:

D_1 = altura del agua antes del salto (m)

D_2 = altura del agua después del salto (m)

Fr = Número de Fraude

$$D_2 = 0.033m \left[\left(\frac{1}{4} + 2(2.10)^2 \right)^{1/2} - \frac{1}{2} \right]$$

$$D_2 = 0.083m$$

- **Calculando la velocidad después del salto**

$$V_2 = \frac{Q}{w \cdot D_2} \quad \text{Ec.A.2.5}$$

donde:

Q = caudal de diseño (m³/s)

w = ancho del canal (m)

D₂ = altura del agua después del salto (m)

V₂ = velocidad después del salto (m/s)

$$V_2 = \frac{8.00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0.20\text{m} \cdot 0.083\text{m}}$$

$$V_2 = 0.48 \text{ m/s}$$

- **Calculando las pérdidas de energía**

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \Delta E \quad \text{Ec.A.2.6}$$

donde:

ΔE = Perdidas de energía (m)

$$E_1 = D_1 + \frac{(V_1)^2}{2g} = 0.033\text{m} + \frac{(1.2 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.1063\text{m}$$

$$E_2 = D_2 + \frac{(V_2)^2}{2g} = 0.083\text{m} + \frac{(0.48 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.0947\text{m}$$

$$\Delta E = 0.1063\text{m} - 0.0947\text{m} = 0.0115\text{m}$$

A.3. Diseño del sistema de lodos activados

Los valores de los parámetros asumidos para el diseño del sistema de lodos activados se detallan en las siguientes tablas:

Tabla A.3.1 Rangos de los coeficientes cinéticos en un proceso de lodos activados.

Coefficiente	Rango
Θ_c (días)	5-10
k_d (d^{-1})	0.025-0.075
k_s mg/L DBO ₅	25-100
Y mg VSS/mg DBO ₅	0.4-0.8

Fuente: Lin, 2007

Dado:

$Q_{\text{diseño}}$	= 691.47 m ³ /día
DBO _{diseño} en el afluente	= 1281.57 mg/L
SST _{diseño} en el afluente	= 567.05 mg/L
DBO en efluente	= 350 mg/L
SST en efluente	= 85 mg/L

Parámetros de operación y coeficientes cinéticos:

θ_c	= 7 d
MLVSS	= 3,600 mg/L
VSS/TSS	= 0.8
Y	= 0.4 mg VSS/mg DBO
K_d	= 0.06 d ⁻¹
DBO ₅ / última DBO _u	= 0.67

Asumiendo:

1.42 mg de O₂ consumido por mg de Célula
Concentración de SST en el retorno de lodos activados = 9,300 mg/L
63 % de Sólidos biodegradables en el efluente

Solución:

Debido a la baja presencia de sólidos sedimentables en el agua residual no se contará con un tratamiento primario, por lo tanto las concentraciones de DBO₅ y SST iniciales serán las utilizadas en el diseño de lodos activados.

- **Estimando la DBO soluble, S que escapa del tratamiento**

$$\text{Efluente de DBO}_5 = S + \text{DBO}_5 \text{ del efluente de SST} \quad \text{Ec.A.3.1}$$

Determinando la DBO₅ del efluente asumiendo 63% de biodegradabilidad

$$\text{DBO}_5 = 63\% \text{ SS}$$

$$\text{DBO}_5 = 0.63 (85 \text{ mg/L}) = 53.58 \text{ mg/L}$$

La DBO_u de los sólidos biodegradable en el efluente es igual a

$$\text{DBO}_u = 53.58 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 1.42 \frac{\text{mg O}_2}{\text{mg Cell}} = 76.06 \text{ mg/L}$$

Con la relación DBO₅/ última DBO_u = 0.67

$$\text{DBO}_5 = 0.67 \text{ DBO}_u$$

$$\text{DBO}_5 = 0.67 * 76.09 \text{ mg/L} = 50.98 \text{ mg/L}$$

Despejando la DBO soluble (S) de la Ec. A.3.1 se obtiene

$$350 \text{ mg/L} = S + 50.9819 \text{ mg/L}$$

$$S = 299.02 \text{ mg/L}$$

- **Calculando la eficiencia del tratamiento basado en la DBO soluble**

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100 \quad \text{Ec.A.3.2}$$

donde:

$$S_0 = \text{DBO}_5 \text{ de diseño (mg/L)}$$

$$S = \text{DBO}_5 \text{ soluble que escapa del tratamiento (mg/L)}$$

E = Eficiencia del sistema (%)

$$E = \frac{1281.57 - 299.02}{1281.57} \times 100 = 76.66\%$$

- **Calculando el volumen del reactor con la siguiente ecuación**

$$V = \frac{\theta_c \cdot Q \cdot Y \cdot (S_0 - S)}{X(1 + K_d \cdot \theta_c)} \quad \text{Ec.A.3.3}$$

donde:

θ_c = Tiempo de retención de los lodos (d)

Y = Coeficiente cinético (mg VSS/mg DBO₅)

K_d = Coeficiente cinético (d⁻¹)

Q = Caudal de diseño (m³/d)

X = MLVSS = Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla (mg/L)

S = DBO₅ soluble que escapa del tratamiento (mg/L)

S₀ = DBO₅ de diseño (mg/L)

$$V = \frac{7 \text{ d} \cdot 716.62 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 0.5 \cdot (1,281.57 - 299.02) \text{ mg/L}}{3,600 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (1 + 7 \text{ d} \cdot 0.06 \text{ d}^{-1})}$$

$$V = 372.13 \text{ m}^3$$

Se diseñaran un solo tanque rectangular, las dimensiones del cada tanque se calcularan usando una relación 1:2 para el ancho y largo, 4.4 metros de profundidad con 0.6 m espacio libre.

$$V = w \cdot 2w \cdot 4.4 \quad \text{Ec.A.3.4}$$

donde:

w = ancho del tanque (m)

