



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
TESIS DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

TEMA:
ESTUDIO DE TRATABILIDAD PARA EL DISEÑO
DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES
EN UN INDUSTRIA
ALIMENTICIA.

Autores:
RAFAEL NORBERTO CALLE CHUMO
WALTER LORENZO RODAS SOTO

Director de Tesis
ING. QUÍM. GUILLERMO CÁRDENAS

Guayaquil – Ecuador

Julio – 2013

Universidad de Guayaquil
Facultad de Ingeniería Química
Acta de Aprobación
Proyecto de Tesis

Tema:

**ESTUDIO DE TRATABILIDAD PARA EL DISEÑO
DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES
EN UN INDUSTRIA
ALIMENTICIA.**

Trabajo de investigación presentado por:

Rafael Norberto Calle Chumo

Walter Lorenzo Rodas Soto

Aprobado en su estilo y contenido por el Tribunal de Sustentación:

.....
Ing. Quím. José Guillermo Cárdenas

Director del Proyecto

Presidente del Tribunal

Profesor del Tribunal o Miembro

Profesor del Tribunal

Fecha finalización Proyecto de Investigación: Julio – 2013

Declaración

La responsabilidad del contenido desarrollado en este trabajo de Investigación, nos corresponden exclusivamente; y la propiedad intelectual de la misma a la Universidad de Guayaquil según lo establecido por la Ley vigente.

Firma:

Rafael Norberto Calle Chumo

Firma.....

Walter Lorenzo Rodas Soto

Agradecimiento

En especial a Dios, mi Madre, mi Esposa y mis hijos quienes con su incondicional amor y apoyo diario contribuyeron a culminar este logro.

Agradezco también al Ing. Pablo Paredes quién nos guio y coadyuvo en el desarrollo de este proyecto.

Walter Rodas Soto

En primer lugar agradezco a Dios por estar siempre a mi lado para superar cualquier dificultad, a mi Padre Carlos Rafael Calle Jara por haberme preparado desde pequeño y ser mi mejor ejemplo de superación, perseverancia y mi meta a llegar, a mi Madre Fátima Rosa Chumo Figueroa por haberme dado la vida, por haber dejado sus sueños por mí y sus hijos, por su cariño incondicional y su atención diaria. Todo este invaluable apoyo es lo que me ayudó a conseguir este logro, y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron y participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

Rafael Calle Chumo

Dedicatoria

Este trabajo está especialmente dedicado a la paciencia, consideración y aprecio de todas aquellas personas que ayudaron en mi formación profesional, entre ellos al Ing. Gabriel Iturralde Mancero y el Ing. Arturo Palacios.

Walter Rodas Soto

Dedicatoria

Dedico esta investigación principalmente a mi Padre quien con sus consejos me ha guiado en mi preparación profesional, a mi Madre porque estuvo conmigo en mis primeros estudios apoyándome y a mis hermanos Estefanía, Diego, Carlos, Christopher quienes están ahí cuando los necesito y a mi novia Adriana Atiencia Pazmiño por su apoyo, quien es una de las personas que llevo en mi corazón, les dedico mi esfuerzo de años plasmado en este trabajo.

Rafael Calle Chumo

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
TESIS DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO
TEMA:
ESTUDIO DE TRATABILIDAD PARA EL DISEÑO
DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES
EN UN INDUSTRIA
ALIMENTICIA.

Resumen

La conservación del medio ambiente se ha convertido en un tema de gran interés a nivel mundial. En nuestro país, la idea de preservar el ecosistema gana terreno día a día, es por este motivo que nos propusimos realizar el “Diseño de una Planta para Tratamiento de Aguas Residuales en una industria Alimenticia”, lo cual surge como un tema de actualidad y de gran utilidad, que bien puede servir de guía para la ejecución del mismo en otro tipo de industrias. Este diseño en particular, se centra en obtener la infraestructura más idónea para una industria de este tipo por medio de un análisis del tratamiento a elegir. Se describen los diversos tratamientos para aguas residuales a fin de elegir el más apropiado para este tipo de industria en particular. Seguidamente se define la calidad del agua, luego de ser empleada. Para luego proceder al diseño de la planta elegida, y es aquí donde se dimensionan los equipos tales como tanques, bombas, líneas de distribución para los químicos, la capacidad y el presupuesto de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, obteniendo de esta manera como resultado un tipo de agua que cumpla con los parámetros de calidad permisibles.

Conservación del medio ambiente - Industria Alimenticia - Calidad del Agua - Aguas Residuales - Planta de Tratamiento.

ÍNDICE GENERAL

Introducción	1
<u>Capítulo 1</u>	5
1. El Problema	5
1.1 Agua	5
❖ <i>Tipos de agua</i>	6
❖ <i>Distribución actual del agua en la tierra</i>	7
❖ <i>El agua dulce en la naturaleza</i>	8
1.2 Antecedente del problema	9
1.3 Planteamiento del problema	10
❖ Requerimientos del problema	10
❖ Restricciones del problema	11
1.4 Objetivos generales	11
1.5 Objetivos específicos	12
1.6 Identificación y clasificación de las variables	12
1.7 Justificación	12
1.8 Descripción del proceso de producción de cereales extruidos	13
<u>Capítulo 2</u>	19
2.1 Aguas residuales	19
2.1.1 Origen de las aguas residuales	19
2.1.2 Clasificación de las aguas residuales	19
2.1.3 Olores generados por las aguas residuales	22
2.1.4 Composición de las aguas residuales	22

2.1.5	Parámetros de medición	24
2.1.6	Tratamiento de aguas residuales	25
2.1.6.1	Tratamientos para la eliminación de materia en suspensión.	25
2.1.6.2	Tratamientos para la eliminación de materia disuelta.	33
2.1.7	Tratamientos biológicos.	40
❖	Procesos biológicos aerobios.	41
❖	Procesos biológicos anaerobios.	46
❖	Sistemas Anóxicos o Procesos biológicos de eliminación de nutrientes.	61
2.2	Planta de tratamiento de aguas residuales	64
2.2.1	Tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales	64
2.2.2	Selección del tipo de planta de tratamiento de aguas residuales con ayuda de una matriz de decisión.	65
2.3	Fundamentación legal	67
2.3.1	Normas nacionales que deben cumplir los efluentes	67
<u>Capítulo 3</u>		72
3.1	Estudio de tratabilidad del sistema existente de tratamiento de aguas generadas en una empresa de Alimentos.	72
3.2	Descripción del sistema antes existente.	72
3.3	Propuesta de nuestro estudio.	73
3.4	Fórmulas para el cálculo de Balance de masa	74
3.5	Metodología.	77
3.6	Resultados.	77

3.6.1 Medición de caudal.	77
3.6.2 Prueba de Jarras.	82
3.6.3 Caracterización del agua residual entrando al tanque séptico antes existente.	82
<u>Capítulo 4</u>	84
4.1 Descripción y detalle de todos los parámetros de diseño obtenidos dentro del estudio de tratabilidad.	84
4.2 Diagrama del proceso de depuración con sus dimensiones, caudales, cotas y fases o etapas de desarrollo.	84
4.3 Desarrollo de los cálculos de diseño y dimensionamiento de todos los elementos del sistema.	86
4.4 Cronograma valorado de implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales.	104
4.5 Presupuesto estimado de planta de tratamiento.	105
<u>Capítulo 5</u>	106
5.1 Conclusiones	106
5.2 Recomendaciones	107
Bibliografía	110

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico #1: Medición de caudal - Lunes 11 de junio de 2012	78
Gráfico #2: Medición de caudal - Martes 12 de junio de 2012	79
Gráfico #3: Medición de caudal - Miércoles 13 de junio de 2012	79
Gráfico #4: Medición de caudal - Jueves 14 de junio de 2012	80
Gráfico #5: Medición de caudal - Viernes 15 de junio de 2012	80

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía #1: Vista del Tanque séptico existente en la parte posterior de la empresa.	73
Fotografía #2: Vista frontal de la PTAR	74
Fotografía #3: Se aprecia la medición del caudal entrando al tanque séptico existente.	81
Fotografía #4: Tanque homogenizador, donde se dosificarán los químicos	92
Fotografía #5: Vista del dimensionamiento del tanque	93
Fotografía #6: Vista del tanque de Floculación	94
Fotografía #7: Vista del tanque sedimentador	95
Fotografía #8: Tanque de filtración con arena y gravilla	96
Fotografía #9: Tanque de filtración con carbón activado	98
Fotografía #10: Tanque de desinfección	100
Fotografía #11: Tanque de solución de hipoclorito de sodio	100
Fotografía #12: Vista lateral del Panel eléctrico principal	111
Fotografía #13: Vista Frontal del Panel eléctrico principal	111
Fotografía #14: Tanque dosificación PAC	111
Fotografía #15: Tanque alimentación	111
Fotografía #16: Tanque alimentación/ floculación	111
Fotografía #17: Vista lateral del Tanque homgenizador	111
Fotografía #18: Vista superior Tanque homgenizador	112
Fotografía #19: Tanque alimentación	112
Fotografía #20: Tanque sedimentación	112
Fotografía #21: Tanque filtración	112
Fotografía #22: Tanque filtración / carbón activado	113
Fotografía #23: Tanque desinfección (adición de cloro)	113

Fotografía #24: Vista Posterior PTAR	113
Fotografía #25: Tanque desinfección	114
Fotografía #26: Tanque adición solución de cloro	114
Fotografía #27: Vista de tanques desinfección / adición de cloro	114
Fotografía #28: Prueba de agua tratada a la salida del tanque filtración	114
Fotografía #29: Vista de la cámara almacenamiento Agua	114
Fotografía #30: Vista de Trampas de Grasa	115
Fotografía #31: Vista de Tanque de Alimentación	115
Fotografía #32: Vista de Tanque de Homogenización	116
Fotografía #33: Toma de muestras en el tanque de Homogenización	116

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro #1: Contaminantes importantes de las Aguas Residuales	23
Cuadro #2: Propiedades de típicas resinas ácidas	36
Cuadro #3: Parámetros de operación típicos en procesos de fangos Activados	44
Cuadro #4: Condiciones de operación para distintos reactores anaerobios	60
Cuadro #5: Fechas de muestreo y caudal promedio.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura #1: Representación gráfica de la distribución de agua terrestre	7
Figura #2: Diagrama de producción de arroces y hojuelas.	15
Figura #3: Diagrama de producción de arroces	16
Figura #4: Diagrama de flujo Hojuelas	17
Figura #5: Proceso de fangos activados	42
Figura #6: Proceso biológico de contacto – estabilización	44
Figura #7: Diagrama de operación típico de un filtro percolador	46
Figura #8: Esquema de la ruta de degradación anaerobia	48
Figura #9: Representación esquemática del metabolismo bacteriano	49
Figura #10: Reactor de contacto	56
Figura #11: Reactor UASB	58
Figura #12: Reactor anaerobio de lecho fluidizado.	59
Figura #13: Tratamiento biológico de compuestos con nitrógeno	62
Figura #14: Proceso biológico de nitrificación – desnitrificación	63
Figura #15: Plano Sanitario	85
Figura #16: Porcentajes de remoción en el tanque sedimentador inicial o primario según Reynolds (1982)	95
Figura #17: Vista de la Planta de tratamientos de Aguas Residuales	103

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domésticas o también llamadas municipales son provenientes de tocadores, baños, regaderas o duchas, cocinas, etc.; generalmente son dispuestas en las alcantarillas o sumideros municipales. Las aguas residuales también incluyen aguas contaminadas provenientes de industrias y comercios. La división del agua doméstica drenada en aguas grises y aguas negras es más común en el mundo desarrollado, el agua negra es la que procede de inodoros y orinales y el agua gris, procedente de piletas y bañeras, puede ser usada en riego de plantas y reciclada en el uso de inodoros, donde se transforma en agua negra.

Muchas aguas residuales también incluyen aguas superficiales procedentes de las lluvias. Las aguas residuales municipales contienen descargas residenciales, comerciales e industriales, y pueden incluir el aporte de precipitaciones pluviales cuando se usa tuberías de uso mixto pluvial - residuales.

Los sistemas de alcantarillado que transportan descargas de aguas residuales y aguas de precipitación conjuntamente son llamados sistemas de alcantarillas combinado. La práctica de construcción de sistemas de alcantarillas combinadas es actualmente menos común en los países desarrollados que en el pasado. Sin embargo, el agua doméstica y agua de lluvia son recolectadas y transportadas en sistemas de alcantarillas separadas, llamadas alcantarillas sanitarias y alcantarillas pluviales en otros países europeos. El agua de lluvia puede arrastrar, a través de los techos y la superficie de la tierra, varios contaminantes incluyendo partículas del suelo, metales pesados, compuestos orgánicos, basura animal, aceites y grasa.

Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la

materia orgánica en CO₂, es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan un papel predominante.

El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento. Específicamente el tratamiento biológico de las aguas residuales es considerado un tratamiento secundario ya que este está ligado íntimamente a dos procesos microbiológicos, aerobios y anaerobios.

El tratamiento secundario de las aguas residuales comprende una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas, el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en CO₂ y gas metano, este último se puede separar y utilizar como una fuente de energía. Debido a que ambos productos finales son volátiles, el efluente líquido ha disminuido notablemente su contenido en sustancias orgánicas. La eficiencia de un proceso de tratamiento se expresa en términos de porcentaje de disminución de la materia orgánica. El sitio donde el proceso es conducido se llama Planta de tratamiento de aguas residuales.

El agua residual industrial es un contaminante importante de las fuentes de agua que tiene el planeta. Existe la necesidad de darle un tratamiento adecuado a estas aguas de forma tal que garantice que se cumpla con los límites de descarga permitidos por la legislación ambiental ecuatoriana.

El propósito de este proyecto de tesis es justamente el estudio de tratabilidad para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales. Esta empresa se dedica a la elaboración de cereales para consumo humano, cuyas instalaciones se encuentran ubicadas en el Km. 7 ½ vía a Daule prosperina, lotización los Ángeles Mz. 13 Solar 15 Callejón 3ero entre Av. 5ta y 6ta, del cantón de Guayaquil, provincia del Guayas. De acuerdo a la Ordenanza Sustitutiva de Edificación y Construcción del Cantón Guayaquil de Junio del 2000, estableció las normas de edificación de la ciudad y el aprovechamiento del uso de suelo. El sector donde se encuentra ubicada está identificada como ZONA INDUSTRIAL ZI -1 que permite el uso del suelo para las industrias pequeñas y medianas que generen bajo impacto, característica de

uso de suelo compatible con la actividad de la empresa. La planta industrial en el desarrollo de sus actividades operacionales genera afluentes en reducidos volúmenes de agua. En tal razón la generación de los afluentes corresponden exclusivamente al lavado de equipos y utensilios, luego del cambio de proceso para un nuevo producto. En este contexto se ha determinado un promedio de generación de afluente en 2 m^3 día, sin embargo cuando hay limpieza general de la planta se genera un caudal pico de 0.02 litros/ segundo.

Conociendo que los efluentes residuales y emisiones industriales son considerados a nivel mundial como uno de los principales focos del detrimento ambiental global. La Administración de la Empresa, consciente de su responsabilidad ambiental, se propuso construir un Sistema de Pre tratamiento y Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (STARI), con el propósito de obtener la depuración de las aguas residuales industriales y alcanzar los parámetros permisibles de evacuación al sistema de alcantarillados, los mismos que se encuentran establecidos en la normativa ambiental vigente.

Durante el primer capítulo, se manifiesta todo lo referente a la características del agua, los antecedentes del problema, el proceso de fabricación de cereales de la empresa, el planteamiento del problema en sí, los objetivos generales y específicos, que deseamos lograr y la justificación.

El capítulo II, concerniente al marco teórico trata los conceptos fundamentales sobre los procesos y métodos de depuración, la fundamentación Legal, es decir los aspectos legales que toda empresa de alimentos debe de cumplir.

En el capítulo III, se presentan los datos del estudio de tratabilidad del sistema propuesto, se cuantifica el caudal de las aguas residuales generadas, y el análisis del agua que se está enviando al tanque séptico existente para saber si cumple o no con los requerimientos exigidos por la legislación ambiental ecuatoriana. El agua que se obtiene a la salida del proceso productivo es un agua contaminada, por lo tanto debe pasar por un proceso de depuración previa a ser descargada al sistema de alcantarillado de la zona.

En el capítulo IV, se procede a esquematizar el Diseño de la planta, realizando todos los cálculos de diseño y dimensionamiento de los equipos a utilizar. También se establecen los criterios de diseño, y se presenta el Plano Sanitario, de la nueva Planta. Finalmente en el capítulo V, se mencionan las Conclusiones y Recomendaciones, del proyecto realizado.

CAPÍTULO I

El Problema

1.1. El Agua

El **agua** (del latín *aqua*) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. El agua es un elemento común del sistema solar, hecho confirmado en descubrimientos recientes. Puede ser encontrada, principalmente, en forma de hielo; de hecho, es el material base de los cometas y el vapor que compone sus colas. Desde el punto de vista físico, el agua circula constantemente en un ciclo de evaporización o transpiración (evapotranspiración), precipitación, y desplazamiento hacia el mar. Los vientos transportan tanto vapor de agua como el que se vierte en los mares mediante su curso sobre la tierra, en una cantidad aproximada de 45.000 km³ al año. En tierra firme, la evaporación y transpiración contribuyen con 74.000 km³ anuales al causar precipitaciones de 119.000 km³ cada año.

Se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce es usada para agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20% del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente de una gran variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico absorbe el 10% restante.

El agua es esencial para la mayoría de las formas de vida conocidas por el hombre, incluida la humana. El acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas en la superficie terrestre. Sin embargo estudios de la FAO, estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes de 2030; en esos países es vital un menor gasto de agua en la agricultura modernizando los sistemas de riego.

✓ **Tipos de Aguas**

El agua se puede presentar en tres estados siendo una de las pocas sustancias que pueden encontrarse en sus tres estados de forma natural. El agua adopta formas muy distintas sobre la tierra: como vapor de agua, conformando nubes en el aire; como agua marina, eventualmente en forma de icebergs en los océanos; en glaciares y ríos en las montañas, y en los acuíferos subterráneos su forma líquida.

El agua puede disolver muchas sustancias, dándoles diferentes sabores y olores. Como consecuencia de su papel imprescindible para la vida, el ser humano entre otros muchos animales ha desarrollado sentidos capaces de evaluar la potabilidad del agua, que evitan el consumo de agua salada o putrefacta. Los humanos también suelen preferir el consumo de agua fría a la que está tibia, puesto que el agua fría es menos propensa a contener microbios. El sabor perceptible en el agua de deshielo y el agua mineral se deriva de los minerales disueltos en ella; de hecho el agua pura es insípida. Para regular el consumo humano, se calcula la pureza del agua en función de la presencia de toxinas, agentes contaminantes y microorganismos. El agua recibe diversos nombres, según su forma y características:

Según su **estado físico**:

- ❖ **Hielo** (estado sólido)
- ❖ **Agua** (estado líquido)
- ❖ **Vapor** (estado gaseoso).

Según sus usos agua entubada; agua embotellada agua potable – la apropiada para el consumo humano, contiene un valor equilibrado de minerales

que no son dañinos para la salud; **agua purificada** – corregida en laboratorio o enriquecida con algún agente – Son aguas que han sido tratadas para usos específicos en la ciencia o la ingeniería. Lo habitual son tres tipos:

- ❖ **agua destilada.**
- ❖ **agua de doble destilación.**
- ❖ **agua desionizada**

Según la microbiología

- ❖ **agua potable**
- ❖ **agua residual**
- ❖ **agua lluvia o agua de superficie**

✓ **Distribución actual del agua en la Tierra**

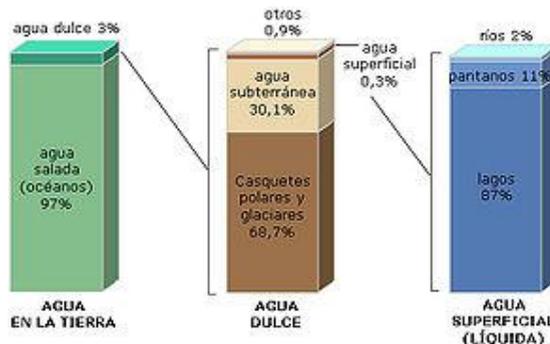


Figura #1: Representación gráfica de la distribución de agua terrestre.

El total del agua presente en el planeta, en todas sus formas, se denomina hidrosfera. El agua cubre 3/4 partes (71%) de la superficie de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

El 97 por ciento es agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares; sólo el 3 por ciento de su volumen es dulce. De esta última, un 1 por ciento está en estado líquido. El 2% restante se encuentra en estado sólido en capas, campos y plataformas de hielo o banquisas en las latitudes próximas a los polos. Fuera de las regiones polares el agua

dulce se encuentra principalmente en humedales y, subterráneamente, en acuíferos.

El agua representa entre el 50 y el 90% de la masa de los seres vivos (aproximadamente el 75% del cuerpo humano es agua; en el caso de las algas, el porcentaje ronda el 90%).

En la superficie de la Tierra hay unos 1.386.000.000 km³ de agua (Si la tierra fuese plana,-sin topografía- estaría completamente cubierta por una capa de unos 2.750 m).

La mayor parte del agua terrestre, por tanto, está contenida en los mares, y presenta un elevado contenido en sales. Las aguas subterráneas se encuentran en yacimientos subterráneos llamados acuíferos y son potencialmente útiles al hombre como recursos. En estado líquido compone masas de agua como océanos, mares, lagos, ríos, arroyos, canales, manantiales y estanques.

✓ **El agua dulce en la naturaleza**

El agua dulce en la naturaleza se renueva gracias a la atmósfera que dispone de 12.900 km³ de vapor de agua. Sin embargo, se trata de un volumen dinámico que constantemente se está incrementando en forma de evaporación y disminuyendo en forma de precipitaciones, estimándose el volumen anual en forma de precipitación o agua de lluvia entre 113.500 y 120.000 km³ en el mundo. Estos volúmenes suponen la parte clave de la renovación de los recursos naturales de agua dulce. En los países de clima templado y frío la precipitación en forma de nieve supone una parte importante del total.

El 68,7% del agua dulce existente en el mundo está en los glaciares y mantos de hielo. Sin embargo, en general, no se consideran recursos hídricos por ser inaccesibles (Antártida, Ártico y Groenlandia). En cambio los glaciares continentales son básicos en los recursos hídricos de muchos países.

Las aguas superficiales engloban los lagos, embalses, ríos y humedales suponiendo solamente el 0,3% del agua dulce del planeta, sin embargo

representan el 80% de las aguas dulces renovables anualmente de allí su importancia.

También el agua subterránea dulce almacenada, que representa el 96% del agua dulce no congelada de la Tierra, supone un importante recurso. Los sistemas de aguas subterráneas empleados en abastecimiento de poblaciones suponen entre un 25 y un 40% del agua potable total abastecida.

1.2. Antecedentes del Problema.

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, **Agua para todos, agua para la vida (marzo 2003)**. En el 2025, el consumo de agua destinada a uso industrial alcanzará los 1.170 km³ / año, cifra que en 1995 se situaba en 752 km³ / año.

El sector productor no sólo es el que más gasta, también es el que más contamina. Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en las fábricas se vierten al agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos disponibles. Estos datos aportan una idea de la importancia que tiene el tratamiento y la reutilización de aguas residuales en el sector industrial en el mundo, y más aún en países que saldan su balance de recursos hídricos con números rojos. El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene valor económico, social y ambiental.

Cada ciudadano, cada empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza. No cabe duda de que la industria es motor de crecimiento económico y, por lo tanto, clave del progreso social. Sin embargo, demasiado a

menudo la necesidad de maximizar el proceso productivo excluye de la planificación la tercera parte del progreso, la protección del Medio Ambiente.

El adecuado tratamiento de aguas residuales industriales y su posterior reutilización para múltiples usos contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental del dominio público hidráulico y marítimo y de sus ecosistemas. Sin olvidar que el agua de calidad es una materia prima crítica para la industria. La comunidad internacional ha reconocido en múltiples foros el importante papel que juega el agua en un sistema sostenible de desarrollo industrial a largo plazo.

1.3. Planteamiento del problema

Se está realizando un estudio de tratabilidad para el diseño y construcción de una planta de aguas la cual será la encargada de limpiar las aguas residuales y darle el uso antes mencionado, así reciclamos el agua, disminuimos la contaminación de nuestra ciudad y del planeta.

El tratamiento de las aguas residuales y descarga adecuada, está íntimamente ligado con el cuidado que todos como ciudadanos responsables le debemos al medio ambiente. De forma que se decidió aportar con el diseño, construcción y puesta en marcha de una planta de tratamiento de aguas residuales, para la empresa de alimentos.

1.3.1. Requerimientos del problema

La presente tesis tiene como objetivo realizar todos los estudios pertinentes para que la descarga de efluentes que realiza esta empresa, cumpla con los parámetros establecidos por la ley y sin realizar un perjuicio irreversible al medio ambiente. Para llevar a cabo este objetivo, se requiere realizar lo descrito a continuación:

- ❖ Se describirá que es una planta de tratamientos de aguas residuales. Se describirán los contaminantes que podrían estar presentes en los efluentes de la empresa tema de estudio.

- ❖ Se seleccionará el tipo de planta de tratamiento de aguas residuales.

- ❖ Se presentará tablas que registren la cantidad de agua que se utilizan en los procesos de producción, y por ende, la cantidad de efluentes.
- ❖ Se desarrollarán los procesos y tratamientos para mitigar los efectos de los efluentes en su descarga.
- ❖ Se calculará la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- ❖ Se seleccionarán los equipos adecuados.
- ❖ Se realizará el presupuesto de la planta de tratamiento de aguas residuales.

1.3.2. Restricciones del problema

El tratamiento de aguas residuales constituye una medida de mitigación que ayuda a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua, pero para que esta medida tenga éxito se debe contar con obras de infraestructura adecuada a la naturaleza de las aguas a tratar y con el personal capacitado para llevar a cabo las labores de operación y mantenimiento. Asimismo, se deben seleccionar los procesos adecuados para que la descarga de efluentes cumpla con las normativas ambientales existentes. De no ser así, la selección de los equipos y cálculo de la capacidad de la planta será errónea. Por tal motivo se debe registrar datos correctos sobre la utilización del recurso agua, y las conclusiones que se obtengan del análisis químico que se le realice al efluente, será la base para la selección de los procesos a aplicar a la planta.

1.4 Objetivos Generales

- ❖ Realizar todos los estudios pertinentes para que la descarga de efluentes que tiene esta empresa, cumpla con los parámetros establecidos por la ley sin realizar un perjuicio irreversible al medio ambiente.
- ❖ Diseñar, construir y poner en marcha una planta de tratamiento de Aguas Residuales.

1.5 Objetivos Específicos

- ❖ Identificar los contaminantes que podrían estar presentes en los efluentes de la empresa tema de estudio.
- ❖ Cuantificar el agua que se utiliza en los procesos de producción, y por ende, la cantidad de efluentes.
- ❖ Seleccionar el tipo de planta de tratamiento de aguas residuales.
- ❖ Seleccionar los equipos adecuados.
- ❖ Implementar el tratamiento preliminar de las aguas antes del tratamiento Químico, usando una cámara séptica Anaeróbica, para bajar la carga contaminante, desdoblado y fraccionando moléculas de proteínas y carbohidratos.
- ❖ Calcular la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales.

1.6 Identificación y clasificación de las variables

- ❖ **Variable independiente:** Las Aguas Residuales de una Industria Alimenticia.
- ❖ **Variable dependiente:** El Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

1.7 Justificación

La presente investigación se justifica desde la innovación aplicada al tratamiento de aguas residuales de una industria alimenticia, con el fin de minimizar los impactos ambientales negativos producidos por la contaminación de las aguas residuales.

La construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales, se encuentra justificada en el plan de desarrollo urbano estatal en donde se da prioridad al impulso de proteger el medio ambiente y los recursos naturales principalmente a las descargas de aguas industriales. Con la finalidad de atender a esta necesidad se ha considerado realizar el proyecto dentro de una

empresa de Alimentos localizada en el km 7.5 vía a Daule. En la cual cabe señalar que se trata de un área pequeña que ha sido modificada en cuanto a las condiciones del diseño de la PTAR para su respectiva construcción y puesta en marcha.

1.8 Descripción del proceso de producción de cereales extruidos.

El proceso de fabricación de Cereales para el desayuno consiste en los siguientes procesos:

- ✓ Mezclado-Extrusión
- ✓ Laminado-Horneado
- ✓ Cobertura-Empaque

❖ Mezclado-extrusión.-

En estas operaciones se realiza la mezcla de todos los ingredientes secos (harinas de maíz, arroz, vitaminas, azúcar, sal) con los ingredientes líquidos, luego de lo cual pasan al equipo extrusor que realiza la cocción, solubilización de almidones y expansión de la mezcla haciéndola pasar por un molde de forma determinada.

❖ Laminado-Horneado.-

En esta fase del proceso, el producto pasa por el equipo laminador que consiste en 2 rodillos que giran concéntricamente y que dan forma a la hojuela, estos son enfriados por agua a 10°C. En este paso la humedad del producto es del 15%, luego de eso pasa por el horno de tostado donde el producto sale con una humedad del 3%.

❖ Cobertura y Empaque.-

El producto una vez horneado pasa por una línea de cobertura de jarabes con distintos sabores dependiendo del producto y una cantidad de sólidos de 80°Bx luego de lo cual se somete a un proceso de secado adicional, para luego ir al empaque donde por un sistema de balanzas electrónicas multicabezal se realiza el envasado en las distintas presentaciones.

Descripción de Productos:

❖ Hojuelas Azucaradas

Es un cereal hecho a base de Gritz de maíz obtenido por proceso de extrusión, cortado, y tostado, cubierto con un jarabe azucarado.

❖ Hojuelas Naturales

Es un cereal hecho a base de Gritz de maíz obtenido por proceso de extrusión, cortado, y tostado.

❖ Arroz Crocante Vainilla, Fresa, y chocolate.

Son cereales a base de harina de arroz, harina de trigo y demás ingredientes, obtenido por un proceso de extrusión, cortado y tostado, recubierto con un jarabe sabor a vainilla, fresa y chocolate, respectivamente.

A continuación detallamos el diagrama de producción de arroces y hojuelas.