V = Volumen del tanque (m³)

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

$$372.13 \text{ m}^3 = (w * 2w * 4.4m)$$

$$w = 6.50 \text{ m}$$

Ancho = 6.5 metros

Largo = 13.0 metros

Profundidad = 4.4 m + 0.6 m de espacio libre = 5 metros

- Calculando el flujo de los lodos Q_{wa}

$$\theta_c = \frac{V * X}{Q_{wa} * X + Q * VSS_{efluente}} \quad \text{Ec.A.3.5}$$

donde:

V = Volumen (m^3)

Q = Caudal de diseño (m^3/s)

X = Sólidos en el licor de mezcla (mg/L)

VSS_e = Sólidos suspendidos volátiles en efluente (mg/L)

Q_{wa} = Flujo de lodos purgados del tanque de aireación (m^3/d)

Usando la Ec.A.3.5 y $VSS_e = 0.8 \text{ SS}$

$$7 \text{ d} = \frac{372.13 \text{ m}^3 * 3,600 \text{ mg}/\text{L}}{Q_{wa} * 3,600 \frac{\text{mg}}{\text{L}} + 691.47 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 68.046 \text{ mg}/\text{L}}$$

Despejando Q_{wa} se obtiene

$$Q_{wa} = 40.09 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

- **Calculando el rendimiento**

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + Kd * \theta_c} \quad \text{Ec.A.3.6}$$

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

$$Y_{obs} = \frac{0.4}{1 + 0.06 d^{-1} * 7 d} = 0.28$$

- **Determinando el incremento en la masa de la MLVSS**

$$p_x = Y_{obs} * Q * (S_0 - S) \quad Ec.A.3.7$$

$$p_x = 0.28 * 691.47 \frac{m^3}{d} * \frac{(1,281.57 - 299.02)g}{m^3} * \frac{1 kg}{1000g}$$

$$p_x = 191.38 kg/d$$

- **Calculando el incremento en la masa de la MLSS**

$$p_{ss} = \frac{p_x}{0.80} = \frac{191.38 \frac{kg}{d}}{0.80} = 239.23 \frac{kg}{d}$$

- **Calculando los TSS perdidos en el efluente**

$$p_e = (Q - Q_{wa}) TSS_{efluente} \quad Ec.A.3.8$$

$$p_e = \left(691.47 \frac{m^3}{d} - 40.09 \frac{m^3}{d} \right) * 85 \frac{g}{m^3} * \frac{1 kg}{1000g}$$

$$p_e = 55.40 kg/d$$

- **Calculando la cantidad de lodos que debe ser gastado**

$$Wastewater Sludge = p_{ss} - p_e \quad Ec.A.3.9$$

$$Wastewater Sludge = 239.23 \frac{kg}{d} - 55.40 \frac{kg}{d} = 183.82 \frac{kg}{d}$$

- **Determinando la cantidad de lodo recirculado**

Para este cálculo se realizó un balance de masa de los VSS en las corrientes Q, Q_r obteniendo:

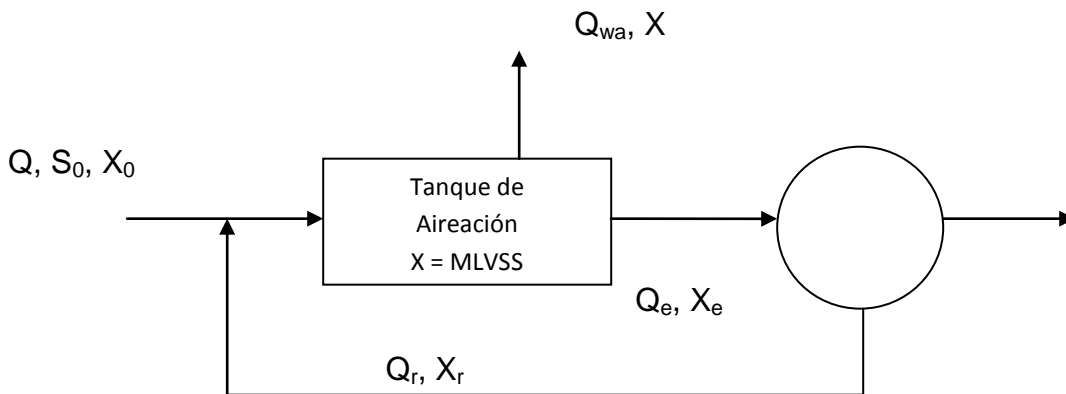


Figura A.3.1 Diagrama de flujo del tanque de aireación.

$$VSS \text{ en el tanque de aireacion} = MLVSS = 3,600 \text{ g/m}^3$$

$$VSS \text{ en retorno de lodos activados} = 9,300 * 0.8 = 7,440 \text{ mg/L}$$

$$Q_e = Q + Q_r \quad \text{Ec.A.3.10}$$

Realizando un balance por componentes de la fracción de los sólidos

$$Q_e X_e = Q X_0 + Q_r X_r$$

Despreciando la concentración de VSS en la entrada se obtiene

$$Q_e X_e = Q_r X_r$$

$$(Q + Q_r) X_e = Q_r X_r$$

$$3,600 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \left(691.47 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + Q_r \right) = 7,440 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * Q_r$$

$$Q_r = 648.25 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

- **Chequeando el tiempo de retención hidráulica θ**

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec.A.3.11}$$

$$\theta = \frac{372.13 \text{ m}^3}{691.47 \text{ m}^3/\text{d}} = 0.54 \text{ d} = 12.92 \text{ horas}$$

- **Chequeando F/M**

$$\frac{F}{M} = \frac{QS_0}{XV} \quad \text{Ec.A.3.12}$$

$$\frac{F}{M} = \frac{691.47 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 1281.57 \text{ g/m}^3}{3,600 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 372.13 \text{ m}^3} = 0.66 \frac{\text{g DBO/d}}{\text{g MLVSS}}$$