Figura #2

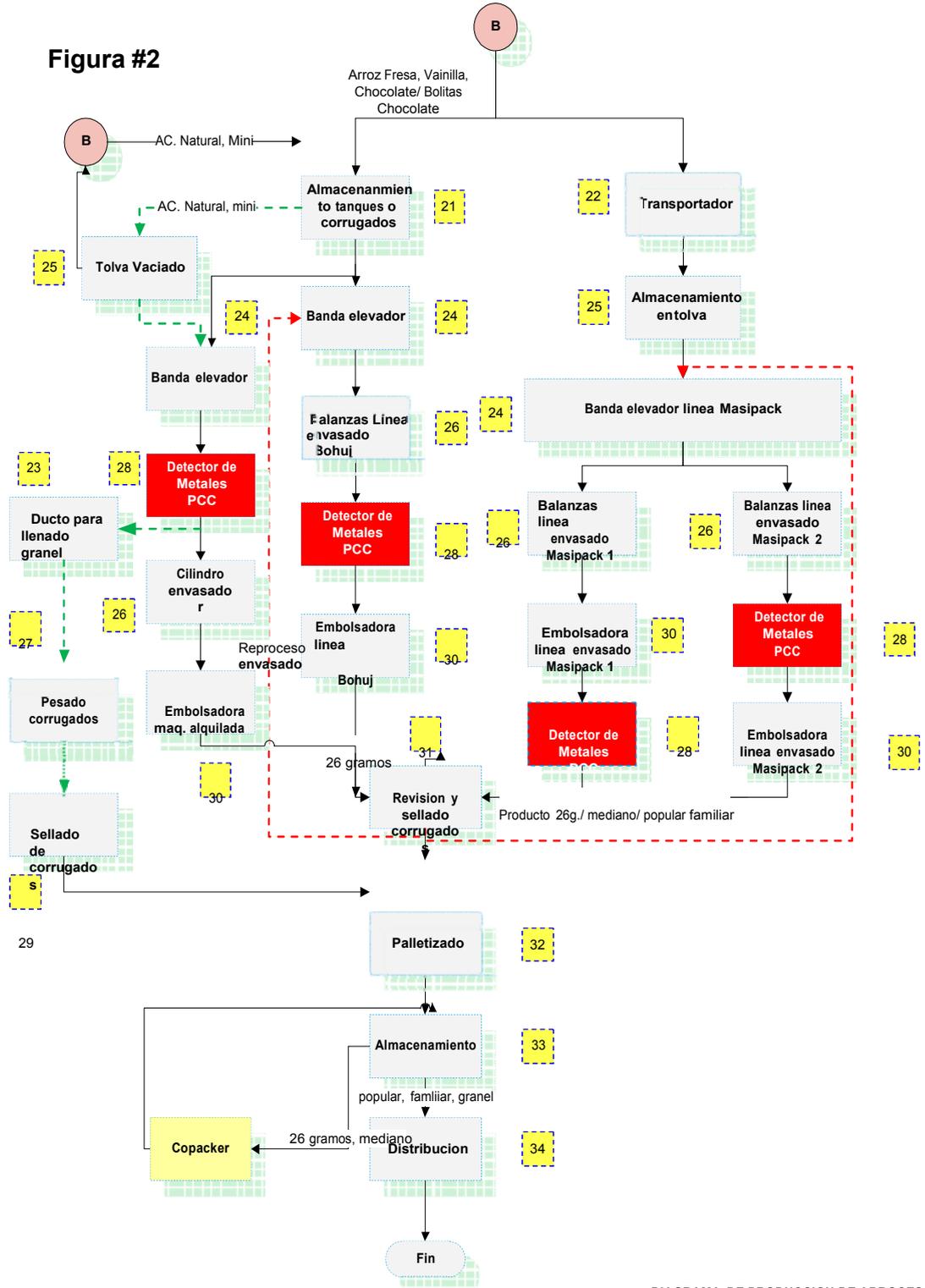


DIAGRAMA DE PRODUCCION DE ARROCES y HOJUELAS

Figura #3

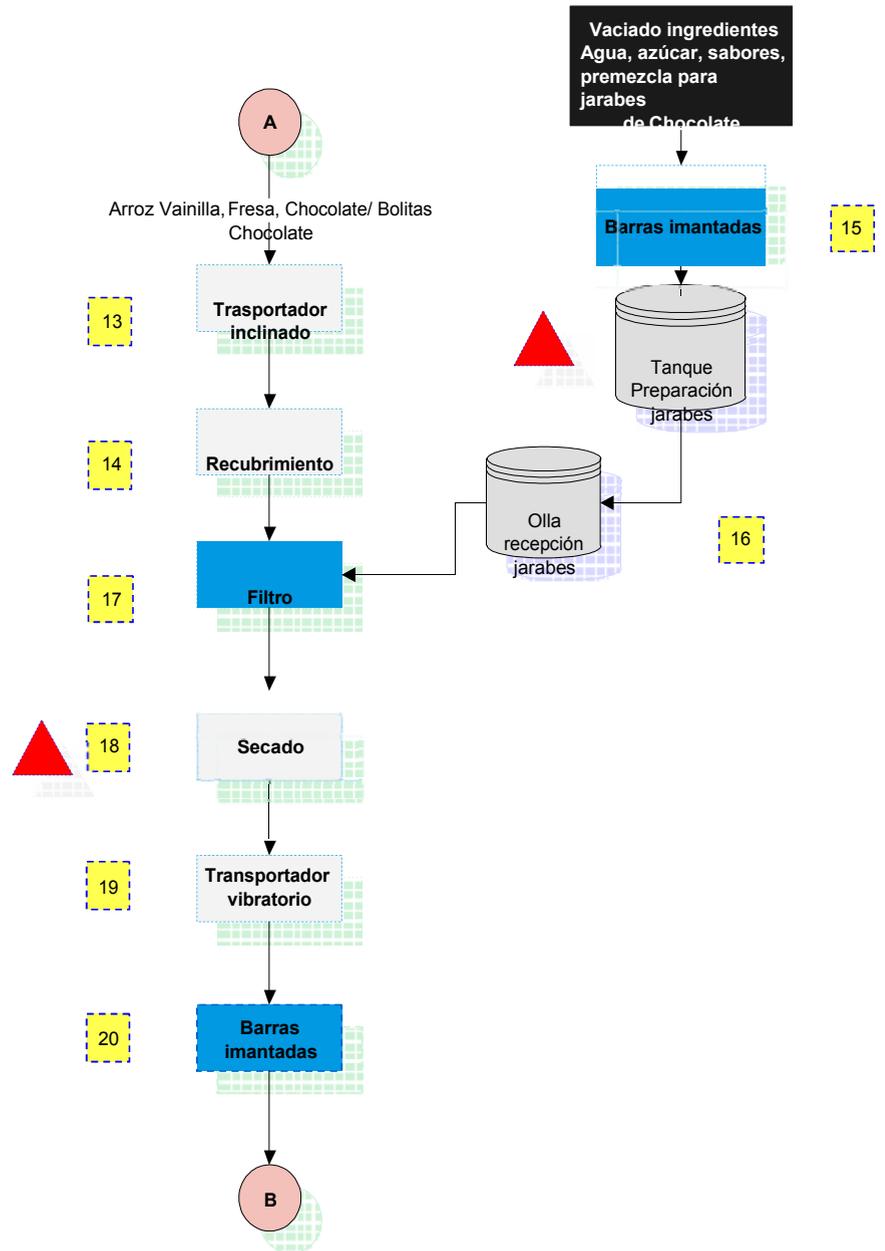


DIAGRAMA DE PRODUCCION DE ARROCES

Figura #4

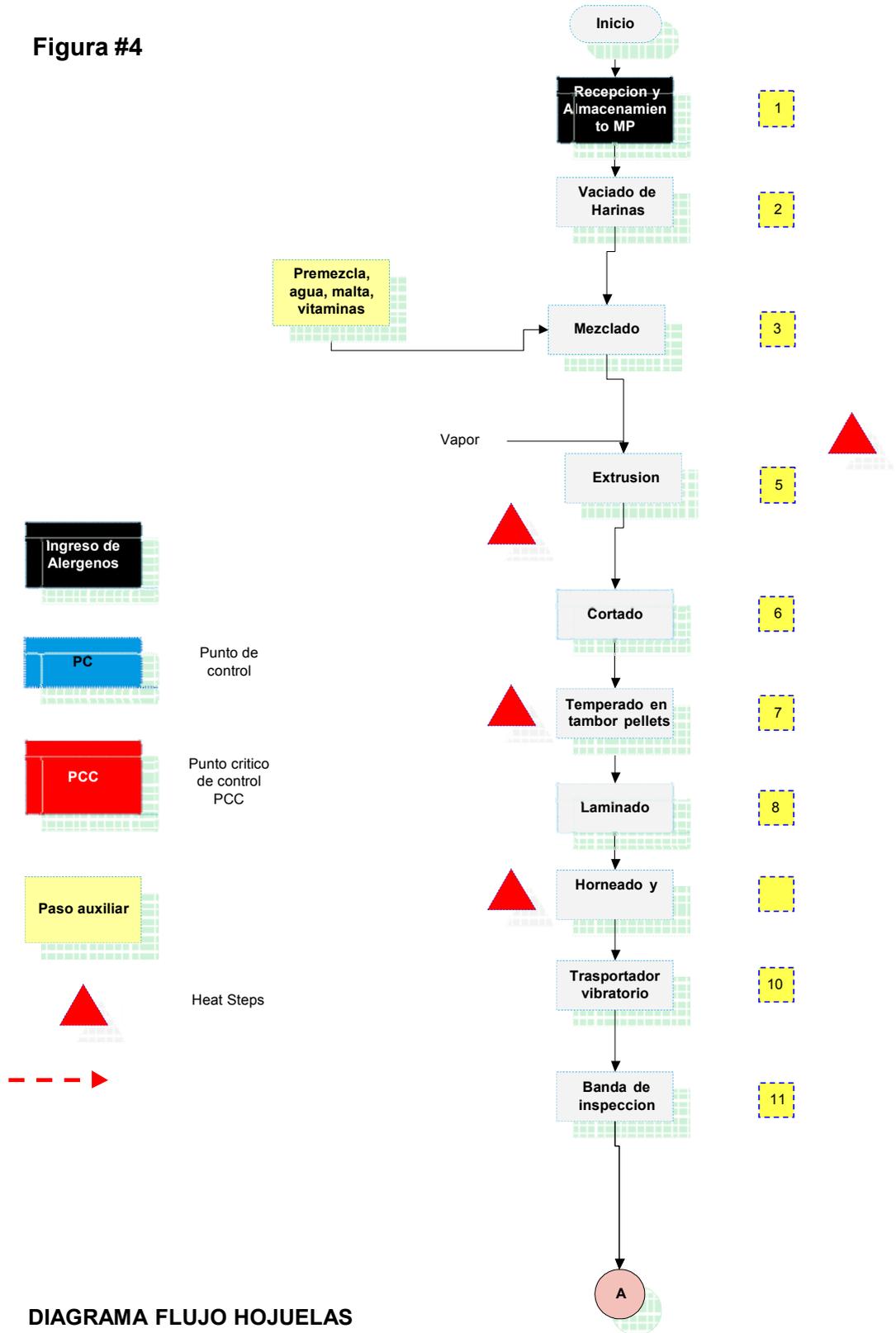


DIAGRAMA FLUJO HOJUELAS

Figura #4

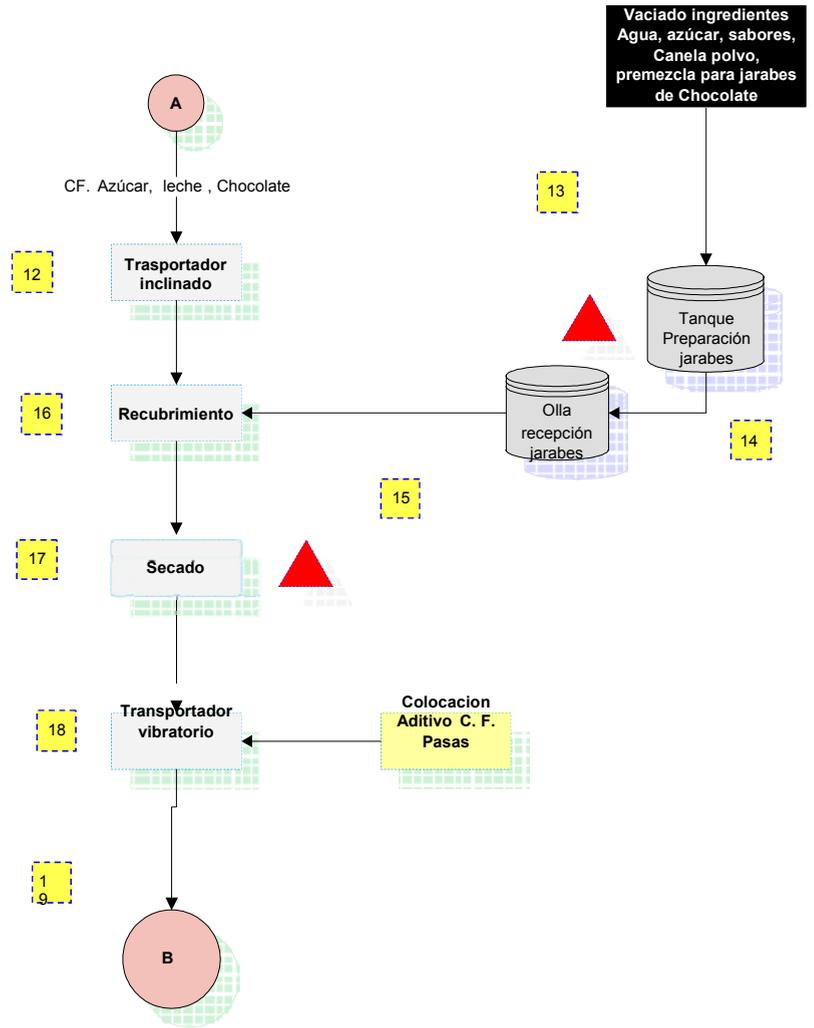


DIAGRAMA FLUJO HOJUELAS

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

2.1. Aguas residuales

2.1.1. Origen de las Aguas Residuales

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín cloaca, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias". Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual.

2.1.2 Clasificación de las Aguas Residuales

En la directiva CEE (Comunidad Económica Europea), del Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, se definen los distintos tipos de aguas residuales:

· **Aguas residuales domésticas:** Aquellas procedentes de zonas de vivienda y deservicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas. Son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

Aguas residuales industriales: Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial. Son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria. Infiltración y caudal adicionales: las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc.

Pluviales: son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

“Cada persona genera 1.8 litros de material fecal diariamente, correspondiendo a 113.5 gramos de sólidos secos, incluidos 90 gramos de materia orgánica, 20 gramos de nitrógeno, más otros nutrientes, principalmente fósforo y potasio.”

Aguas urbanas: Las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). Las industrias que realicen el vertido de sus aguas residuales en esta red colectora, habrán de acondicionar previamente sus aguas. Hasta el momento, la ley que regula el vertido de aguas industriales a la red de saneamiento en la Comunidad de Madrid es la 10/1993, de 26 de

octubre. Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales 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.

El control de la contaminación del agua producida por las actividades industriales comenzó con la aprobación por el Congreso de los Estados Unidos de la enmienda de 1972 a la “Federal Water Pollution Control Act”, que estableció un sistema nacional de descarga y eliminación de contaminantes. Las enmiendas de 1977 y 1987, conocidas como “Clean Water Act” y “Water Quality Act”, completan la regulación legal norteamericana. La tendencia en Europa y, por tanto en España, especialmente tras la promulgación de la Ley 16/2002 de prevención y control integrado de la contaminación y la puesta en marcha del EPER-España, es reducir el vertido de algunos contaminantes específicos y emplear sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales “in situ”. Entre las principales sustancias contaminantes, de acuerdo a la citada ley 16/2002, que se tomarán obligatoriamente en consideración para fijar valores límite de emisiones a las aguas se encuentran:

- ❖ Compuestos órgano-halogenados y sustancias que puedan generarlos en el medio acuático de las aguas residuales industriales
- ❖ Sustancias y preparados cuyas propiedades cancerígenas, o mutagénicas, que puedan afectar a la reproducción en el medio acuático.
- ❖ Hidrocarburos persistentes y sustancias orgánicas tóxicas persistentes y bio-acumulables, Cianuros.
- ❖ Biocidas y productos fitosanitarios.
- ❖ Sustancias que ejercen una influencia desfavorable sobre el balance de oxígeno (computables mediante parámetros agregados tales como DBO, DQO). En la ley que regula el vertido de aguas industriales a la red de saneamiento en la Comunidad de Madrid (Ley 10/1993, de 26 de octubre)

establece también la necesidad de identificación de los vertidos y la definición de determinados parámetros de contaminación. Uno de estos parámetros es la eco toxicidad (medida mediante un ensayo normalizado de bioluminiscencia) que permite detectar compuestos tóxicos para los que no exista una normativa específica, como podría ocurrir con los contaminantes emergentes. Estos contaminantes proceden de industrias muy variadas y por su naturaleza, concentración o caudal del efluente, hacen que esas aguas residuales demanden un tratamiento antes de su vertido o reutilización.

2.1.3. Olores generados por las aguas residuales

Los olores característicos de las aguas residuales son causados por los gases formados en el proceso de descomposición anaerobia. Los principales tipos de olores son:

- ✓ **Olor a moho:** razonablemente soportable: típico de agua residual fresca.
- ✓ **Olor a huevo podrido:** “insoportable”; típico del agua residual vieja o séptica, que ocurre debido a la formación de sulfuro de hidrógeno que proviene de la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos.
- ✓ **Olores variados:** ocasionados por productos descompuestos, como repollo, legumbres, pescado, de materia fecal, de productos rancios, de acuerdo con el predominio de productos sulfurosos, nitrogenados, ácidos orgánicos, etc.

2.1.4. Composición de las Aguas Residuales

Para determinar la composición de las aguas residuales se realizan diversas medidas físicas, químicas y biológicas, entre las que se incluyen la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), el pH, el nitrógeno total, los detergentes, los sólidos suspendidos totales, los organismos coliformes totales y los organismos coliformes fecales.

<u>Cuadro#1: Contaminantes importantes de las aguas residuales</u>		
<u>Contaminante</u>	<u>Fuente</u>	<u>Importancia ambiental</u>
Sólidos suspendidos.	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables.	Desechos domésticos e industriales	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos Patógenos.	Desechos domésticos.	Causan enfermedades transmisibles.
Nutrientes.	Desechos domésticos e industriales	Pueden causar eutroficación.
Compuestos orgánicos refractarios	Desechos industriales	Pueden causar problemas de sabor y olor; pueden ser tóxicos o carcinogénicos.
Metales pesados	Desechos industriales, minería.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del efluente.
Sólidos inorgánicos disueltos	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua	Pueden interferir con el reúso del efluente.

Compuestos orgánicos biodegradables: Aunque los sólidos suspendidos orgánicos son biodegradables a través de la hidrólisis, comúnmente se considera que son orgánicos solubles. Los constituyentes orgánicos solubles de las aguas residuales están compuestos principalmente de:

- ❖ Proteínas: 40 a 60%
- ❖ Carbohidratos: 25 a 50%
- ❖ Lípidos: aproximadamente 10%

Las proteínas son principalmente aminoácidos, mientras que los carbohidratos son azúcares, almidones y celulosa. Los lípidos incluyen grasas y aceites. Todos estos materiales contienen carbono, que puede ser convertido biológicamente a bióxido de carbono, ejerciendo así una demanda de oxígeno. Las proteínas contienen nitrógeno, de manera que también ejercen una demanda de oxígeno nitrogenada.

2.1.5. Parámetros de Medición

Los tratamientos a los que se deben someter los efluentes tienen que garantizar la eliminación o recuperación del compuesto orgánico en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente o para garantizar las condiciones mínimas del proceso en el caso de reutilización o recirculación de la corriente para uso interno. El nivel máximo admisible de contaminante puede conseguirse mediante la utilización de diversas técnicas tanto destructivas como no destructivas.

Físicos

Métodos no destructivos

- Adsorción (carbón activo y otros adsorbentes)
- Desorción (Stripping)
- Extracción en fase líquida con disolventes
- Tecnología de membranas (Ultrafiltración, nano-filtración)

Químicos

Métodos destructivos

- ❖ Oxidación química
- ❖ Incineración
- ❖ Oxidación húmeda catalítica y no catalítica
- ❖ Oxidación húmeda supercrítica
- ❖ Procesos avanzados de oxidación

Biológicos

- ❖ Tratamiento biológico (aerobio y anaerobio)

2.1.6 Tratamiento de aguas residuales

2.1.6.1. Tratamientos para la eliminación de materia en suspensión

La materia en suspensión puede ser de muy diversa índole, desde partículas de varios centímetros y muy densas (normalmente inorgánicas), hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de hasta unos pocos nanómetros (normalmente de naturaleza orgánica). También la concentración de los mismos, tanto en el agua a tratar como en el agua una vez tratada, juega un papel fundamental a la hora de la elección del tratamiento más conveniente.

Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación de aguas suelen ser las primeras en efectuarse, dado que la presencia de partículas en suspensión suele no ser indeseable en muchos otros procesos de tratamiento.

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

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

➤ Desbaste

Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran las aguas. El objetivo es eliminarlos y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos. Suele ser un tratamiento previo a cualquier otro. El equipo que se suele utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas de 6mm o más, dispuestas paralelamente y espaciadas entre 10 y 100mm. Se limpian con rastrillos que se accionan normalmente de forma

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

➤ **Sedimentación**

Operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también decantación. Realmente, este tipo de partículas (grandes y densas, como las arenas) se tienen en pocas ocasiones en aguas industriales. Lo más habitual es encontrar sólidos poco densos, por lo que es necesario, para hacer más eficaz la operación, llevar a cabo una coagulación-floculación previa, que como se explicará más adelante, consiste en la adición de ciertos reactivos químicos para favorecer el aumento del tamaño y densidad de las partículas.

La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.)

- ❖ **Sedimentadores rectangulares:** La velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante y se suelen utilizar para separar partículas densas y grandes (arenas). Este tipo de sedimentación se denomina discreta, dado que las partículas no varían sus propiedades físicas a lo largo del desplazamiento hacia el fondo del sedimentador. Suelen ser equipos poco profundos, dado que, al menos teóricamente, este parámetro no influye en la eficacia de la separación, siendo el principal parámetro el área horizontal del mismo.
- ❖ **Sedimentadores circulares:** Son más habituales. En ellos el flujo de agua suele ser radial desde el centro hacia el exterior, por lo que la

velocidad de desplazamiento del agua disminuye al alejarnos del centro del sedimentador. Esta forma de operar es adecuada cuando la sedimentación va acompañada de una floculación de las partículas, en las que el tamaño de flóculo aumenta al descender las partículas, y por lo tanto aumenta su velocidad de sedimentación.

- ❖ **Sedimentadores lamelares:** Han surgido como alternativa a los sedimentadores poco profundos, al conseguirse una mayor área de sedimentación en el mismo espacio. Consisten en tanques de poca profundidad que contienen paquetes de placas (lamelas) o tubos inclinados respecto a la base, y por cuyo interior se hace fluir el agua de manera ascendente. En la superficie inferior se van acumulando las partículas, desplazándose de forma descendente y recogándose en el fondo del sedimentador. Las partículas depositadas en el fondo de los equipos (denominados fangos) se arrastran mediante rasquetas desde el fondo donde se “empujan” hacia la salida. Estos fangos, en muchas ocasiones y en la misma planta de tratamiento, se someten a distintas operaciones para reducir su volumen y darles un destino final.

➤ **Filtración**

La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medioporoso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0.15 y 0.3mm. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay más variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de Tierra de Diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa.

Hay muchas maneras de clasificar los sistemas de filtración: Por gravedad o a presión, lenta o rápida, de torta o en profundidad.

- ❖ **Filtración por gravedad:** El agua circula verticalmente y en descenso a través del filtro por simple gravedad. Dentro de este tipo, podemos hablar de dos formas de operar, que nos lleva a tener una filtración lenta, apenas utilizados actualmente, o una filtración rápida. El mecanismo de la separación de sólidos es una combinación de asentamiento, retención, adhesión y atracción, por lo que se eliminan partículas mucho menores que el espacio intersticial. Es un sistema muy utilizado en tratamiento para aguas potables.
- ❖ **Filtración por presión.** Normalmente están contenidos en recipientes y el agua se ve forzada a atravesar el medio filtrante sometido a presión. También en este caso puede haber filtración lenta, en la que en la superficie del filtro se desarrolla una torta filtrante donde la filtración, a través de esa superficie, es por mecanismos físicos y biológicos. Por otro lado, en la filtración rápida se habla de filtración en profundidad, es decir, cuando la mayor parte de espesor de medio filtrante está activo para el proceso de filtración y la calidad del filtrado mejora con la profundidad. Esta filtración a presión se suele utilizar más en aguas industriales. En la actualidad y en algunas de sus aplicaciones, estos métodos están siendo desplazados por operaciones con membranas, especialmente por micro filtración, de las que se hablará en el capítulo correspondiente.

➤ **Flotación**

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

En esta operación hay un parámetro importante a la hora del diseño: La relación aire/sólidos, ml/l de aire liberados en el sistema por cada mg/l de concentración de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Es un dato a determinar experimentalmente y suele tener un valor óptimo comprendido entre 0.005 y 0.06. En el tratamiento de aguas se utiliza aire como agente de flotación, y en función de cómo se introduzca en el líquido, se tienen dos sistemas de flotación:

❖ **Flotación por aire disuelto (DAF):** En este sistema el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de micro burbujas de aire.

❖ **Flotación por aire inducido:** La operación es similar al caso anterior, pero la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o bien inducidas por rotores o agitadores. En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior. Históricamente la flotación se ha utilizado para separar la materia sólida o líquida flotante, es decir, con una menor densidad que el agua. Sin embargo la mejora en la generación de burbujas adecuadas y la utilización de reactivos para favorecer la operación (por ejemplo sustancias que disminuyen la tensión superficial) ha hecho posible la utilización de esta operación para la eliminación de materia más densa que el agua. Así se utiliza en el tratamiento de aguas procedentes de refinerías, industria de la alimentación, pinturas, etc. Una típica aplicación es también, aunque no sea estrictamente tratamiento de aguas, el espesado de fangos. En esta operación se trata de “espesar” o concentrar los fangos obtenidos en operaciones como la sedimentación.

➤ Coagulación-Floculación

Coagulación

El agua en su forma molecular pura no existe en la naturaleza, por cuanto contiene sustancias que pueden estar en suspensión o en solución verdadera según el tamaño de disgregación del material que acarrea. Por otra parte, de acuerdo con el tipo de impurezas presentes, el agua aparece como turbia o coloreada o ambas. La turbiedad que no es más que la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso, puede deberse a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, algas o crecimientos bacterianos.

El color está constituido por sustancias químicas, la mayoría de las veces provenientes de la degradación de la materia orgánica, tales como hojas y plantas acuáticas, con las cuales entra en contacto. El conocimiento de la naturaleza y las características de estos contaminantes es básico para poder entender los procesos de remoción.

Turbiedad- Aspectos Ópticos

La turbiedad es la propiedad que tiene una sustancia líquida o sólida de diseminar en todas direcciones la luz que pasa por ella. Es definición uninterrelación entre la luz incidente y la sustancia diseminante.

La luz transmitida será: $I = I_0 - I_D$ cuando no hay luz absorbida

Si hay luz absorbida $I = I_0 e^{-kl}$

En donde e = base de logaritmos naturales, k = coeficiente de absorción y l = espesor de la sustancia en suspensión. La luz reflejada solo se presenta cuando hay partículas muy grandes, y en el problema que nos ocupa podemos ignorarla. Ahora bien, los movimientos ondulatorios se pueden combinar, lo cual produce interferencias. Si dos ondas de luz de igual amplitud están fuera de la fase (cresta de seno), se restan o cancelan; y si existe solamente un desfase (cresta sobre una parte del seno), aparece una onda resultante de amplitud intermedia

Naturaleza de la Turbiedad

La turbiedad está principalmente formada por arcillas en dispersión. El término arcilla comprende una gran variedad de compuestos, pero en general se refiere a tierra fina (0.002 mm de diámetro de grano o menos), a veces coloreada, que adquiere plasticidad al mezclarse con limitadas cantidades de agua. Químicamente son silicatos de aluminio con fórmulas bastante complejas.

Según Houser las clasifica así

1. Caolinita
2. Montmorillonita (Bentonita)
3. Illita
4. Muscovita

Coagulación – Floculación de las Impurezas del Agua.

Se llama Coagulación –Floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas “FLOC” Dicho proceso se usa para:

- a) Remoción de turbiedad orgánica e inorgánica que no puede sedimentar rápidamente
- b) Remoción de color verdadero y aparente
- c) Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación
- d) Destrucción de algas y plancton en general
- e) Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en la coagulación-floculación:

- a) La desestabilización de las partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas
- b) El transporte de celdas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre si y formando una malla tridimensional de coágulos porosos

Al primer aspecto suele referirse como Coagulación y al segundo como Floculación:

La Coagulación comienza en el mismo instante que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consisten una serie de reacciones químicas y físicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma

La Floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores. Tres mecanismos pueden actuar en el primer fenómeno el de: adsorción-desestabilización basado en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión, el del puente químico que establece una relación de dependencia

entre las fuerzas químicas y las superficies de los coloides y el de sobresaturación de la concentración de los coagulantes del agua.

Coagulación-Floculación

En muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño (10^{-6} – 10^{-9} m), lo que conforma una suspensión coloidal. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables.

Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales (industria de la alimentación, pasta de papel, textiles, etc.). Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide.

Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{3+} , Al^{3+}) junto con poli electrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación:

- **Sales de Fe^{3+} :** Pueden ser Cl_3Fe o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.
- **Sales de Al^{3+} :** Suele ser $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ o poli cloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.

- **Polielectrolitos:** Pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el coste es mucho mayor. Por otro lado, la electrocoagulación es otra forma de llevar a cabo el proceso, ampliamente utilizada en el caso de tratamiento de aguas industriales. Consiste en formación de los reactivos in situ mediante la utilización de una célula electrolítica. El ánodo suele ser de aluminio, formándose cationes de Al^{3+} , mientras en el cátodo se genera H_2 , siendo útil si la separación posterior de la materia es por flotación. No hay reglas generales en cuanto a qué coagulante es más eficaz en cada caso. Normalmente, para un agua residual concreta, se hace un denominado “ensayo de jarras” (jar test) donde se analiza la eficacia de los distintos productos (o mezclas de los mismos) así como el pH y dosificación óptima.

2.1.6.2. Tratamientos para la eliminación de materia disuelta

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

A continuación se detallan algunos tratamientos para la eliminación de materia disuelta:

✓ Precipitación

Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión. Algunos autores incluyen en este apartado la coagulación-floculación. Sin embargo, el término precipitación se utiliza más

para describir procesos como la formación de sales insolubles, o la transformación química de un ión en otro con mayor o menor estado de oxidación que provoque la formación de un compuesto insoluble.

Un reactivo de muy frecuente uso en este tipo de operaciones es el Ca^{+2} , dada la gran cantidad de sales insolubles que forma, por ejemplo es el método utilizado para la eliminación de fosfatos (nutriente). Además posee cierta capacidad coagulante, lo que hace su uso masivo en aguas residuales urbanas y muchas industriales de características parecidas.

✓ **Procesos Electroquímicos**

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

Las consecuencias de las reacciones que se producen pueden ser indirectas, como en el caso de la electrocoagulación, electro-flotación o electro-floculación, donde los productos formados por electrolisis sustituyen a los reactivos químicos, y supone una alternativa con futuro a la clásica adición de reactivos. Sin embargo, la aplicación que está tomando un auge importante es en el tratamiento de aguas residuales industriales, a través de una oxidación ó reducción directa.

- ❖ **Oxidación en ánodo:** En el ánodo se puede producir la oxidación de los compuestos a eliminar, tanto orgánicos como inorgánicos. Esta oxidación se puede producir directamente por una transferencia de electrones en la superficie del ánodo o bien por la generación de un

agente oxidante in-situ. En este último caso se evita manipular agentes oxidantes. Entre las aplicaciones de la oxidación directa cabe destacar el tratamiento de cianuros, colorantes, compuestos orgánicos tóxicos (en algunas ocasiones haciéndolos más biodegradables), incluso la oxidación de Cr (III) a Cr(VI), más tóxico pero que de esta forma puede ser reutilizado. El rango de concentraciones con posibilidades de utilizar este tipo de tratamiento también es muy amplio.

❖ **Reducción en cátodo:** La principal aplicación de esta posibilidad es la reducción de metales tóxicos. Se ha utilizado en situaciones, no poco frecuentes, de reducción de metales catiónicos desde varios miles de ppm's de concentración hasta valores incluso por debajo de la ppm. Hay una primera etapa de deposición del metal sobre la superficie del cátodo que ha de continuarse con la remoción del mismo. Esto se puede hacer por raspado, disolución en otra fase, etc. El reactor electroquímico utilizado suele ser de tipo filtro-prensa, semejante a las pilas de combustible. Este sistema permite un crecimiento modular del área. Básicamente cada módulo se compone de un elemento catódico de bajo sobre-voltaje a hidrógeno (Pt, Au, Acero Inoxidable, Ni,..) y un elemento anódico que utiliza como base óxidos de metales nobles.

✓ **Intercambio Iónico**

Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte re-generante. La aplicación habitual de estos sistemas, es por ejemplo, la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones, siendo típica la aplicación para la desmineralización y el ablandamiento de aguas, así como la retención de ciertos productos químicos y la desmineralización de jarabes de azúcar. Las propiedades que rigen el proceso de intercambio iónico y que a la vez determinan sus características principales son las siguientes:

- ❖ Las resinas actúan selectivamente, de forma que pueden preferir un ión sobre otro con valores relativos de afinidad de 15 o más.
- ❖ La reacción de intercambio iónico es reversible, es decir, puede avanzar en los dos sentidos.
- ❖ En la reacción se mantiene la electro-neutralidad.

Hay sustancias naturales (zeolitas) que tienen capacidad de intercambio, pero en las industrias se utilizan resinas poliméricas de fabricación sintética con muchas ventajas de uso.

Cuadro#2: Propiedades de típicas resinas ácidas			
Parámetro	Unidades	Estructura de gel	Estructura macro porosa
Diámetro de partícula	mm	0,3-1,2	0,3-1,2
Densidad	Kg m ⁻³	850	833
Tolerancia a sólidos (turbidez)	NTU	5	5
Velocidad del lavado	m ³ h ⁻¹ m ⁻²	12.2	14.7
Tiempo de lavado	min	20	20
Velocidad de operación	m ³ h ⁻¹ m ⁻³	16-50	16-50
Velocidad de regeneración	m ³ h ⁻¹ m ⁻³	4	4
Capacidad total	Keq m ⁻³	1.5	1.8

Entre las ventajas del proceso iónico en el tratamiento de aguas cabe destacar:

- ❖ Son equipos muy versátiles siempre que se trabaje con relativas bajas concentraciones de sales.
- ❖ Actualmente las resinas tienen altas capacidades de tratamiento, resultando compactas y económicas

- ❖ Las resinas son muy estables químicamente, de larga duración y fácil regeneración

- ❖ Existe cierta facilidad de automatización y adaptación a situaciones específicas.

- ✓ **Adsorción**

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

Factores que afectan a la adsorción

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

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque recientemente se están desarrollando diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo. Hay dos formas clásicas de utilización de carbón activo, con propiedades diferentes utilizadas en diferentes aplicaciones:

- **Carbón activado granular (GAC).** Se suele utilizar una columna como medio de contacto entre el agua a tratar y el carbón activado, en la que el agua entra por la parte inferior y asciende hacia la superior. El tamaño de partícula en este caso es mayor que en el otro. Se suele utilizar para eliminar elementos traza, especialmente orgánicos, que pueden estar presentes en el agua, y que

habitualmente han resistido un tratamiento biológico. Son elementos, que a pesar de su pequeña concentración, en muchas ocasiones proporcionan mal olor, color o sabor al agua.

- **Carbón activo en polvo (CAP).** Este tipo de carbón se suele utilizar en procesos biológicos, cuando el agua contiene elementos orgánicos que pueden resultar tóxicos. También se suele añadir al agua a tratar, y pasado un tiempo de contacto, normalmente con agitación, se deja sedimentar las partículas para su separación previa. Suelen ser operaciones llevadas a cabo en discontinuo. La viabilidad económica de este proceso depende de la existencia de un medio eficaz de regeneración del sólido una vez agotada su capacidad de adsorción.

El GAC se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y posterior eliminación de la superficie del sólido en un horno. Las propiedades del carbón activo se deterioran, por lo que es necesario reponer parte del mismo por carbón virgen en cada ciclo.

Por otro lado el CAP es más difícil de regenerar, pero también es cierto que es más fácil de producir. El coste es un parámetro importante a la hora de la elección del adsorbente. Alternativas al carbón activo son las zeolitas, arcillas (montmorillonita, sepiolita, bentonita, etc.), los denominados adsorbentes de bajo coste, procedentes en su mayor parte de residuos sólidos orgánicos. Recientemente se están desarrollando derivados de polisacáridos (biopolímeros derivados del almidón) (Crini, 2005). Las aplicaciones de la operación de adsorción es amplia, desde un amplio abanico de sustancias orgánicas (colorantes, fenol, mercaptanos, etc) hasta metales pesados en todos sus estados de oxidación.

✓ **Desinfección**

La desinfección pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que puedan causar nos enfermedades, dado que el agua es uno de los principales medios por el que se transmiten. Los organismos causantes de enfermedades pueden ser bacterias, virus, protozoos y algunos otros. La desinfección se hace imprescindible para la protección de la salud

pública, si el agua a tratar tiene como finalidad el consumo humano. En el caso de aguas residuales industriales, el objetivo puede ser no solo desactivar patógenos, sino cualquier otro organismo vivo, si lo que se pretende es reutilizar el agua. Para llevar a cabo la desinfección se pueden utilizar distintos tratamientos:

- ❖ **Tratamiento físico** (calor, radiación...), ácidos o bases, etc... pero fundamentalmente se utilizan agentes oxidantes, entre los que cabe destacar el clásico Cl_2 y algunos de sus derivados, o bien procesos de oxidación avanzada (O_3 , fotocatalisis heterogénea). La utilización de desinfectantes persigue tres finalidades: producir agua libre de patógenos u organismos vivos, evitar la producción de subproductos indeseables de la desinfección y mantener la calidad bacteriológica en la red de conducción posterior. Los reactivos más utilizados son los siguientes:
- ❖ **Desinfección con cloro (Cl_2)**: Es el oxidante más ampliamente utilizado. Hay una serie de factores que influyen en el proceso: **Naturaleza y concentración de organismos a destruir, sustancias disueltas o en suspensión** en el agua así como la concentración de cloro y el tiempo de contacto utilizado. Las sustancias presentes en el agua influyen en gran medida en la cloración: En presencia de sustancias orgánicas, el poder desinfectante es menor. La presencia de amonio consume cloro (formación de cloraminas). El hierro y manganeso aumentan la demanda del mismo.

En este sentido, es importante realizar un estudio de la demanda del cloro, para determinar la dosis de cloro correcta para cada tipo de agua. Además de la dosis, es también importante **el tiempo de contacto**, de manera que el parámetro a utilizar es la expresión **$C \cdot t$** : Concentración de desinfectante final en mg/l (C) y tiempo de exposición mínimo en minutos (t). Normalmente la expresión utilizada es **$C \cdot t = \text{constante}$** , que para el cloro adopta valores entre 0.5 y 1.5. Sin embargo, uno de las principales desventajas de la utilización del cloro como desinfectante es la posibilidad de formación, aunque en cantidades muy reducidas, de compuestos como los trihalometanos.

- ❖ **Otros compuestos clorados:** El hipoclorito sódico, fabricado a partir del Cl_2 . Es también utilizado como desinfectante en sistemas con menores caudales de trabajo, aunque las propiedades son muy semejantes a las del Cl_2 . Otro compuesto con posibilidades de utilización es el ClO_2 , más oxidante que el cloro, no reacciona con amonio, por tanto no forma cloraminas y parece ser que la posibilidad de formación de trihalo metano es mucho menor que con Cl_2 . Todas estas ventajas están abriendo nuevas posibilidades a la utilización de este compuesto para la desinfección.

2.1.7. Tratamientos biológicos

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

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. Este último aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente. En el metabolismo bacteriano juega un papel fundamental el elemento aceptor de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este aspecto, además, tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas. Atendiendo a cual es dicho aceptor de electrones distinguimos tres casos:

1. **Sistemas aerobios:** La presencia de O_2 hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua.
2. **Sistemas anaerobios:** En este caso el aceptor de electrones puede ser el CO_2 o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono en su estado más reducido, CH_4 . La utilización de este sistema, tiene como ventaja importante, la obtención de un gas combustible.
3. **Sistemas anóxicos:** Se denominan así los sistemas en los que la ausencia de O_2 y la presencia de NO_3^- hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones, transformándose, entre otros, en N_2 , elemento completamente inerte. Por tanto es posible, en ciertas condiciones, conseguir una eliminación biológica de nitratos (desnitrificación).

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

Procesos biológicos aerobios

Son muchas las posibilidades de tratamiento:

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

✓ **Fangos activados: Proceso básico**

Consiste en poner en contacto en un medio aerobio, normalmente en una balsaaireada, el agua residual con flóculos biológicos previamente formados, en los que seadsorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Juntocon el proceso de degradación, y para separar los flóculos del agua, se ha de llevar acabo una sedimentación, donde se realiza una recirculación de parte de los fangos, paramantener una elevada concentración de microorganismos en el interior de reactor, además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismos. Un esquemasimplificado se muestra en la siguiente figura.

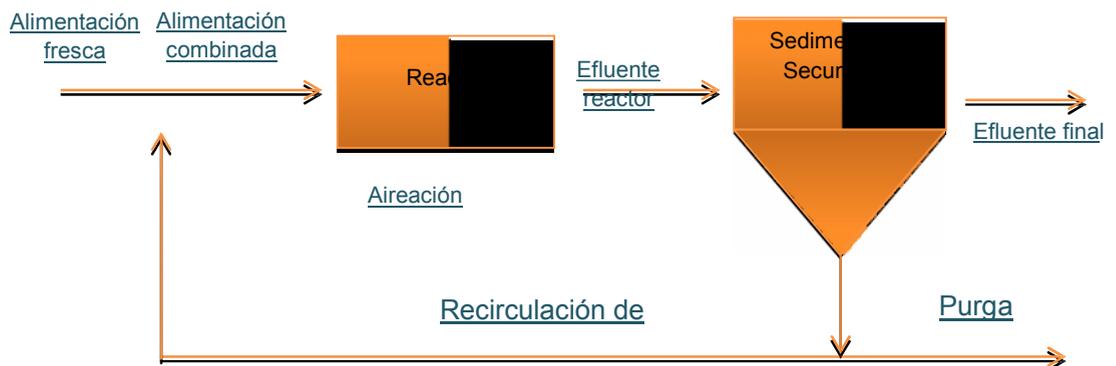


FIGURA #5: Proceso de fangos activados.

Dentro de los parámetros básicos de funcionamiento, un parámetro muy importante es el de la aireación. La solubilidad del oxígeno en el agua es pequeña (en torno a 8-9 mgO₂/L dependiendo de presión y temperatura) por lo que será necesario asegurar el suministro a los microorganismos, utilizando aireadores superficiales, capaces de suministrar 1 kgO₂/kw·h, o bien difusores. El valor mínimo de operación aconsejable de concentración de oxígeno disuelto es de 2 mg/L. El consumo eléctrico en esta operación será importante dentro de los costes de operación del proceso.

Otro parámetro clave en el proceso se refiere al parámetro A/M, algunas veces denominada I, intensidad de carga. Se refiere a la relación entre la carga

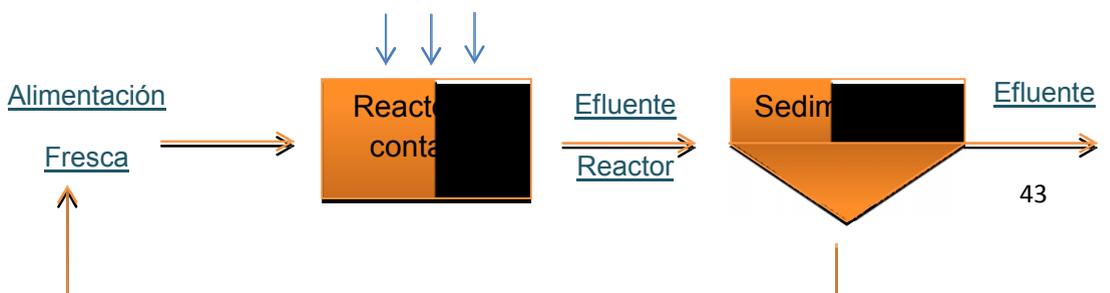
orgánica alimentada y la cantidad de microorganismos disponibles en el sistema, con unidades $\text{kg DBO}_5(\text{DQO}) / \text{kg SSV} \cdot \text{día}$. Es un parámetro de diseño fundamental, teniendo un valor óptimo entre 0.3-0.6 para las condiciones más convencionales de funcionamiento.

Además tiene una influencia determinante en la buena sedimentación posterior. La denominada “edad celular” también es un parámetro importante. Se refiere al tiempo medio que permanecen los fangos (flóculos, microorganismos) en el interior del sistema. Esta magnitud suele tener un valor de 5-8 días en condiciones convencionales de operación.

✓ **Fangos activados: Modificaciones del proceso básico**

Son procesos de fangos activados, pero se diferencian en la forma de operar.

- ❖ **Aireación prolongada.** Se suele trabajar con relaciones A/M más pequeñas (mayores tiempos de residencia), consiguiendo mayores rendimientos en la degradación de materia orgánica. Otra ventaja añadida es la pequeña generación de fangos de depuradora. Es interesante su utilización, además, cuando se pretendan eliminar compuestos con nitrógeno simultáneamente con la materia orgánica.
- ❖ **Contacto estabilización:** En el reactor de aireación se suele trabajar con menores tiempos de residencia (sobre una hora) pretendiendo que se lleve a cabo solo la adsorción de la materia orgánica en los flóculos. La verdadera degradación se realiza en una balsa de aireación insertada en la corriente de recirculación de fangos, tal y como muestra la siguiente figura, y donde la concentración de fangos es mucho más elevada que en el primer reactor. Es interesante esta opción cuando buena parte de la materia orgánica a degradar se encuentra como materia en suspensión.



React

FIGURA #6: Proceso biológico de contacto-estabilización.

- ❖ **Reactores discontinuos secuenciales (SBR):** Todas las operaciones (aireación y sedimentación) se llevan a cabo en el mismo equipo, incluyendo una etapa de llenado y terminando con la evacuación del agua tratada. Es una opción muy válida para situaciones en las que se dispone de poco espacio, como ocurre en muchas industrias. Son versátiles en cuanto a las condiciones de operación y habitualmente se utilizan columnas de burbujeo como reactores.

<u>Cuadro#3: Parámetros de operación típicos en procesos de fangos activados.</u>			
	<u>Convencional</u>	<u>Aireación prolongada</u>	<u>Contacto estabilización</u>
A/M (kgDBO5/kgXV·d)	0.2-0.4	0.05-0.15	0.2-0.6
TRH (h)	4-8	18-36	3-6
TRS (d)	5-15	20-30	5-15
MLTSS (ppm)	1500-3000	1500-5000	4000-9000
Carga orgánica (kgDBO5/m3d)	0.3-0.6	0.1-0.4	1.0-1.2
r (%)	25-50	5-15	5-15

- ✓ **Procesos aerobios con biomasa soportada**

Otra de las formas para conseguir concentraciones suficientes de microorganismos, sin necesidad de recirculación, es favoreciendo su crecimiento en la superficie de sólidos. Se evitan de esta forma los posibles problemas en la sedimentación y recirculación de fangos, frecuente en los procesos clásicos de fangos activados. Sin embargo el aporte de oxígeno será de nuevo un factor importante, consiguiéndose en este caso bien en la distribución del líquido, bien por movimiento del sistema.

- ❖ **Filtros percoladores:** También denominados filtros biológicos o lechos bacterianos. Son los sistemas aerobios de biomasa inmovilizada más extendidos en la industria. Suelen ser lechos fijos de gran diámetro, rellenos con rocas o piezas de plástico o cerámica con formas especiales para desarrollar una gran superficie. Sobre la superficie crece una fina capa de biomasa, sobre la que se dispersa el agua residual a tratar, que moja en su descenso la superficie. Al mismo tiempo, ha de quedar espacio suficiente para que circule aire, que asciende de forma natural. El crecimiento de la biomasa provoca que parte de los microorganismos se desprendan de la superficie, y por lo tanto, seguirá siendo necesaria una sedimentación posterior para su separación del efluente. En general también se realiza una recirculación de parte del efluente limpio, una vez producida la separación.

Un esquema sencillo se muestra en la siguiente figura. En estos sistemas, la velocidad de carga orgánica es el parámetro más importante, teniendo rangos de aplicación en la industria desde 30 a 10.000 kg DBO₅/día y 100 m³ de reactor, siendo los tamaños muy variables (desde 2 hasta 10 m de altura).