- **Chequeando F/M usando U**

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X} \quad \text{Ec.A.3.13}$$

$$U = \frac{(1281.57 - 299.02) \text{ mg/L}}{0.54 \text{ d} * 3,600 \text{ mg/L}} = 0.51 \text{ d}^{-1}$$

- **Chequeando carga DBO por m^3 y la carga de la DBO_u**

$$\text{Carga DBO} = \frac{Q * S_0}{V} \quad \text{Ec.A.3.14}$$

$$\text{Carga DBO} = \frac{691.47 \text{ m}^3/\text{d} * 1281.57 \text{ g/m}^3}{372.13 \text{ m}^3 * 1000 \text{ g/1kg}} = 2.38 \text{ kg} \frac{\text{DBO}}{\text{m}^3 \text{ d}}$$

$$\text{DBO}_5 / \text{última DBO}_u = 0.67$$

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

$$DBO_u = \frac{Q(S-S_0)}{0.67} \quad \text{Ec.A.3.15}$$

$$DBO_u = \frac{691.47 \text{ m}^3/d(1281.57 - 299.02)g/m^3}{0.67 * \frac{1000g}{1kg}} = 1,014.03 \frac{kg}{d}$$

- **Calculando la cantidad de O₂ necesitado**

$$O_2 = DBO_u - 1.42p_x \quad \text{Ec.A.3.16}$$

$$O_2 = 1,014.03 \frac{kg}{d} - 1.42 \left(191.38 \frac{kg}{d} \right) = 742.27 \frac{kg}{d}$$

- **Calculando el volumen de aire requerido**

$$\text{Aire} = \frac{O_2}{\rho * \% \text{ de } O_2 \text{ en el Aire}} \quad \text{Ec.A.3.17}$$

donde:

ρ = densidad del aire (kg/m³)

$$\text{Aire} = \frac{742.27 \frac{kg}{d}}{1.202 \frac{kg}{m^3} * 0.232 \text{ gO}_2/\text{gAire}} = 2661.77 \text{ m}^3/d$$

- **Aire requerido con un 8% de transferencia de O₂**

$$\text{Aire} = \frac{\text{Volumen de Aire}}{0.08} = \frac{2661.77 \text{ m}^3/d}{0.08} = 33,272.14 \text{ m}^3/d$$

$$\text{Aire} = 1,386.34 \frac{\text{m}^3}{h}$$

- **El diseño de aire requerido con un factor de seguridad de 2 es**

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

$$\text{Aire} = 33,272.14 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 2$$

$$\text{Aire} = 66,544.28 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 2,772.67 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- **Chequeando la cantidad de aire por carga de DBO removida**

$$\text{Aire} = \frac{33,272.14 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 1000 \text{g}/1 \text{kg}}{691.47 \text{ m}^3/\text{d} (1281.57 - 299.02) \text{g}/\text{m}^3} = 48.97 \frac{\text{m}^3 \text{ Aire}}{\text{kg DBO}}$$

- **Aire abastecido por m³ de agua tratada**

$$\text{Aire} = \frac{33,272.14 \text{ m}^3/\text{d}}{691.47 \text{ m}^3/\text{d}} = 48.12 \frac{\text{m}^3 \text{ Aire}}{\text{m}^3 \text{ Agua Residual}}$$

- **Aire abastecido por m³ de tanque de aireación**

$$\text{Aire} = \frac{33,272.12 \text{ m}^3/\text{d}}{372.13 \text{ m}^3} = 89.41 \frac{\text{m}^3 \text{ Aire}}{\text{m}^3 * \text{d}}$$

A.4. Diseño de los clarificadores

- Balance de masa en el clarificador

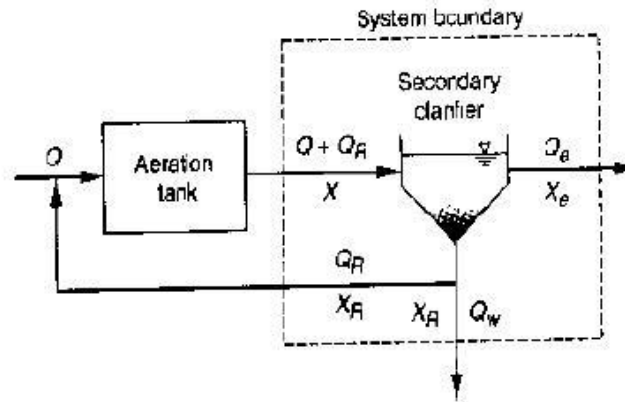


Figura A.4.1 Balance de masa en el clarificador

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

Al realizar un balance de masa alrededor de los clarificadores como se puede observar en la Figura A.4.1 se obtiene la siguiente expresión.

$$Q_r X_r + Q_w X = (Q + Q_r) X \quad \text{Ec.A.4.1}$$

Asumiendo que la corriente Q_w es insignificante se obtiene

$$Q_r X_r = (Q + Q_r) X \quad \text{Ec.A.4.2}$$

Dividiendo la Ec.A.4.2 entre Q

$$\frac{Q_r X_r}{Q} = \frac{(Q + Q_r) X}{Q} \quad \text{Ec.A.4.3}$$

$$\frac{Q_r X_r}{Q} = \frac{Q X}{Q} + \frac{Q_r X}{Q} \quad \text{Ec.A.4.4}$$

Sustituyendo Q_r/Q por R en la Ec.A.4.4

$$R X_r = (1 + R) X \quad \text{Ec.A.4.5}$$

Despejando R de la Ec.A.4.5

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

$$RX_r - RX = X$$

$$R(X_r - X) = X$$

$$R = \frac{X}{X_r - X} \quad \text{Ec.A.4.6}$$

Asumiendo $X_r = 8,000 \text{ g/m}^3$ el rango para sedimentación de los lodos es de 4,000 a 12,000 g/m^3 (Metcalf & Eddy, 2003)

$$R = \frac{3,000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{8,000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 3,000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} = 0.6$$

Asumiendo un flujo de $22 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ para el clarificador secundario, el rango establecido es de $16\text{-}28 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. (Metcalf & Eddy, 2003)

$$\text{Area} = \frac{Q}{22 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2.\text{d}}} = \frac{691.47 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{22 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2.\text{d}}} = 31.43 \text{ m}^2$$

Se diseñaran 2 clarificadores cada uno con una área de

$$\text{Area de 1 clarificador} = \frac{31.43 \text{ m}^2}{2} = 15.71 \text{ m}^2$$

El diámetro con la siguiente ecuación

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ec.A.4.7}$$

Despejando el diámetro de la Ec.A.4.7

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Ec.A.4.8}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(15.71 \text{ m}^2)}{\pi}} = 4.47 \text{ m}$$

$$D = 4.50 \text{ m}$$

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

- **Chequeando la carga de los sólidos**

$$\text{Carga de Sólidos} = \frac{\text{kg TSS aplicada}}{\text{Area } m^2 \cdot h}$$

$$\text{Carga de Sólidos} = \frac{(1+R) \cdot Q \cdot MLSS}{A} \quad \text{Ec.A.4.9}$$

El área de los dos clarificadores con la Ec.A.4.7 es

$$A = \frac{2 * \pi(4.5m)^2}{4} = 31.80 \text{ m}^2$$

$$\text{Carga de Sólidos} = \frac{(1+0.6) \cdot 691.47 \text{ m}^3/d * 3,000 \left(\frac{g}{m^3}\right) * \frac{1kg}{1000g}}{31.80 \text{ m}^2 * 24 \frac{h}{d}}$$

$$\text{Carga de Sólidos} = 4.40 \text{ kg MLSS} / \text{m}^2 \cdot h$$

El rango aceptable de carga de sólidos es 4 a 6 kg MLSS/m².h (Metcalf & Eddy, 2003).

Anexo B.

Cálculos de la rentabilidad de la unidad propuesta

Tabla B.1 Costos totales de equipos

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Compresor	1	2300	2300
Bombas	3	2160	6480
Difusores	85	20	1700
Sensor pH	1	500	500
Total			10980

Tabla B.2 Costos de electricidad

Descripción	Potencia (Kw/h)	Costo Kw/h (\$)	Costos por hora (\$)
Bombas	20.4	0.125	2.55
Compresor	5.5	0.125	0.68
Suma Total			3.23 \$ hora 2,325.6 \$/mes

Fuente: DISNORTE - DISSUR

Tabla B.3 Costos de mantenimiento.

Descripción	Costo Total
Mantenimiento	549

Tabla B.4 Costos de construcción.

Descripción	m²	Costo Total
Pre tratamiento	3	600
Mezclador Hidráulico	5	1,000
Tanque de aireación	85	17,000
Clarificadores	32	6,400
Suma Total	125	25,000

Tabla B.5 Costos de mano de obra.

Descripción	Costo Total
Mano de Obra	695

Tabla B.6 Costos de accesorios.

Descripción	Costo Total
Accesorios 30% de los Equipos	5,520

Anexo C

Parámetros fisicoquímicos y análisis de caudal

Tabla C.I Artículo 19 del Decreto 33-95. Rangos y límites máximos permisibles.

PARAMETROS FISICOS QUIMICOS	LÍMITES MÁXIMOS O RANGOS
Temperatura ° C	50
pH	6.10
Conductividad Eléctrica (micromhos/cm)	5,000
Aceites y Grasas totales (mg/L)	150
Aceites y grasas Minerales (mg/L)	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	400
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (MG/L)	900
Fósforo Total (mg/L)	_____
Parámetros Físicos-Químicos Límites	Máximos o Rangos
Nitrógeno total (mg/L)	_____
Sólidos Flotantes	Ausentes
Sólidos Suspendidos (mg/L)	400
Sólidos Totales (mg/L)	1,500
Mercurio (mg/L)	0.02
Arsénico (mg/L)	1.0
Cadmio (mg/L)	1.0
Cromo Hexavalante (mg/L)	0.5
Cromo Trivalante (mg/L)	3
Cianuro (mg/L)	2
Cobre (mg/L)	3
Plomo (mg/L)	1
Fenoles (mg/L)	1
Níquel (mg/L)	3

En la Tabla C.2, se presentan los datos de caudales de todos los muestreos realizados por el CIRA.

Tabla C.2 Datos de caudales.

Hora	Muestreo I (m³/h)	Muestreo II (m³/h)	Muestreo III (m³/h)
6:45			29.45
7:00	5.45	17.2	
7:15			9.7
7:30	11.7	10.7	
7:45			15.82
8:00	12.65	22.4	
8:15			11.95
8:30	7.1	14.6	
8:45			15.85
9:00	8.25	13	
9:15			11.05
9:30	7.7	13.8	
9:45			10.1
10:00	5.65	41.55	
10:15			10.55
10:30	7.95	24.15	
10:45			13
11:00	8.15	8.45	
11:15			15.5
11:30	6.95	18.35	
11:45			12.5
12:00	6.25	8.75	
12:15			11.8
12:30	9.2	12.8	
12:45			21.05
13:00	7.75	10.4	
13:15			12.7
13:30	5.4	10.7	
13:45			18.4

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

14:00	5.45	62	
14:15			7.55
14:30	5.45	15.5	
14:45			5.4
15:00	5.95	13.35	
15:15			15.05
15:30	6	18.9	
15:45			8.65
16:00	7.95	12.55	
16:15			7.75
16:30	24	10.05	
16:45			26.15
17:00	5.25	29.75	
17:15			23.2
17:30	4.5	10.5	
17:45			13.25
18:00	9.6	16.55	
18:15			10.05
18:30	9.9	14.95	
18:45			14.5
19:00	18.3	49.35	
19:15			10
19:30	14.5	15.15	
19:45			10.4
20:00	9.15	9.8	
20:15			10.05
20:30	7.15	9.6	
20:45			13.6
21:00	9.2	8.3	
21:15			33.49
21:30	13.9	40.85	
21:45			18.8
22:00	40.5	7.7	
22:15			8.2
22:30	17.5	10.4	