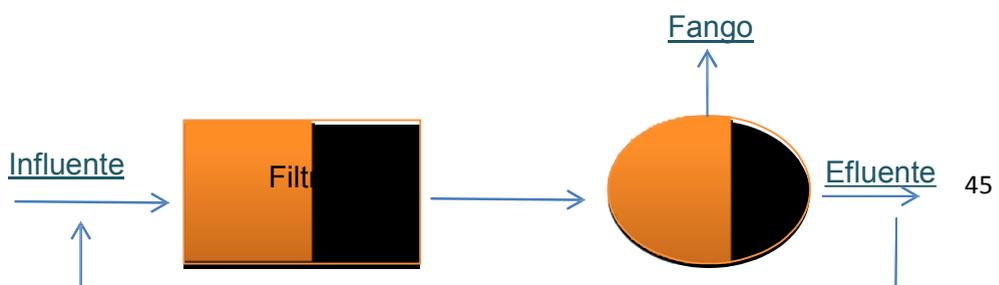


FIGURA #7: Diagrama de operación típico de un filtro percolador.

Contactores Biológicos Rotatorios (RBC): Biodiscos: Consisten en una serie de placas o discos, soportados en un eje y parcialmente sumergidos (40%) en una balsa que contiene el agua residual. El eje junto con los discos, gira lentamente. Sobre la superficie de los discos crece la bio-película, que sucesivamente, se “moja” y entra en contacto con el aire, produciéndose la degradación de la materia orgánica. Son fáciles de manejar y convenientes cuando se trata de pequeños caudales. Normalmente el tamaño es de entre 1 y 3 m de diámetro, están separados unos (10-20) cm y con velocidades de giro de 0.5-3 rpm.

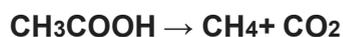
Procesos biológicos anaerobios

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando éstas tienen una alta carga orgánica, se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno. El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogas”, formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (40-20%) y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica.

Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada (5-10%) se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al 50-70% de un proceso aerobio. Sin embargo, la lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos. Realmente, es un complejo proceso en el que intervienen varios grupos de bacterias, tanto anaerobias estrictas

como facultativas, en el que, a través de una serie de etapas y en ausencia de oxígeno, se desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono. Cada etapa del proceso, que se describen a continuación, la llevan a cabo grupos distintos de bacterias, que han de estar en perfecto equilibrio.

- ❖ **Hidrólisis:** La hidrólisis es la ruptura de moléculas grandes, solubles e insolubles, en moléculas de menor tamaño que pueden ser transportadas dentro de las células y metabolizadas. En este proceso no se produce metano, y en la mayor parte de los casos supone una etapa que se desarrolla lentamente.
- ❖ **Formación de ácidos (acidogénesis) y acetato (acetogénesis):** Los productos finales de la hidrólisis son transformados en ácidos orgánicos de cadena corta, otros compuestos de bajo peso molecular, hidrógeno y dióxido de carbono. Estas bacterias son altamente resistentes a variaciones en las condiciones ambientales. Por ejemplo, aunque el pH óptimo para el desarrollo de su actividad metabólica es 5-6, los procesos anaerobios generalmente son conducidos a pH 7, y aún en estas condiciones su actividad metabólica no decae.
- ❖ **Metanogénesis:** La formación de metano, siendo este el último producto de la digestión anaerobia, ocurre por dos grandes rutas: La primera de ellas, es la formación de metano y dióxido de carbono a partir del principal producto de la fermentación, el ácido acético. Las bacterias que consumen el ácido acético se denominan bacterias acetoclastas. La reacción, planteada de forma general, es la siguiente:



Algunas bacterias metano génicas son también capaces de usar el hidrógeno para reducir el dióxido de carbono a metano (metano génicas hidrogenoclastas) según la reacción: $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$

La metanogénesis es la etapa crítica en el proceso de degradación, por las características de las bacterias que la llevan a cabo, y por ser la más lenta de todo el proceso. En buena medida, la digestión anaerobia se ha de llevar a cabo en las condiciones óptimas para el buen funcionamiento de estas bacterias metanogénicas. Actualmente está ampliamente aceptada que la degradación de la materia orgánica sigue una distribución como la detallada, y que se muestra resumida en la figura siguiente.

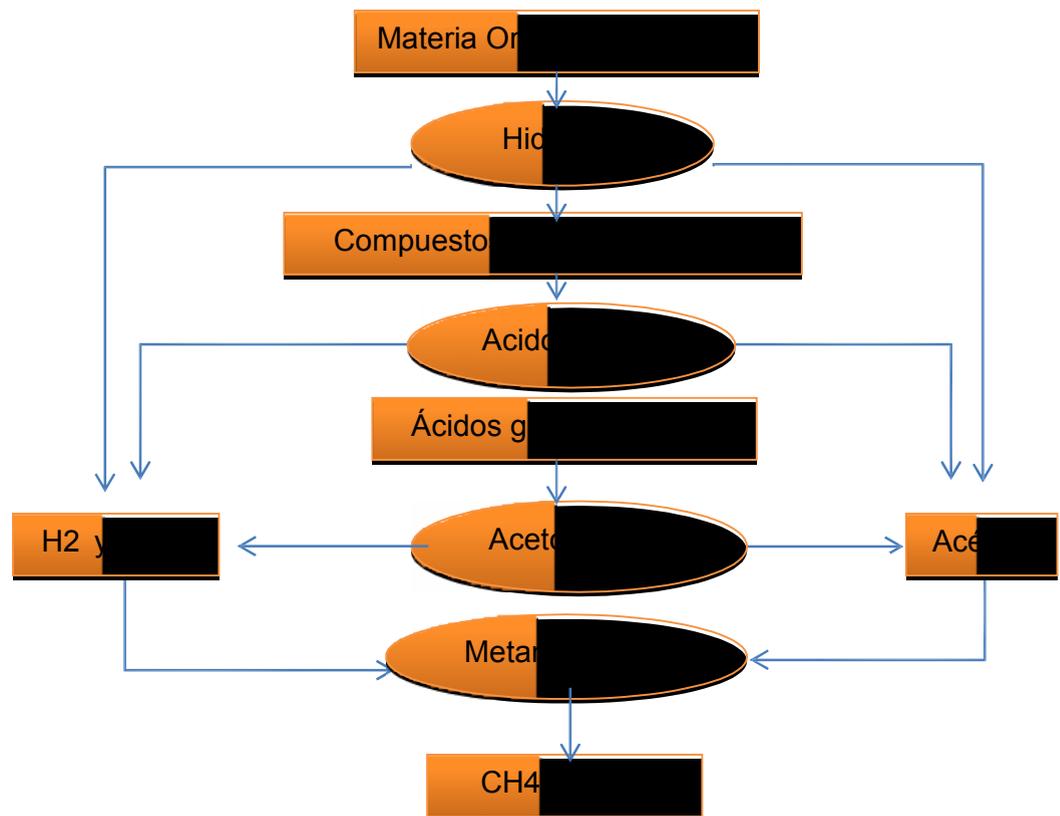


FIGURA #8: Esquema de la ruta de degradación anaerobia.

Entre las ventajas más significativas del tratamiento anaerobio frente al aerobio cabe destacar la alta eficacia de los sistemas, incluso en aguas residuales de alta carga, el bajo consumo de energía, pequeña producción de fangos y por tanto, pequeño requerimiento de nutrientes, así como su eficacia ante alteraciones importantes de carga y posibilidad de grandes periodos de parada sin alteración importante en la población bacteriana. Sin embargo, como

desventajas caben destacar la baja efectividad en la eliminación de nutrientes y patógenos, generación de malos olores y la necesidad de un post-tratamiento, generalmente aerobio, para alcanzar los niveles de depuración demandados, así como los generalmente largos periodos de puesta en marcha.

Metabolismo y bioquímica de la digestión anaerobia:

Fundamentos

La remoción de materia orgánica constituye uno de los objetivos del tratamiento de las aguas residuales, utilizándose en la mayoría de los casos procesos biológicos. El mecanismo más importante para la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual, es el metabolismo bacteriano. El metabolismo consiste en la utilización por parte de las bacterias, de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa. Cuando la materia orgánica es metabolizada, parte de ella es transformada químicamente a productos finales, en un proceso que es acompañado por la liberación de energía llamado "Catabolismo". Otro proceso denominado "Anabolismo ó Síntesis" ocurre simultáneamente, donde parte de la materia orgánica se transforma en nuevo material celular.



Figura #9: Representación Esquemática del Metabolismo Bacteriano

El anabolismo es un proceso que consume energía y solamente es viable si el catabolismo está ocurriendo para proporcionarle la energía necesaria para la síntesis celular. Por otro lado, el catabolismo solo es posible si existe la presencia de una población bacteriana viva.

El catabolismo se divide en dos procesos fundamentalmente diferentes:

- ❖ Catabolismo Oxidativo y
- ❖ Catabolismo Fermentativo.

El catabolismo oxidativo es una reacción redox, donde la materia orgánica es el reductor que es oxidada por un oxidante. En la práctica ese oxidante puede ser el oxígeno, nitrato o sulfato.

El catabolismo fermentativo se caracteriza por el hecho de no haber presencia de un oxidante: el proceso resulta en un reordenamiento de los electrones de la molécula fermentada de un modo tal que se forman como mínimo dos productos. Generalmente son necesarias varias fermentaciones secuenciales para que se formen productos estabilizados.

Digestión anaerobia

La Digestión Anaerobia es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO₂, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas.

También es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica en cuatro fases o procesos:

- ✓ Hidrólisis
- ✓ Etapa fermentativa o acidogénica
- ✓ Etapa acetogénica
- ✓ Etapa metanogénica

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, hidratos de carbono y lípidos) que son hidrolizados por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o

fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos que son fermentados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de acético, H₂ y CO₂.

✓ **Hidrólisis**

La hidrólisis de la materia orgánica polimérica a compuestos solubles o monómeros es el paso inicial para la degradación anaerobia de sustratos orgánicos complejos, ya que los microorganismos únicamente pueden utilizar materia orgánica soluble que pueda atravesar su pared celular. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaerobia. Como ya se ha comentado, la hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por los microorganismos hidrolíticos.

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo se tratan residuos con alto contenido en sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición del sustrato, del tamaño de partículas, del pH, de la concentración de NH₄ y de la concentración de los productos de la hidrólisis.

✓ **Etapa fermentativa o acidogénica**

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas y compuestos orgánicos más reducidos que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso.

La fermentación de azúcares se realiza por diversos tipos de microorganismos. En función de cada organismo, la ruta metabólica y los productos finales son diferentes. Los principales microorganismos asociados a

la degradación de la glucosa son del género Clostridium y convierten la glucosa en butírico, acético, CO₂ y H₂.

Los principales productos de la fermentación de aminoácidos y de otras moléculas hidrogenadas son ácidos grasos de cadena corta, succínicos, aminovalérico e H₂. La fermentación de aminoácidos se considera un proceso rápido y que, en general, no limita la velocidad de degradación de compuestos proteicos.

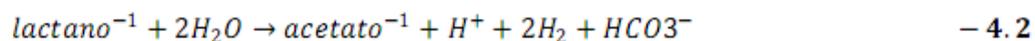
Las bacterias proteolíticas que mayoritariamente se han identificado, pertenecen al género Clostridium, aunque otras especies tales como Peptococcus y Bacteroides también están presentes. Los productos finales de la oxidación son NH₃, CO₂ y un ácido carboxílico con un átomo de carbono menos que el aminoácido oxidado.

✓ **Etapa acetogénica**

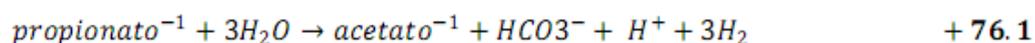
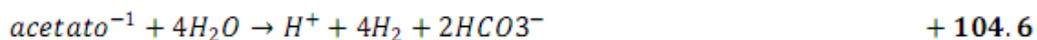
Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos matenogénicos, otros deben ser transformados en productos más sencillos, acetato y H₂, a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son Syntrophomonaswolfei y Syntrophobacterwolini. Desde el punto de vista termodinámico, estas reacciones no son posibles porque en condiciones estándar (pH=7, T=25°C, P=1atm), presentan energías libres de reacción positivas, tal como se muestra en la siguiente figura.

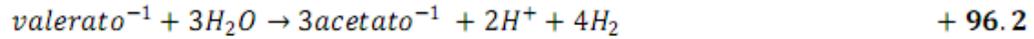
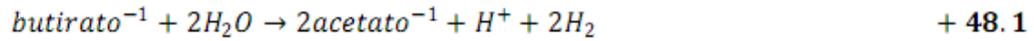
Reacciones acetogénicas

Etanol y láctico (KJ)

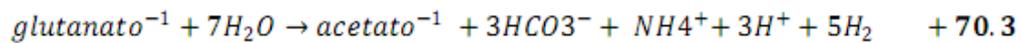
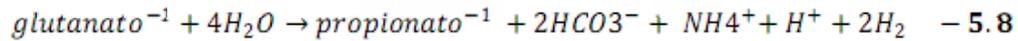
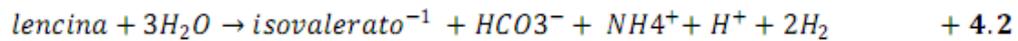
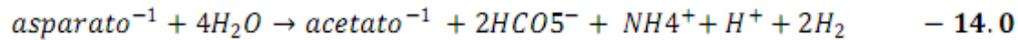
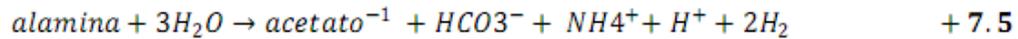


Ácidos Grasos





Aminoácidos

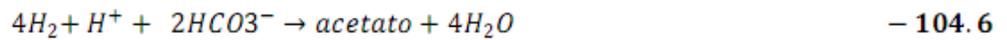


Sin embargo, a presiones parciales de H₂ bajas estas reacciones pasan a ser termodinámicas favorables y la variación de energía libre es suficiente para permitir la síntesis de ATP y el crecimiento bacteriano. Por tanto, el principal inhibidor de la acetogénesis, cuya acumulación provoca la rápida acumulación de sustratos, es la acumulación de hidrógeno molecular. Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados, produciendo como único producto acetato.

✓ **Etapa metanogénica**

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaerobia mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace: acetato, H₂/CO₂, formato, metanol y algunas metilaminas. Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen H₂/CO₂ y fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas. Las principales reacciones metanogénicas se recogen en la siguiente figura.

Reacciones hidrogenotróficas



an:



org



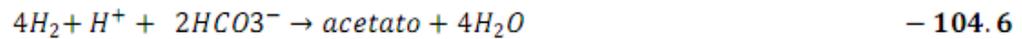
ele

tie



Reacciones hidrogenotróficas

ΔG° (KJ)



✓ **Interconversión formato – hidrógeno**

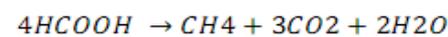


✓ **Metanogénesis acetoclástica**

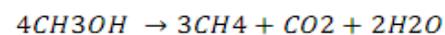


✓ **Metanogénesis a partir de otros sustratos**

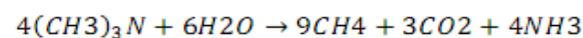
❖ **Fórmico**



❖ **Metanol**



❖ **Trimetil-amina**



✓ Condiciones de operación

Tanto las variables físicas como las químicas influyen en el hábitat de los microorganismos. En los procesos anaerobios es importante tener en cuenta la influencia de factores medioambientales. Las bacterias formadoras de metano son las más sensibles a estos factores por lo que un funcionamiento inadecuado de las mismas puede causar una acumulación de productos intermedios (ácidos) y desestabilizar por completo el sistema.

Entre las variables más importantes se encuentran la temperatura, el pH y la disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, la mezcla es un factor importante en el control del pH y en la uniformidad de las condiciones medioambientales. Una buena mezcla distribuye las propiedades tampón a todo el reactor y evita la concentración de metabolitos intermedios que pueden ser causa de inhibición para las bacterias metanogénicas. Los parámetros de seguimiento y control de un digestor anaerobio pueden situarse en la fase sólida (materiales orgánicos e inorgánicos en suspensión); fase líquida (parámetros físico-químicos y composición) y gaseosa (producción y composición). Estos parámetros pueden tener diferente significado y utilidad según la situación particular del equipo, que puede encontrarse en un período de puesta en marcha, en estado estacionario para sistemas continuos, o en sistemas discontinuos. Entre los parámetros de operación se pueden mencionar velocidad de carga orgánica, toxicidad, velocidad volumétrica de flujo, tiempo de retención hidráulico, concentración de sólidos volátiles en el reactor, producción de fangos, etc.

✓ Reactores utilizados

El desarrollo del tratamiento anaerobio ha sido paralelo al desarrollo del tipo de reactor donde llevar a cabo el proceso. Dado el bajo crecimiento de las

bacterias metanogénicas y lentitud con la que llevan a cabo la formación de metano, es necesario desarrollar diseños los que se consiga una alta concentración de microorganismos (SSV) en su interior si se quiere evitar el utilizar reactores de gran tamaño. Para conseguirlo, habitualmente es necesario que el tiempo de retención hidráulico (TRH) sea inferior al tiempo de retención de sólidos (TRS) y esto se puede hacer por distintos medios. A todos estos reactores se les denomina de alta carga, dado que son los únicos que pueden tratar aguas con elevada carga orgánica de una forma viable. Dando un repaso a los más utilizados, podemos hablar de:

- ❖ **Reactor de contacto (mezcla completa con recirculación de biomasa):** Se trata del equivalente al proceso de fangos activados aerobio. Consiste un tanque cerrado con un agitador donde tiene una entrada para el agua residual a tratar y dos salidas, una para el biogás generado y otra para la salida del efluente. Este efluente se lleva a un decantador donde es recirculada la biomasa de la parte inferior del decantador al reactor, para evitar la pérdida de la misma. Los principales problemas que presentan radican en la necesidad de recircular los lodos del decantador y de una buena sedimentación de los mismos. La figura siguiente representa esquemáticamente las características de un reactor de este tipo.

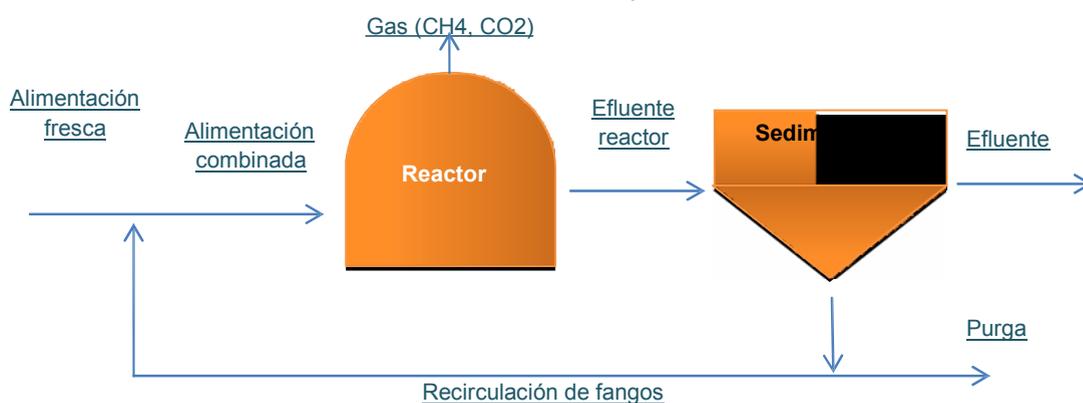


Figura #10: Reactor de contacto

- ❖ **Reactor de manto de lodos y flujo ascendente (UASB, Upflow Anaerobic Sludge Blanket):** Estos reactores solucionan el problema de recirculación de lodos al aumentar la concentración de

biomasa en el reactor manteniéndola en su interior. Estos reactores fueron desarrollados en Holanda, por el Prof. Lettinga en la década de los 80. Se trata de un reactor cuyo lecho está formado por gránulos de biomasa.