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

22:45			13.7
23:00	14.5	11.4	
23:15			15.35
23:30	12.05	10.2	
23:45			11.05
0:00	20.05	12.35	
0:15			6.75
0:30	10.4	10.9	
0:45			10.8
1:00	12.05	8.8	
1:15			20.05
1:15	8	6.05	
1:45			12.5
2:00	11.95	21.8	
2:15			11.45
2:30	12.3	7.7	
2:45			9.45
3:00	12.4	8	
3:15			13.05
3:30	11.7	21.85	
3:45			13.15
4:00	10	19.2	
4:15			6.65
4:30	8.45	14.25	
4:45			9.65
5:00	4.15	3.55	
5:15			37
5:30	7.55	5.5	
5:45			6.65
6:00	8.5	11.05	
6:15			17.85
6:30	25.1		
Promedio	10.70	16.06	13.97

La Tabla anterior refleja los datos de los tres muestreos realizados, se tomaron cada 30 minutos, en un periodo de 24 horas.

Comportamiento de parámetros obtenidos durante la caracterización

Tabla C.3 Comportamiento de temperatura.

Hora	Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III
6:45			31.2
7:00	32.3	29	
7:45			27.9
8:00	31.9	18.6	
8:45			45.5
9:00	33	34	
9:45			35.4
10:00	33.9	32.1	
10:45			32.6
11:00	39.3	34.5	
11:45			33.1
12:00	35.2	37.4	
12:45			30.8
13:00	31	36.7	
13:45			33.8
14:00	32.2	31.9	
14:45			33.9
15:00	31.2	37.5	
15:45			33.9
16:00	29.7	38.7	
16:45			26.6
17:00	32.8	31.2	
17:45			30.3
18:00	31.3	37.2	
18:45			31.7
19:00	26.1	30.6	
19:45			30.4
20:00	29.6	36.6	

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

20:45			33.3
21:00	31.6	34	
21:45			37.9
22:00	37	32.2	
22:45			30.8
23:00	33.3	31.6	
23:45			34
0:00	32.3	31.4	
0:45			31.8
1:00	33.4	33.2	
1:45			33.7
2:00	32	39.8	
2:45			34.8
3:00	34.1	31.1	
3:45			33.1
4:00	32.8	30.8	
4:45			29.0
5:00	31.1	29.1	
5:45			31.6
6:00	21	31.9	
Desv.			
Estándar	3.64		
Promedio	32.31		

Tabla C.4 Comportamiento del pH.

Hora	Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III
6:45			10.31
7:00	11.4	10.76	
7:45			10.64
8:00	10.75	6.07	
8:45			10.48
9:00	11.92	12.08	
9:45			11.26
10:00	11.82	11.81	
10:45			11.1
11:00	10.59	11.71	
11:45			10.39
12:00	11.49	11.92	
12:45			10.22
13:00	8.89	12.1	
13:45			10.87
14:00	9.5	11.03	
14:45			10.28
15:00	7.99	11.8	
15:45			10.81
16:00	8.67	11.77	
16:45			9.85
17:00	10.35	11.5	
17:45			8.41
18:00	9.57	11.67	
18:45			10.81
19:00	10.64	10.7	
19:45			7.23
20:00	11.88	12.05	
20:45			11.48
21:00	11.63	11.93	
21:45			9.84

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

22:00	11.28	11.74	
22:45			11.24
23:00	11.67	11.82	
23:45			11.51
0:00	11.42	11.44	
0:45			11.35
1:00	11.4	12.59	
1:45			11.4
2:00	11.64	11.79	
2:45			11.58
3:00	11.87	11.05	
3:45			10.94
4:00	11.7	10.18	
4:45			6.88
5:00	8.68	12.54	
5:45			11.1
6:00	9.12	10.52	
Desv.			
Estándar	1.30		
Promedio	10.81		

Tabla C.5 Sólidos totales.

Fecha	Sólidos Totales (mg/L)
08/07/10	3810.58
14/08/10	3376.00
27/08/10	3928.00
Desv. Estándar	290.78
Promedio	3704.86

Tabla C.6 Sólidos suspendidos.

Fecha	Sólidos Suspendidos (mg/L)
08/07/10	385.55
14/08/10	761.42
27/08/10	554.20
Desv. Estándar	188.26
Promedio	567.05

Tabla C.7 Sólidos sedimentables.

Fecha	Sólidos Sedimentables (ml/L)
15/10/10	1
15/10/10	1
15/10/10	10
15/10/10	1
15/10/10	80
15/10/10	1
15/10/10	1
Desv. Estándar	29.84
Promedio	12.85

Tabla C.8 Demanda química de oxígeno.

Fecha	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
Junio 2009	2250.00
Septiembre 2009	1770.24
Noviembre 2009	1855.30
Enero 2010	2763.65
Abril 2010	3052.84
Julio 2010	1911.84
Agosto 2010	1200.00
Agosto 10	2583.57
Desv. Estándar	606.58
Promedio	2173.43

Tabla C.9 Sustancias activas de azul de metileno.

Fecha	Azul de Metileno (mg/L)
08/07/10	<LD
14/08/10	<LD
27/08/10	<LD

Tabla C.10 Demanda bioquímica de oxígeno.

Fecha	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)
Junio 2009	998.78
Septiembre 2009	1035.52
Noviembre 2009	900.00
Enero 2010	940.00
Abril 2010	1985.84
Julio 2010	1272
Agosto 10	771.60
Agosto 10	2348.80
Desv. Estándar	572.95
Promedio	1281.58

Tabla C.11 Comportamiento de pH.