Estos gránulos son porosos y con una densidad poco mayor que la del líquido, con lo que se consigue un buen contacto de éste con la biomasa. Los reactores suelen tener en su parte superior un sistema de separación gas-sólido-líquido, puesto que se acumula biogás alrededor de las partículas, éstas manifiestan una tendencia a ascender separándose con estos dispositivos. Se consigue una alta concentración de biomasa dentro del reactor que conlleva una elevada velocidad de eliminación de materia orgánica con rendimientos elevados de depuración. El agua residual se introduce por la parte inferior, homogéneamente repartida y ascendiendo lentamente a través del manto de lodos (gránulos). Los principales problemas que tiene este tipo de reactor son: puesta en marcha, ya que se ha de conseguir que se desarrollen gránulos lo más estables posibles, la incidencia negativa que tiene el que el agua residual a tratar contenga una gran cantidad de sólidos en suspensión y la deficiente mezcla en la fase líquida que se logra. Este último problema se soluciona de una forma eficaz recirculando parte del gas producido e inyectándolo en la parte inferior del equipo, consiguiendo una expansión del manto de lodos, y por lo tanto, una buena mezcla.

A estos reactores se les denomina EGSB (Expanded granular sludgeblanket). Habitualmente la relación altura/diámetro es mayor que para los convencionales UASB siendo capaces de alcanzar mayores cargas orgánicas ($10-25 \text{ kgDQO/m}^3\cdot\text{día}$). También recientemente se ha desarrollado un sistema semejante denominado Internal Circulation (IC). Estos tipos de reactores han conseguido una muy alta implantación en el mercado, mostrándose como los más fiables para todo tipo de aguas residuales de alta carga, especialmente las que tienen un bajo contenido de sólidos en suspensión.

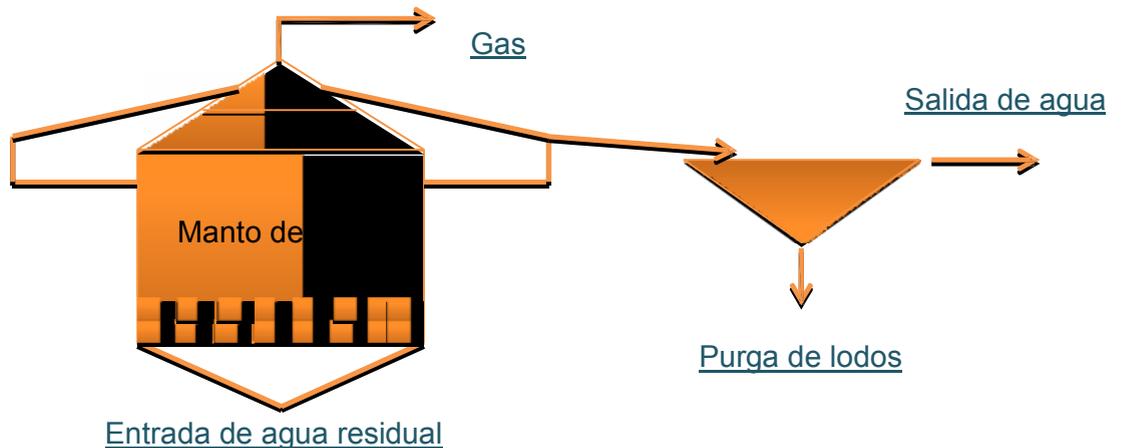


FIGURA #11: Reactor UASB

- ❖ **Filtro anaerobio (FA):** En este caso, los microorganismos anaerobios se desarrollan sobre la superficie de un sólido formando una bio-película de espesor variable. El sólido permanece inmóvil en el interior del equipo, habitualmente una columna, constituyendo un lecho fijo. El agua residual se hace circular a través del lecho, bien con flujo ascendente o bien descendente, donde entra en contacto con la bio-película. Son sistemas tradicionalmente utilizados en muchas depuradoras de aguas residuales industriales con alta carga orgánica. Resisten muy bien alteraciones de carga en el influente pero no aceptan gran cantidad de sólidos en suspensión con el influente. El rango típico de cargas tratadas desde 5-15 Kg DQO/m³·día.
- ❖ **Reactor anaerobio de lecho fluidizado (RALF):** Son columnas en cuyo interior se introducen partículas de un sólido poroso (arena, piedra pómez, biolita, etc.) y de un tamaño variable (1-5mm) con el objetivo de que sobre su superficie se desarrolle una bio-película bacteriana que lleve a cabo la degradación anaerobia. Para que las partículas permanezcan fluidizadas (en suspensión), es necesario realizar una recirculación del líquido, para que la velocidad del mismo en el interior de la columna sea suficiente como para mantener dichas partículas expandidas o fluidizadas. Este tipo de equipos se han comprobado como muy eficaces, al menos en escala

laboratorio o planta piloto. Se consiguen muy altas concentraciones de microorganismos, así como una muy buena mezcla en el lecho. Sin embargo su implantación a nivel industrial no ha alcanzado las expectativas que se crearon.

- ❖ **Otros tipos de reactores:** Más que otros tipos de reactores, nos referimos a distintas formas de operar, de llevar a cabo la degradación anaerobia. Tenemos por una parte los reactores discontinuos secuenciales (SBR, sequencing batch reactors), equipo en el que de forma secuencial se lleva a cabo el llenado, reacción, sedimentación y evacuación del agua depurada, para volver otra vez a iniciar el ciclo, todo ello en un mismo equipo. Como ventaja fundamental tiene el menor requerimiento de espacio, así como una mayor flexibilidad en la forma de operar, por ejemplo en el caso de flujos estacionales, ayudado por la gran capacidad de las bacterias para estas situaciones.

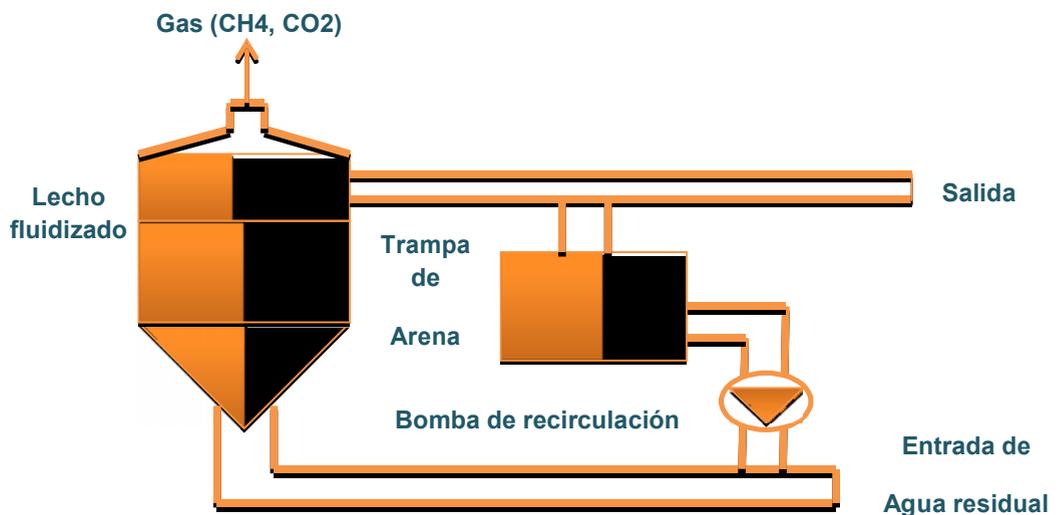


FIGURA #12: Reactor anaerobio de lecho fluidizado.

Por otro lado, especialmente para el caso en el que la materia orgánica a degradar sea compleja, y en el que la etapa de hidrólisis sea importante, se suele llevar a cabo la degradación en dos etapas, en dos reactores en serie. En el primero se ponen las condiciones necesarias para que se realice la hidrólisis y acidificación de forma óptima (por ejemplo a pH=6), sin formación de metano. El efluente de este reactor, constituido fundamentalmente por ácidos de cadena

corta, pasa al reactor metanogénico, donde las bacterias metanogénicas, mayoritarias, llevarán a cabo la metanización final del residuo.

Estos equipos se han puesto en práctica desde hace tiempo, con éxito, incluso para la metanización de la fracción orgánica de los RSU, amenudo mezclados con lodos de depuradoras. Finalmente, en la siguiente tabla se muestran características y datos técnicos correspondientes a las distintas configuraciones de reactores anaerobios.

<u>Cuadro#4: Condiciones de operación para distintos reactores anaerobios.</u>				
Reactor	DQO de entrada(mg/L)	Tiempo de retención hidráulico (h)	Carga orgánica (kg DQO/m³día)	Eliminación de DQO (%)
De contacto	1.500-5.000	2-10	0,5-2,5	75-90
EGSB	5.000-15.000	4-12	15,0-25,0	75-85
FA	10.000-20.000	24-48	5,0-55,0	75-85
RALF	5.000-10.000	5-10	5,0-10,0	80-85

El tratamiento anaerobio, por tanto, constituye una forma eficaz de tratar aguas y residuos de alta carga orgánica, siendo una tecnología madura y contribuyendo no solo a la eliminación de la materia orgánica, sino a su aprovechamiento energético derivado de la utilización del metano producido.

Dependiendo del tipo de agua residual y de otros factores relacionados con cada aplicación particular, una tecnología anaerobia puede ser más apropiada y eficaz que otra.

Sistemas Anóxicos o Procesos biológicos de eliminación de nutrientes

Otra de las aplicaciones de los tratamientos biológicos es la eliminación de nutrientes, es decir, de compuestos que contienen tanto nitrógeno como fósforo.

✓ Tratamiento biológico de compuestos con nitrógeno

Los compuestos con nitrógeno sufren una serie de transformaciones como consecuencia de la acción de distintos organismos, como se muestra en la siguiente figura. En primer lugar, una serie de bacterias autótrofas (Nitrosomonas y Nitrobacter) son capaces de llevar a cabo una nitrificación, con demanda de oxígeno.

A continuación, otra serie de bacterias desnitrificantes llevan a cabo la eliminación de NO_3^- , en un sistema anóxico, donde el propio nitrato actúa de aceptor de electrones, siendo en este caso bacterias heterótrofas, es decir su fuente de carbono es materia orgánica. Este proceso en su conjunto es conocido como nitrificación - desnitrificación.

De esta forma y en dos reactores consecutivos se puede llevar a cabo la eliminación de compuestos con nitrógeno: primero en un reactor aerobio seguido de otro con condiciones anóxicas, pero en el que será necesario adicionar fuente de carbono para el desarrollo de las bacterias desnitrificantes. El sistema en su conjunto suele ser semejante al proceso de fangos activados, pero utilizando los reactores en las condiciones comentadas.

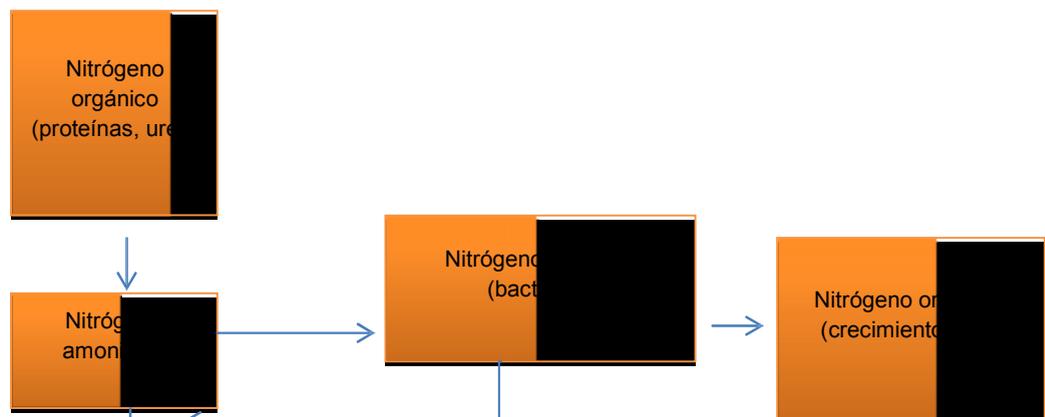


FIGURA #13: Tratamiento biológico de compuestos con nitrógeno

Sin embargo, es muy común la presencia de materia orgánica con materia nitrogenada en aguas residuales, no solo en aguas residuales urbanas, y la tendencia es la eliminación conjunta de ambos contaminantes. En este caso no se puede seguir la secuencia mencionada: En el primer reactor de nitrificación la materia orgánica inactivaría las bacterias nitrificantes, y en el segundo se necesitaría materia orgánica. Para evitar estos problemas, es necesario iniciar el proceso con un reactor anóxico, donde la materia orgánica del agua residual actúa como fuente de carbono, pero sería necesario recircular parte del efluente del segundo reactor de nitrificación: en este reactor se producirán nitratos, y sería un reactor aerobio. Un esquema simplificado se muestra en la figura siguiente

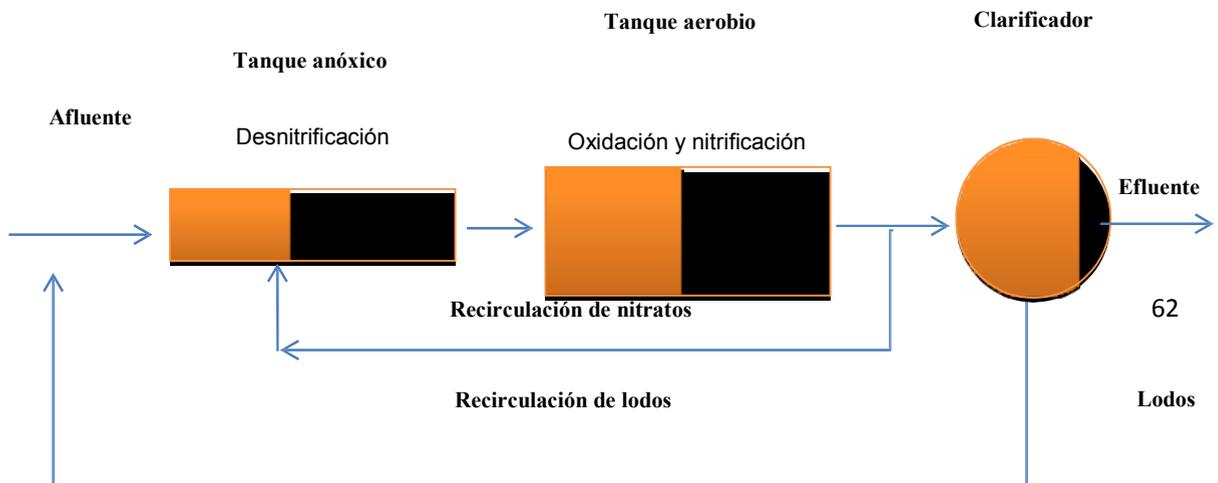


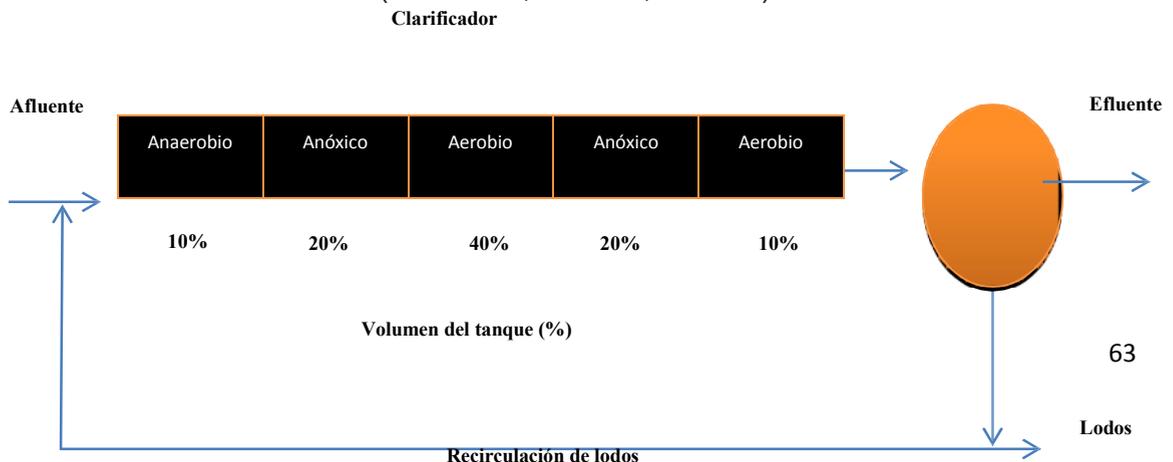
Figura #14: Proceso biológico de nitrificación-desnitrificación

El proceso es semejante al de fangos activados, pero para que se alcance la nitrificación y desnitrificación es necesario trabajar con relaciones A/M por debajo de 0.15 días^{-1} , como ocurre en procesos de aireación prolongada.

✓ Eliminación Biológica del Fósforo

Aunque la eliminación del fósforo (en forma de fosfato) ha sido tradicionalmente por precipitación con Ca^{2+} , se han desarrollado métodos para su eliminación biológica, más allá de lo que supone la simple asimilación por parte de los organismos para integrarlo en su crecimiento celular. Todavía no está perfectamente descrita la acción de los microorganismos, entre los que son especialmente activos los Acinetobacter.

Los métodos están basados en someter inicialmente a la masa bacteriana a un ambiente anaerobio, donde los microorganismos parece que tienen tendencia a no consumir fósforo para el crecimiento debido a la presencia de ácido acético. Sin embargo, si posteriormente son sometidos a un sistema aerobio, consumen con "avidez" fósforo, momento en el que se sedimentan y separan. Son muchos los procesos que se han desarrollado, tanto para la eliminación conjunta de P y materia orgánica (procesos PhoStrip, Bardenpho, etc), como para también la materia nitrogenada (A2O, Bardenpho modificado). En todos ellos el reactor suele ser una balsa alargada, compartimentada de forma que en cada zona se somete a la masa microbiana al ambiente adecuado (anaerobio, anóxico, aerobio).



2.2. Planta de tratamiento de Aguas Residuales

Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es, como su propio nombre lo indica, una planta dedicada a la depuración de aguas residuales, cuya función básica es conseguir a partir de aguas que ya han tenido algún uso en particular, mediante diferentes tratamientos físicos, químicos y biológicos, un agua efluente de mejores características de calidad y cantidad, tomando como base ciertos parámetros normalizados. En resumen, el objetivo es reducir la contaminación de las aguas antes de ser vertidas, para que no causen impactos medio ambientales y alteren así el estado normal de la naturaleza.

2.2.1 Tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales

Dependiendo del tipo de tratamiento que usen, las PTAR pueden ser de dos tipos las cuales se detallan a continuación:

- **Físico – químicas:** La depuración se produce mediante un tratamiento en el que se le añaden al agua reactivos químicos para favorecer la decantación de sólidos en suspensión presentes en el agua. En este tipo de PTAR, el agua llega a la planta y es almacenada en un colector. Luego pasa por un pre-tratamiento donde se eliminan los sólidos grandes, arenas y grasas. A continuación pasa a la siguiente etapa donde se le añaden productos químicos al agua para que la materia en suspensión más pequeña coagule y forme flóculos de mayor tamaño. A este proceso se le llama Coagulación-floculación. El agua sale de la etapa coagulación-floculación y pasa a la siguiente etapa donde se produce la decantación de los flóculos de materia orgánica e inorgánica que se depositan en el fondo del decantador, vertiendo el agua depurada de nuevo al río.
- **Biológicas:** La depuración tiene lugar mediante procesos biológicos. Estos procesos se realizan con la intervención de microorganismos que actúan sobre la materia orgánica e inorgánica, en suspensión presente

en el agua, transformándola en sólidos sedimentables más fáciles de separar. El agua pasa a un recinto donde se decantan los materiales. Este proceso es opcional dependiendo del grado de contaminación que trae el agua a la PTAR biológica. El agua llega del pre-tratamiento o de la decantación a un recinto donde la materia orgánica que contienen las aguas residuales es digerida por microorganismos contenidos en el agua de manera natural. Para que se eleve el número de microorganismos y puedan llevar a cabo su actividad metabólica, se incorpora aire u oxígeno puro. Luego el agua pasa a una estación donde se produce la separación del agua depurada y de los fangos biológicos. Las PTAR tienen dos líneas de funcionamiento: la línea de aguas y la línea de fangos.

- **Línea de aguas:** Corresponde a la parte del proceso de depuración que se centra únicamente en el tratamiento de las aguas residuales.

- **Línea de fangos:** En la línea de aguas se generan gran cantidad de desechos llamados fangos. La línea de fangos se encarga de tratar los fangos reduciéndolos lo máximo posibles y haciéndolos menos contaminantes.

Adicionalmente a estos dos tipos de PTAR existen otros tipos más, pero se basan en los dos principios anteriormente mencionados que son las físico-químicas y las biológicas. En algunos casos se presenta una combinación de ambas, siendo estas PTAR muy costosas y difíciles de mantener.

2.2.2 Selección del tipo de planta de tratamiento de aguas residuales con ayuda de una matriz de decisión

Para seleccionar el tipo de planta de tratamiento de aguas residuales tomaremos en cuenta los parámetros que más nos interesan que cumpla nuestra planta. Cada uno de estos parámetros tendrá una ponderación, y el total de la suma de las ponderaciones de cada parámetro deberá dar un resultado de 100 puntos.

- ❖ El primer parámetro a analizar es el **costo de instalación**. Se le ha dado una ponderación de 15 puntos. Una PTAR físico-química tiene un costo de instalación relativamente bajo debido a los pocos procesos físicos que involucra y a la simplicidad de la misma. Una

PTAR biológica cuenta con un número más detallado de procesos específicos que requieren mayor número de detalles en su instalación y por ende la vuelve más costosa.

- ❖ El segundo parámetro a analizar es el **costo operativo**. Se le ha dado una ponderación de 20 puntos. Las PTAR físico-químicas actualmente están siendo sustituidas debido a los grandes gastos que supone el adherir productos al agua y los mejores rendimientos de eliminación que se consigue con los tratamientos biológicos. Los tratamientos físico-químicos son menos naturales y pueden producir problemas de contaminación medioambiental y a la salud. Las PTAR biológicas son sencillas de operar. Hace falta uno o dos operadores dependiendo del tamaño, lo cual representa un ahorro significativo en gastos de personal operativo.
- ❖ El tercer parámetro a analizar es la **facilidad de mantenimiento**. Se le ha dado una ponderación de 15 puntos. Una PTAR biológica en su mayoría cuenta con equipos de fácil mantenimiento como son bombas y tanques reservorios donde se darán lugar los procesos biológicos. Una PTAR físico-química es un poco más compleja al momento de dar un mantenimiento, ya que cuenta con una serie de filtros y purgas que de no ser chequeados constantemente pueden colapsar y provocar problemas dentro de los procesos de la PTAR.
- ❖ El cuarto parámetro a analizar es el **tiempo de depuración**, a lo cual se le ha dado una ponderación de 20 puntos. Debido a que las PTAR físico-químicas cuentan con procesos químicos (como lo es la coagulación y floculación) y procesos físicos (decantación), necesitaran de tiempos variables de acuerdo a los picos de descarga de efluentes durante el día. Las PTAR biológicas tendrán un tiempo de permanencia de efluentes constante y menor que el de la físico-química.
- ❖ El quinto parámetro a analizar es **la cantidad de lodos desechados** y se le ha dado una ponderación de 30 puntos. Las

PTAR físico-químicas cuentan con un decantador en el cual se depositan todos los lodos al final del proceso, teniendo que darse un tratamiento posterior a los mismos antes de poder darles una disposición final. Las PTAR biológicas utilizan parte de los lodos como medio de eliminación de los sólidos disueltos, lo cual es un ahorro importante de dinero ya que no se utilizan agentes floculantes. Se genera entre 30 a 40% menos cantidad de lodos que en una PTAR físico-química.

2.3. Fundamentación Legal

2.3.1. Normas nacionales que deben cumplir los efluentes.

La **Constitución Política de la República del Ecuador** reconoce a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación y declara de interés público la preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país. Dicha constitución establece un sistema nacional de áreas naturales protegidas y de esta manera garantiza un desarrollo sustentable. La **Ley de Aguas** (ver Anexo 3) por su parte dispone que las aguas de ríos, lagos, lagunas, manantiales que nacen y mueren en una misma heredad, nevados, caídas naturales y otras fuentes y las fuentes subterráneas son bienes nacionales de uso público, están fuera del comercio y su dominio es inalienable e imprescriptible.

En el **artículo 21** del **capítulo I** de la conservación se define que el usuario de las mismas, utilizará las aguas con la mayor eficiencia y economía, debiendo contribuir a la conservación y mantenimiento de las obras e instalaciones de que dispone.

En el **artículo 22**, del **capítulo II** de la contaminación se prohíbe toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna. El consejo nacional de recursos hídricos (C.N.R.H.) en colaboración con el ministerio de salud pública y otras entidades, aplicará la política que permita el cumplimiento de esta disposición.

En el **Título IV, artículo 36** de los usos de aguas y prelación se concede el derecho al aprovechamiento de agua según el siguiente orden de preferencia:

- a) Para abastecimiento de poblaciones, para necesidades domésticas y abrevadero de animales;
- b) Para agricultura y ganadería;
- c) Para usos energéticos, industriales y mineros; y,
- d) Para otros usos.

Basándose en la Constitución de la República se expidió la **Ley de gestión ambiental**.

El **reglamento a la ley de gestión ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental**(ver Anexo 4) establece las normas generales aplicables a la prevención y control de la contaminación ambiental y de los impactos ambientales negativos.

También determina las normas técnicas nacionales que fijan los límites permisibles de emisión, descargas y vertidos al ambiente y los criterios de calidad de los recursos agua, aire y suelo a nivel nacional.El marco institucional en materia de prevención y control de la contaminación ambiental consta de los siguientes estamentos:

- Consejo nacional de desarrollo sustentable
- Ministerio del ambiente
- Sistema nacional descentralizado de gestión ambiental

Las normas técnicas de calidad ambiental de emisión y descargas, serán elaboradas mediante el sistema nacional descentralizado de gestión ambiental.

Los criterios para la elaboración de normas de calidad ambiental deberán considerarse los siguientes criterios:

- a) La gravedad y frecuencia del daño y de los efectos adversos observados;
- b) La cantidad de población y fragilidad del ambiente expuesto;
- c) La localización, abundancia, persistencia y origen del contaminante en el ambiente;
- d) La transformación ambiental o alteraciones metabólicas secundarias del contaminante.

Las normas de calidad ambiental señalarán los valores de las concentraciones / niveles permisibles y periodos máximos y mínimos de elementos,

compuestos, sustancias, derivado químico, o biológico, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos.

La **Ley de gestión ambiental** en el Título I ámbito y principios de la gestión ambiental establece los principios y directrices de política ambiental, se determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones.

El Título II del régimen institucional de la gestión ambiental, capítulo I del desarrollo sustentable, **artículo 7**, dice que la gestión ambiental se enmarca en las políticas generales de desarrollo sustentable para la conservación del patrimonio natural y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que establezca el presidente de la república.

En el **Título V** de la información y vigilancia ambiental, **artículo 40**, se dice que toda persona natural o jurídica que, en el curso de sus actividades empresariales o industriales establecieron que las mismas pueden producir o están produciendo daños ambientales a los ecosistemas, está obligada a informar sobre ello al ministerio del ramo o a las instituciones del régimen seccional autónomo. La información se presentará a la brevedad posible y las autoridades competentes deberán adoptar las medidas necesarias para solucionar los problemas detectados.

Existe la **Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua** que se ampara bajo la Ley de gestión ambiental y el reglamento a la Ley de gestión ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental.

Esta norma técnica determina:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

La norma tiene como objetivo la prevención y control de la contaminación ambiental en lo relativo al recurso agua. El objetivo principal de la norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la

integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

El capítulo 4 de la norma de calidad ambiental llamado Desarrollo, en el inciso 4.2 manifiesta los criterios generales para descarga de efluentes y a su vez en el numeral 4.2.1 menciona las normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado, como a los cuerpos de agua, determina que se deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismo, identificando el cuerpo receptor.

Las tablas # 11, 12 y 13 de dicha norma establecen los parámetros de descarga hacia el sistema de alcantarillado y cuerpos de agua. Se hace hincapié en que la utilización de cualquier tipo de agua, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados está prohibida. Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos de descarga en esta norma, deberán ser tratadas mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen: público o privado. Por lo tanto, los sistemas de tratamiento deben ser modulares para evitar la falta absoluta de tratamiento de las aguas residuales en caso de paralización de una de las unidades, por falla o mantenimiento. Los laboratorios que realicen los análisis de determinación del grado de contaminación de los efluentes o cuerpos receptores deberán haber implantado buenas prácticas de laboratorio, seguir métodos normalizados de análisis y estar certificados por alguna norma internacional de laboratorios. Los sistemas de drenaje para las aguas domésticas, industriales y pluviales que se generen en una industria, deberán encontrarse separadas en sus respectivos sistemas o colectores.

En el numeral 4.2.3 denominada Norma de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: agua dulce y agua marina, se dictan todas las normativas, prohibiciones, límites de descarga a un cuerpo de agua. Se prohíbe descargar en:

- Las cabeceras de las fuentes de agua.
- Aguas arriba de la captación de agua potable de empresas o juntas administradoras y

- En todos aquellos cuerpos de agua que el municipio local, ministerio del ambiente, CNRH o consejo provincial declaren total o parcialmente protegidos.

Se prohíbe la descarga de efluentes hacia cuerpos de agua severamente contaminados, es decir aquellos cuerpos de agua que presentan una capacidad de dilución o capacidad de carga nula o cercana a cero.

Toda descarga a un cuerpo de agua dulce deberá cumplir con los valores establecidos en la tabla 12.

Las instalaciones deben verificar que la calidad de su agua de descarga cumple con todos los estándares permitidos. Las plantas que descargan agua directamente en arroyos, ríos o estuarios deberán tener permisos gubernamentales que autoricen la actividad y resultados de pruebas que demuestren que están cumpliendo con las normas. Las muestras deben tomarse durante periodos de procesamiento, en lugar de periodos de inactividad de la planta.

CAPÍTULO 3

Estudio de Tratabilidad del Sistema existente de tratamiento de aguas generadas en una empresa de Alimentos.

3.1. Información general de la Empresa.

La empresa. se constituyó en la ciudad de Guayaquil, Parroquia Tarqui en el año 2003, es una empresa privada, que se dedica a la fabricación de confites como: almohaditas y barquitos rellenos con sabor a vainilla, fresa, chocolate, cereales extruidos como cornflakes natural con azúcar, arroz crocante con sabor natural, vainilla, fresa y chocolate. Sus productos de fabricación se comercializan y se venden a clientes distribuidores mayoristas y minoristas de diferentes ciudades del Ecuador. La planta de DULCENAC S.A. se encuentra en la Provincia del Guayas, cantón Guayaquil, Parroquia Tarqui, Km 7.5 vía a Daule.

Es una empresa privada que se dedica a la fabricación de confites como almohaditas rellenas de sabor a vainilla, fresa, chocolate, barquillos rellenos de sabor fresa, chocolate, cereales extruidos como: cornflakes natural, cornflakes con azúcar, arroz crocante natural, arroz crocante mini natural, arroz crocante vainilla, arroz crocante fresa, arroz crocante chocolate.

En la empresa laboran 24 personas de planta (entre choferes, mecánicos y ayudante), 11 personas pertenecientes al personal administrativo, y 2 guardias, haciendo un total de 37 personas.

3.2. Descripción del sistema antes existente.

El sistema existente consiste de una trampa de grasas inicial donde se retiene las grasas que trae consigo el agua de lavado de los tanques y equipos industriales, esta trampa consiste de tres cámaras, luego el agua pasa a un tanque séptico también de tres cámaras, con las siguientes dimensiones:



Fotografía #1: Vista del Tanque séptico existente en la parte posterior de la empresa

- ❖ Primera cámara: 1.2 metros de largo, 0.7 metros de ancho y 1.3 metros de profundidad ($V=1.092\text{m}^3$).
- ❖ Segunda cámara: 1.8 metros de largo, 0.7 metros de ancho y 1.3 metros de profundidad. ($V=1.638\text{m}^3$).
- ❖ Tercera cámara: 2.1 metros de largo, 0.7 metros de ancho y 1.3 metros de profundidad ($V=1.911\text{m}^3$).

Posteriormente, el agua entra a una caja de registro de $0.7\text{m} * 0.7\text{m}$, la cual lleva el agua hacia tres cajas de registros adicionales en serie para finalmente descargar el efluente en la red pública de alcantarillado.

3.3. Propuesta de nuestro estudio.

El sistema de tratamiento del agua residual industrial que se propone tratará sólo las aguas que se generan en la limpieza de los tanques y equipos donde se producen los confites, así como la que sirve para higienizar la planta. Actualmente, el agua residual procedente de los servicios higiénicos de la empresa, descarga directamente al sistema de recolección interno de aguas servidas y, posteriormente descarga en el alcantarillado público que pasa por el callejón tercero. En cambio, las aguas producto del lavado de los tanques y

equipos de esta misma empresa son descargadas a un tanque séptico ya construido.

La propuesta es implementar un Sistema de Tratamiento encima del tanque séptico existente. De los Estudios efectuados como el de tratabilidad, el correspondiente Test de Jarras y la caracterización y cuantificación del agua residual que entra al tanque séptico existente, se observó que se requiere de un tratamiento físico-químico en base a coagulación y clarificación con un pulimento final de filtración y desinfección final.

En el tratamiento físico-químico se adicionan un coagulante y polímero de tipo aniónico, con esto se reduce en gran medida la cantidad de materia orgánica que ingresa al sistema, luego con la formación de flocs se implementará la clarificación para que estos se asienten en el fondo, el agua clarificada se trasladará a un siguiente conjunto de dos tanques en los cuales se adecuarán filtros de distintos materiales (preferentemente arena y carbón activado), y por último, al final se descargará a un tanque donde tenga lugar la desinfección del agua filtrada, previo a su descarga final en el alcantarillado sanitario público existente. El sistema de tratamiento que se propone se ubicará en la parte posterior de los terrenos de la empresa es decir, donde se encuentra actualmente implementado el sistema trampa de grasas y tanque séptico.

Fotografía#2



3.4 Fórmulas para el cálculo de Balance de masa

Para realizar el análisis de cualquier proceso involucrado en un Sistema de Tratamiento de aguas residuales es conveniente realizar un balance de masas. En cualquier balance de masa se requiere transformar las concentraciones conocidas de los constituyentes del agua residual (sustrato), bien sea DQO, DBO o sólidos suspendidos totales, en carga másica diaria (kg/día), así como

determinar la eficiencia del sistema. La carga másica del sustrato se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_s \frac{\text{kg}}{\text{día}} = \frac{S \text{ g/L} * Q \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{86400 \text{ s}}{\text{día}}}{1000} \quad (\text{Ecuación } \#2)$$

1 kg

Donde:

Cs: representa la carga del sustrato afluente o efluente del proceso.

S: equivale a la concentración del sustrato afluente o efluente al proceso.

Q: representa el caudal medio de operación.

La eficiencia del proceso se calcula como:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \quad \text{Ecuación } \#3$$

Donde:

E: representa la eficiencia del proceso en porcentaje.

S₀: equivale a la concentración del sustrato en el afluente.

S: representa la concentración del sustrato en el efluente.

Balance de Masas										
		entrada		salida				Carga del sustrato del afluente kg/dia	Carga del sustrato del efluente kg/dia	% Eficiencia del proces
descripcion afluente	Caudal litros/s	DBO / carga contaminante (mgO	DQO/ Carga contaminante (mg O2/litro	DBO / carga contaminante (mgO	DQO/ Carga contaminante (mg O2/litr	Total carga contaminante Aflue	Total Carga contaminante eflue	$Cs \text{ (kg/ dia) = } \{S \text{ (mg/l)} * Q \text{ (l/s)} * 86400 / 1'000,000 \}$	$Cs \text{ (kg/ dia) = } \{S \text{ (mg/l)} * Q \text{ (l/s)} * 86400 / 1'000,000 \}$	$E = \{ (So - S) / So \} * 100 \}$
afluente agua limpiezas maquinas	0,0206	6500,00	8620,00	93,00	166,00	15120,00	259,00	26,91	0,461	98,287%

86400 valor para transformar segundos dias (3600 s*24h= 86400)

1'000,000 valor para transformar los mg a Kg , 1 mg =

10^{-6} Kg

3.5. Metodología

Debido a que, lo que se pretende inicialmente es verificar que procesos de tratamiento son necesarios implementar en el nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales generadas en la empresa y este Estudio de Tratabilidad incluye únicamente las siguientes actividades:

- ❖ Medición del caudal de agua residual entrando al tanque séptico existente.
- ❖ Ejecución de una prueba de jarras para evaluar la posibilidad de implementar un tratamiento físico-químico en el agua entrando al tanque séptico existente.
- ❖ Realización de una caracterización del agua residual entrando al tanque séptico existente.

El balance de masas se realizará una vez implementado el Sistema de Tratamiento que se propone. La medición del caudal empezó el día lunes 11 de junio hasta el día viernes 15 de junio. La prueba de jarras fue realizada el día viernes 01 de junio.

Mientras que la caracterización del agua residual fue realizada el día 31 de mayo.

3.6. Resultados

A continuación se muestran los resultados tanto de la medición de caudal, así como de la prueba de jarras y la caracterización del agua residual entrando al sistema antes existente en la empresa.

3.6.1. Medición de caudal

La empresa labora todos los días de lunes a domingo, sin embargo debido a que de lunes a viernes se alcanza la mayor producción en la empresa, se decidió medir los caudales que se generan en esta empresa de lunes a viernes.

Se realizaron las mediciones de caudal en una caja previa a la entrada del flujo al tanque séptico existente que se encuentra al final de la línea actual de

desfogue. A este tanque séptico llegan las aguas producto del lavado de los tanques de producción y de higienización de la planta.