Fecha	pH
08/07/10	10.96
14/08/10	11.89
27/08/10	11.30
Desv. Estándar	1.304
Promedio	11.38

Tabla C.12 Nitrógeno.

Fecha	Nitrógeno (mg/L)
27/07/10	0.23

Tabla C.13 Fósforo.

Fecha	Fosforo (mg/L)
27/07/10	3.50

Anexo D.

Nutrientes Presentes en las aguas residuales

La Tabla presenta los valores promedio de DBO y los nutrientes como son fosforo y nitrógeno.

Tabla D.1 Valores obtenidos de nutrientes.

Parámetro	Valor
DBO ₅	1281.57
Nitrógeno (N)	0.23
Fósforo (P)	3.50

Por cada 100 gramos de DBO, 5 gramos de nitrógeno y 1 gramo de fósforo serán requeridos. (Metcalf & Eddy, 2003) La relación de nutrientes óptima para el sistema de lodos activados es:

$$\begin{aligned} \text{DBO}_5: \text{N}: \text{P} & \qquad \qquad \qquad (\text{D.1}) \\ 100 : 5: 1 \end{aligned}$$

Tomando los valores de la tabla D.1. Los valores para cada nutriente son:

$$\begin{aligned} \text{DBO}_5 : \text{N} : \text{P} \\ 1281.57 \text{ mg/L} : 0.23\text{mg/L} : 3.50\text{mg/L} \\ \frac{1281.57}{12.8157} : \frac{0.23}{12.8157} : \frac{3.50}{12.8157} \\ \mathbf{100.00 : 0.01 : 0.27} \end{aligned}$$

Cantidad de nutrientes en el afluente

$$N = \frac{691.47m^3}{d} * 0.23 \frac{g}{m^3} = 159.03 \frac{g}{dia} = 0.16 kg/d \quad (D.2)$$

$$P = \frac{691.47m^3}{d} * 3.5 \frac{g}{m^3} = 2,420.14 \frac{g}{dia} = 2.42 kg/d \quad (D.3)$$

Cantidad de Nutrientes Requerida

La Producción de Biomasa calculada en el diseño de lodos activados fue de 239.23 kg/d para la MLSS.

$$N_2 = 239.23 \frac{kg}{d} * 0.12 = 28.71 \frac{kg}{d} \quad (D.4)$$

$$P = 239.23 \frac{kg}{d} * 0.024 = 5.74 \frac{kg}{d} \quad (D.5)$$

Adición de Nutrientes

$$N_2 = 28.71 \frac{kg}{d} - 0.16 \frac{kg}{d} = 28.55 \frac{kg}{d} \quad (D.6)$$

$$P = 5.74 \frac{kg}{d} - 2.42 \frac{kg}{d} = 3.32 \frac{kg}{d} \quad (D.7)$$

Tabla D.2 Valores de Nutrientes a Adicionar.

Nutrientes	Afluente (kg/d)	Requerida (kg/d)	Adición (kg/d)
Nitrógeno	0.16	28.71	28.55
Fósforo	2.42	5.74	3.32

Anexo E.

Técnicas Analíticas

A continuación se describen los métodos utilizados para el análisis de las muestras en el CIRA, según el Estándar Método.

- **pH**

Se usa un pHmetro, con electrodo de vidrio Ag/AgCl u otro electrodo de referencia o tiritas indicadoras (papel pH) esto Indica el comportamiento ácido o básico del agua.

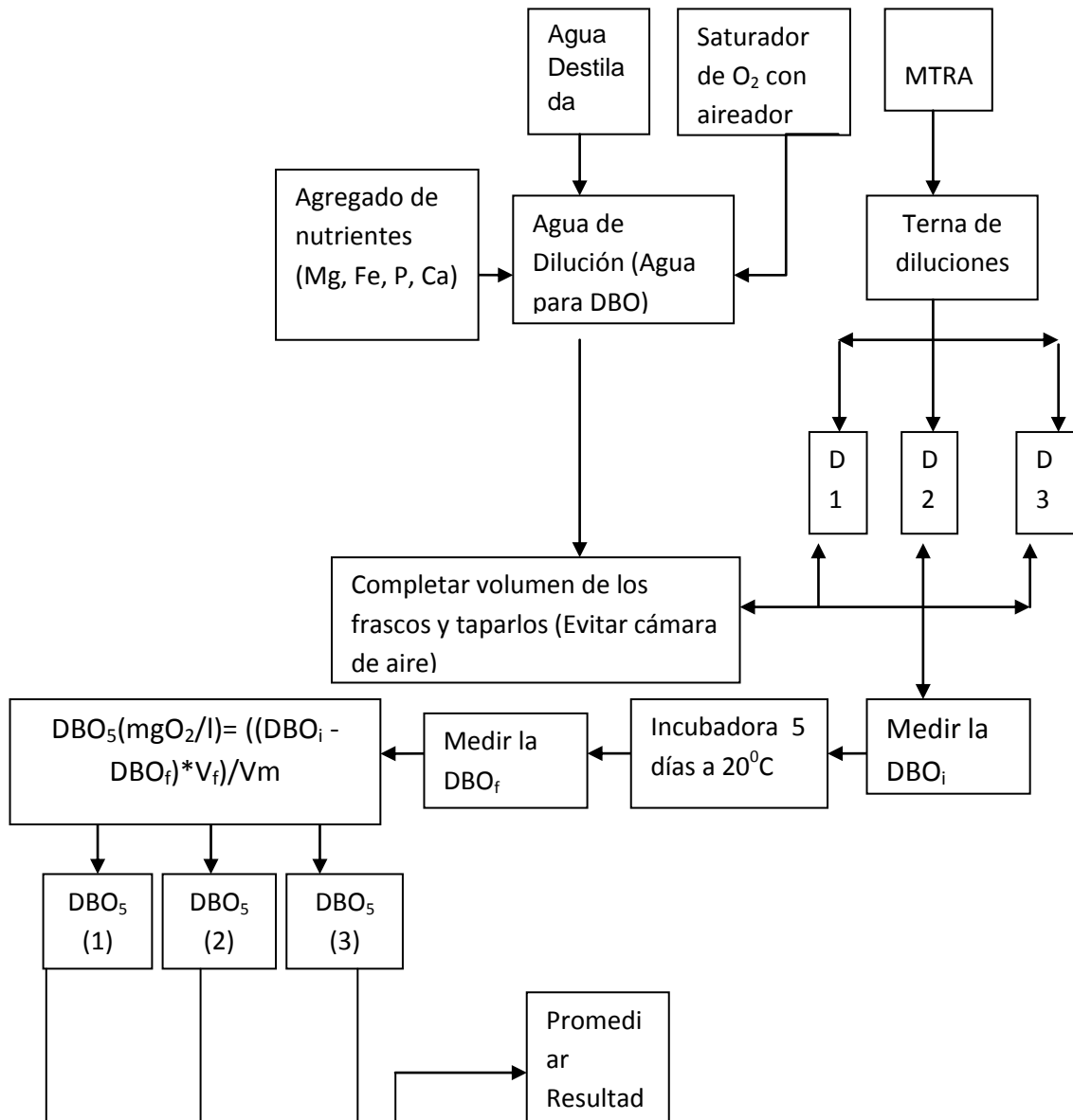
Procedimientos

- Calibrar el pHmetro
- Medir la solución patrón (buffer)
- Colocar la muestra en un recipiente
- Sumergir el electrodo y realizar agitación
- Esperar hasta que el valor se estabilice
- Retirar el electrodo y enjuagar con agua destilada
- Guardar el electrodo bajo solución preservante

NOTA: La medición con papel pH es directa por comparación visual de color.

- **Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días**

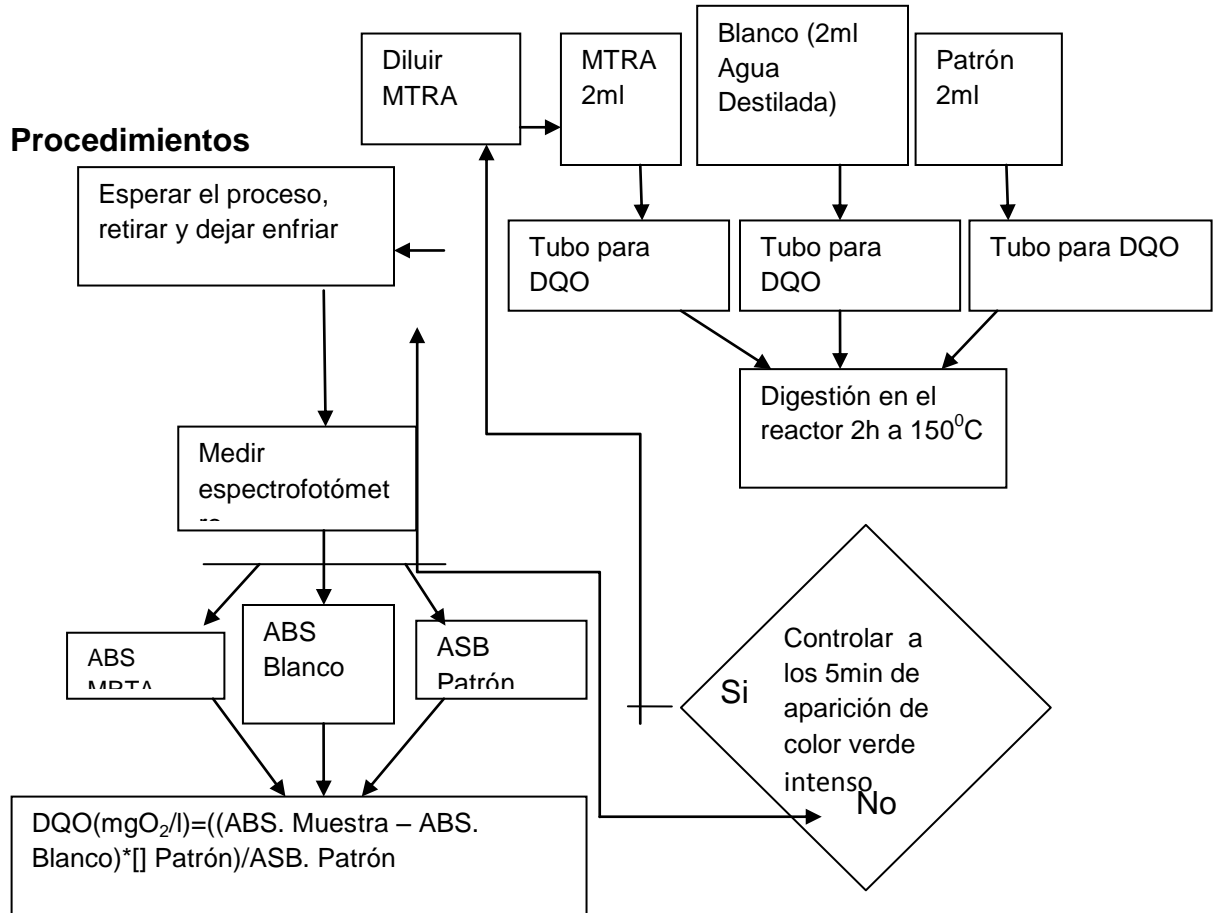
Procedimiento



Referencias

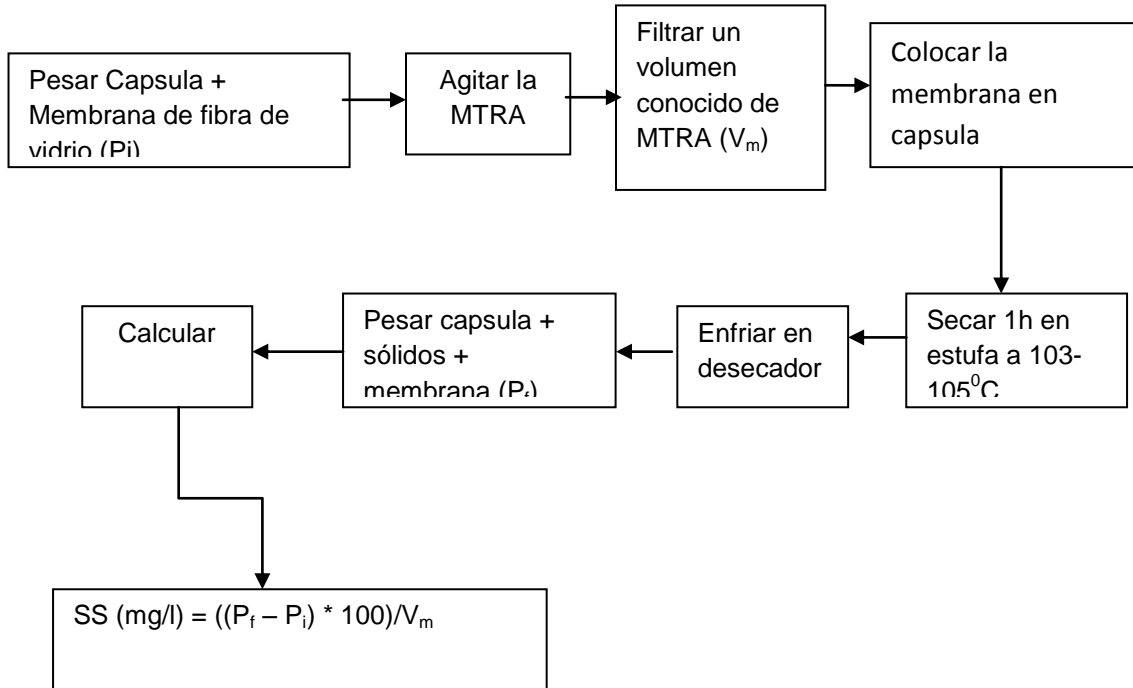
DBO_i = Medida al inicio
 DBO_f = Medida al final
 V_m = Volumen de la muestra
 V_f = Volumen del frasco del DBO.

- **Demanda química de oxígeno**



- **Sólidos suspendidos**

Procedimientos



Referencias

P_i = Peso del recipiente (Tara)
P_f = Peso del recipiente + Sólidos secos
V_m = Volumen de la muestra

- **Sólidos sedimentables**

- 1- Colocar el cono de Imhoff en el soporte.
- 2- Añadir a dicho cono 1 litro de agua residual.
- 3- Esperar 30 minutos.

Tras la espera de 30 minutos se observa los sólidos sedimentables contenidos en la muestra de agua residual.

- **Nitrógeno total**

- 1-Seleccionar el volumen de muestra.
- 1- Cuidadosamente agregar 10 ml de reactivo de digestión al balón Kjeldahl que contiene la muestra.
- 2- Agregar 4 perlas de ebullición para prevenir sacudidas durante la digestión. Ajustar cada unidad de calentamiento en el aparato de digestión Kjeldahl.
- 3- Calentar bajo una campana de extracción o con equipo de remoción de gases continuar la ebullición vigorosa hasta que la de H_2SO_4 0.02N hasta que el indicador cambie a un color lavanda pálido.
- 4- Calentar al máximo y digerir por 30 minutos adicionales.
- 5- Enfriar y transferir el tubo con la muestra digerida al equipo de destilación.
- 6- Diluir la muestra digerida con agua destilada hasta aproximadamente 50 ml de volumen total.
- 7- Adicionar solución de hidróxido de sodio para neutralizar la muestra digerida hasta obtener un viraje de color claro a oscuro (50 ml son suficientes) En un erlenmeyer medir entre 50 y 75 ml de solución de ácido bórico y si desea, adicionar 2 ó 3 gotas de indicador mixto. Colocar el erlenmeyer en el destilador de nitrógeno por debajo del tubo de salida

del destilado. Asegurar que la punta del condensador esté totalmente sumergida dentro del ácido bórico.

- 8- Destilar la muestra hasta obtener un volumen de 150 a 200 ml aproximadamente. La presencia de amoníaco cambia el color de la solución de ácido bórico de azul a verde, cuando se ha empleado el indicador.

- **Fósforo total**

- 1- Adicionar a un erlenmeyer de 125 ml, 50 ml de muestra sin filtrar.
- 2- Agregar 3 ml de ácido perclórico concentrado y agitar.
- 3- Someter a calentamiento en una plancha para llevar a cabo la digestión de la materia orgánica.
- 4- Cuando se desprendan vapores blancos del ácido perclórico, disminuir la temperatura y cubrir con un vidrio de reloj, dejar por 10 minutos en estas condiciones.
- 5- Disminuir la temperatura y dejar enfriar.
- 6- Agregar 3 ml de ácido clorhídrico y calentar nuevamente.
- 7- Cuando queden aproximadamente 5 ml de muestra, apagar la plancha y dejar enfriar.
- 8- A la muestra fría, agregar 2 gotas de solución indicadora de fenolftaleína.
- 9- Neutralizar la solución mediante la adición de NaOH 4N, llevar hasta una coloración ligeramente rosada.
- 10- Ajustar el volumen de la muestra a 25 ml y proceder a la determinación de los fosfatos siguiendo el procedimiento del numeral.
- 11- Es necesario montar con cada set de muestras un blanco de reactivos y un estándar de 1.5µg.at P/l.

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

12-Ajustar el volumen de la muestra a 100 ml y proceder a la determinación de los fosfatos siguiendo el procedimiento del numeral 5.4

“Pre- diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales procedente de una Industria de Bebidas”

Anexo F.
Plano del sistema de tratamiento de aguas residuales