A continuación se muestran las gráficas respectivas de dicha medición:

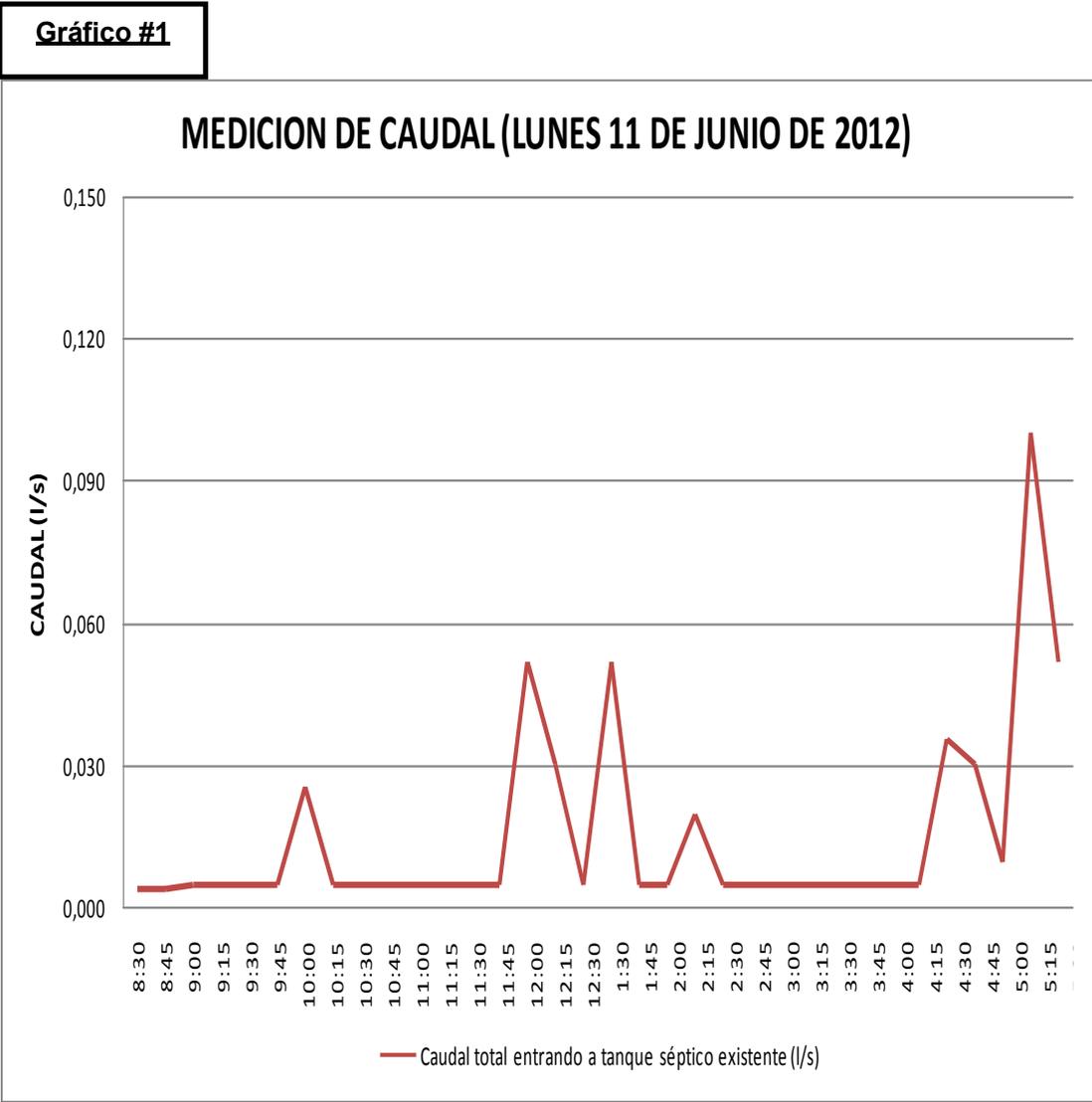


Gráfico #2

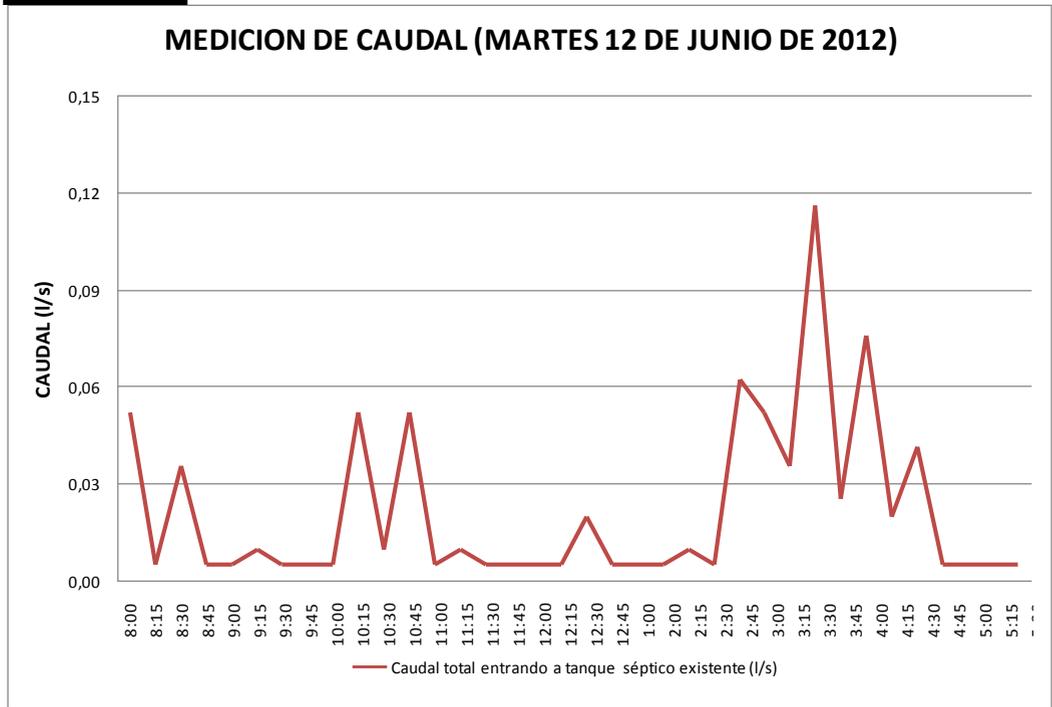


Gráfico #3

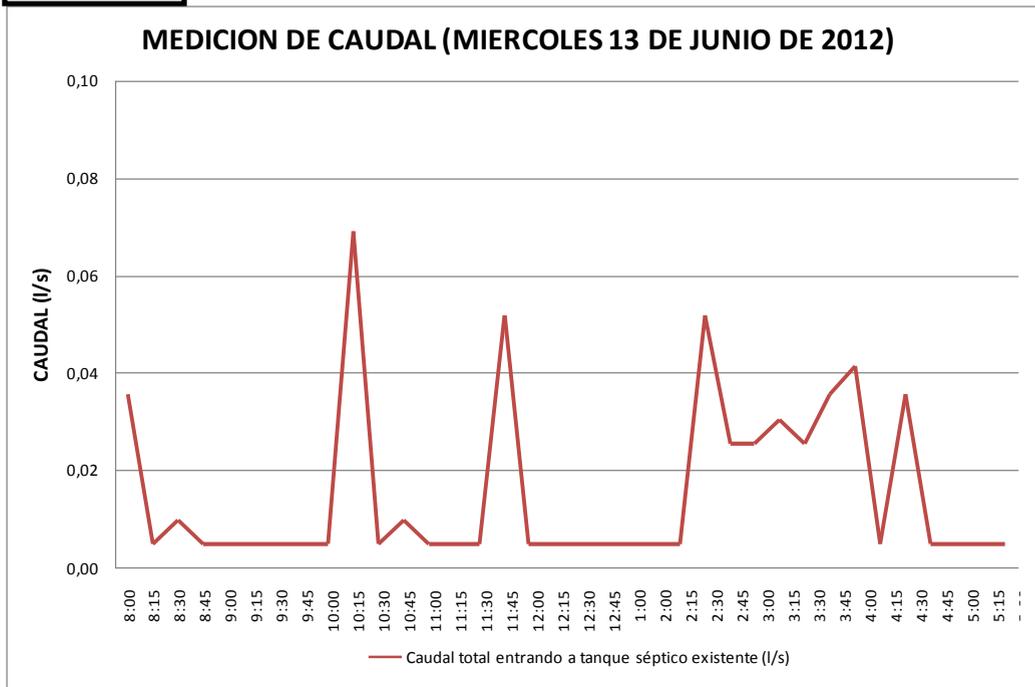


Gráfico #4

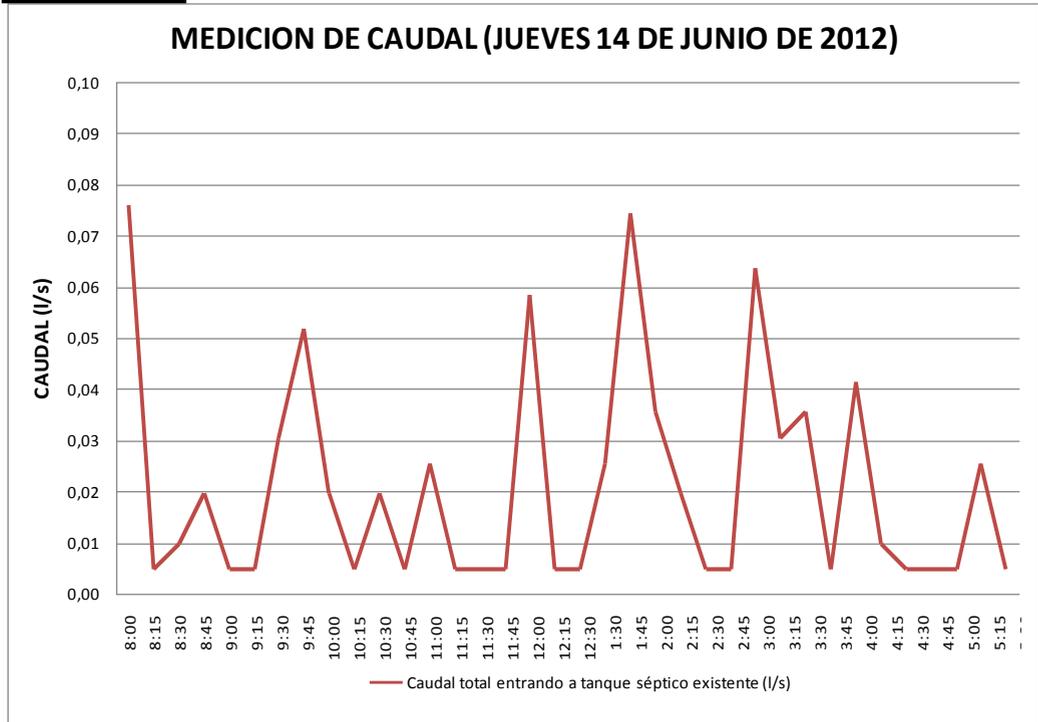
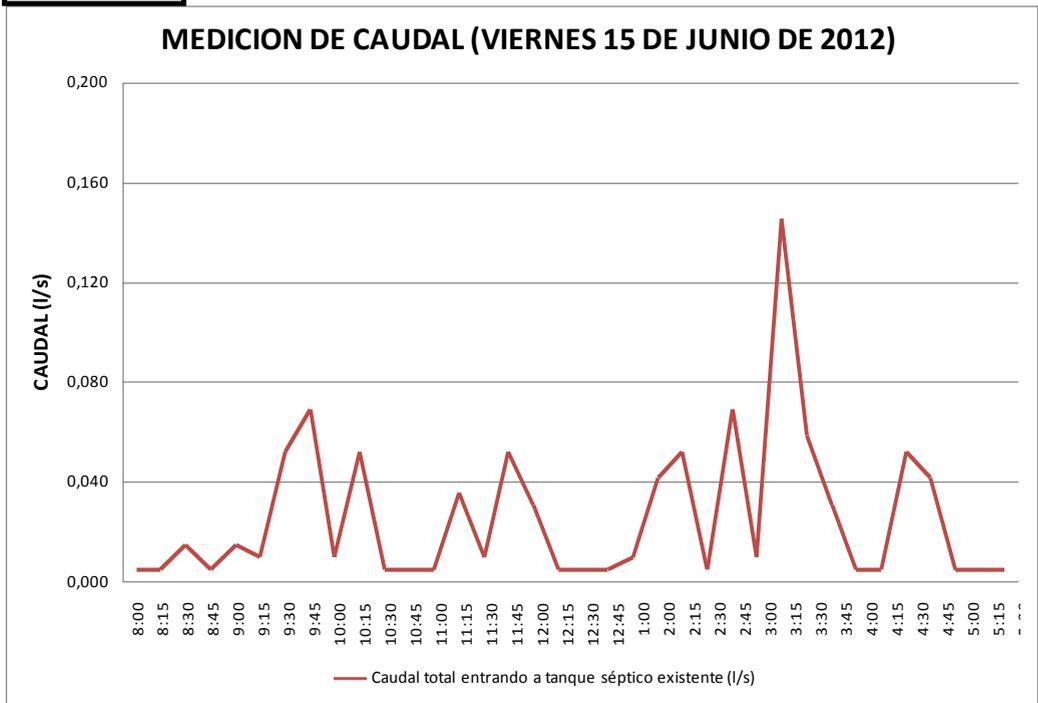


Gráfico #5



Fotografía #3:

Se aprecia la medición del caudal entrando al tanque séptico existente

**Cuadro #5**

Fechas de muestreo	Q promedio(L/s)
❖ Lunes 11 de junio	0.02
❖ Martes 12 de junio	0.02
❖ Miércoles 13 de junio	0.02
❖ Jueves 14 de junio	0.02
❖ Viernes 15 de junio	0.03
Promedio	0.02

3.6.2. Prueba de Jarras

El día viernes 01 de junio se tomó la muestra de agua servida procedente del tanque séptico, para poder realizar la prueba de jarras. En el anexo 1, se presenta el informe respectivo de la prueba de jarras.

Como conclusión de este informe, se indica que el agua residual del proceso de la empresa, es susceptible de ser tratada mediante un tratamiento inicial físico-químico, responde bien a la dosificación de Policloruro de Aluminio (PAC), previamente se realizó una alcalinización de la muestra a niveles de 9-10 de pH.

Además, se indica que el tiempo ideal de mezcla rápida es de 1 minuto a 150r.p.m., que el tiempo ideal de mezcla lenta es de 15 minutos a 30r.p.m., que es necesario proporcionar un buen contacto entre los reactivos y el agua residual, se pueden utilizar los dos reactivos (PAC y Polímero), en el mismo tanque de mezcla. A la mejor prueba se le debe adicionar cal, debido a la baja alcalinidad del agua residual, esto para alcalinizar la muestra y obtener mejores resultados en la coagulación con el PAC. Y por último, se determinó que la mejor dosis de Policloruro de Aluminio (PAC) es de 300mg/L y de 1.5 mg/L de polímero no iónico. El tiempo de retención del sedimentador debe ser mínimo de 20 minutos, para lograr la total sedimentación de los sólidos y permitir un lodo estable (aglomerado).

3.6.3. Caracterización del Agua Residual entrando al Tanque Séptico antes existente.

El programa de muestreo para caracterizar el agua residual entrando al tanque séptico existente, se consideró realizarlo en el día de mayor producción (día más crítico) por ende de mayor concentración de los principales contaminantes (DBO, DQO y sólidos suspendidos). De esta forma se consigue un diseño más real del Sistema de Tratamiento necesario a las condiciones del agua que se produce en la empresa. Los siguientes parámetros fueron caracterizados:

- ❖ pH; Temperatura; Turbiedad; Sólidos suspendidos totales
- ❖ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅); Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- ❖ Color real; Nitrógeno total; Aceites y grasas; Fenoles; Fósforo total.

A continuación se detallan los resultados obtenidos en el día de muestreo, el cual se muestra en el Anexo 2. Estos resultados del agua residual entrando al tanque séptico existente, se comparan con los parámetros límites del Texto Unificado de Legislación ambiental ecuatoriana (TULAS).

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite TULAS	Observaciones
Color real	UCV	84	No indica	-----
Nitrógeno total	mg/L	172.5	40	No cumple
pH	u. de pH	4.99	5-9	No cumple
Turbiedad	NTU	828	-----	-----
Aceites y grasas	mg/L	280	<100	No cumple
DBO ₅	mg/L	6500	<250	No cumple
DQO	mg/L	8620	<500	No cumple
Fenoles	mg/L	0.72	<0.2	No cumple
Fósforo total	mg/L	11.09	<15	Cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1045	<220	No cumple

CAPÍTULO 4

Diseño de la Planta

4.1 Descripción y detalle de todos los parámetros de diseño obtenidos dentro del estudio de tratabilidad.

En el numeral 3.3 capítulo de Conclusiones del Estudio de Tratabilidad, se indica que el efluente que entra al tanque séptico existente es factible de ser tratado con un tratamiento físico químico. Este tratamiento se compone principalmente de un proceso de coagulación, mezcla rápida, y floculación usando la adición de dos químicos PAC (policloruro de aluminio) y un polímero aniónico.

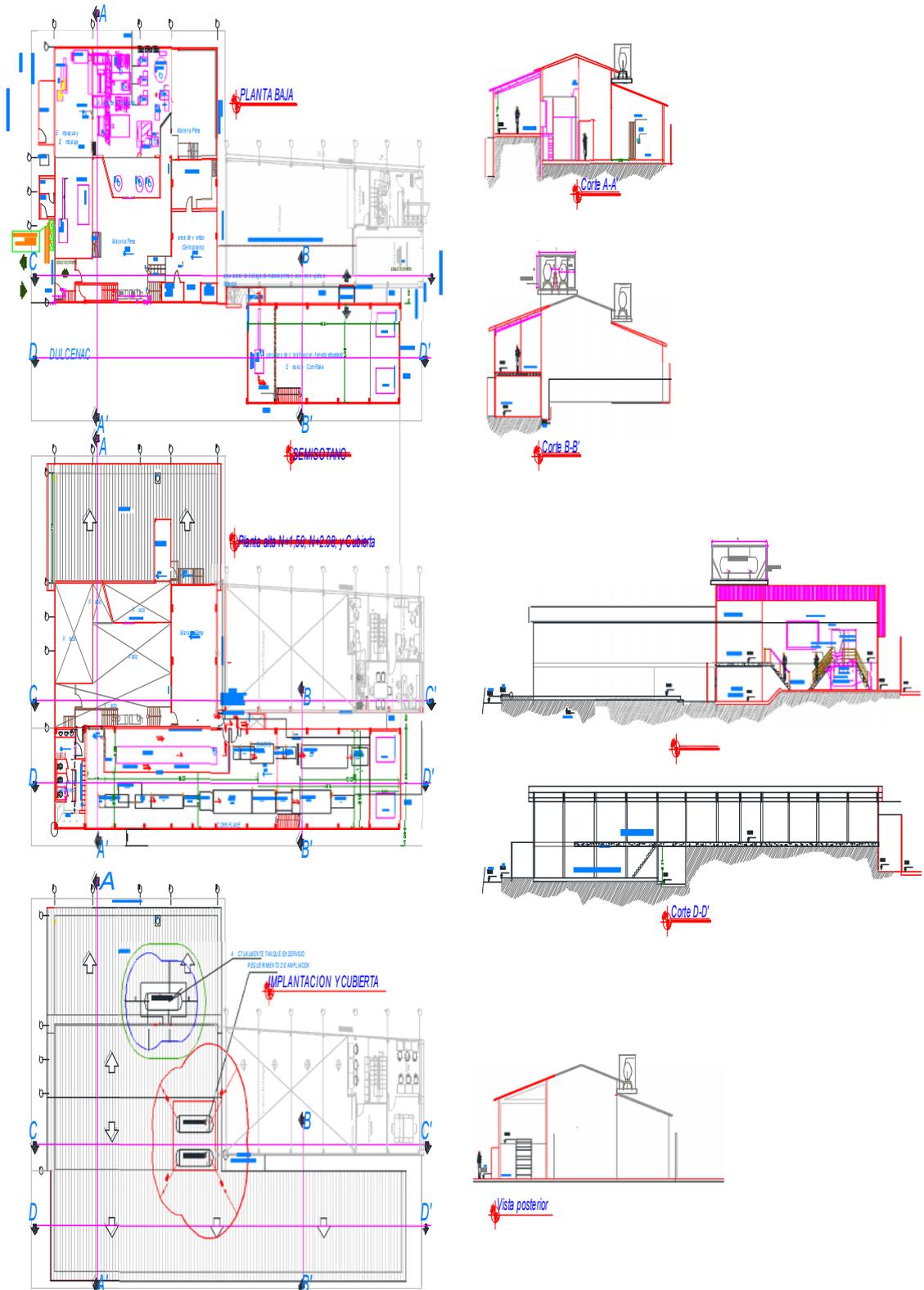
Además, con el objetivo de reducir aún más la elevada carga orgánica que contiene el efluente de la empresa, este estudio de Tratabilidad también concluyó que es necesario luego del tratamiento físico químico colocar dos filtros uno de arena con gravilla y otro con carbón activado. Por último, también se recomienda realizar una desinfección final de este efluente previo a su descarga hacia el alcantarillado público.

4.2 Diagrama del proceso de depuración con sus dimensiones, caudales, cotas y fases o etapas de desarrollo.

El diagrama del proceso de depuración propuesto con todas sus dimensiones, se presenta en el Plano Sanitario de implantación adjunto en la figura #17. Para el diseño de todos los componentes de la Planta de Tratamiento de aguas residuales industriales-domésticas de la empresa., se adopta el valor de $Q = 0,02 \text{ l/s} = 0,072 \text{ m}^3/\text{h}$, el cual corresponde al caudal máximo promedio tomado del Estudio de Tratabilidad, y es para amortiguar los picos que alcanza el Laboratorio en los días hábiles de lunes a viernes.

A continuación se indican todos los elementos del Sistema de Tratamiento que se propone:

Figura #15: Plano Sanitario



- Tanque homogenizador y donde se dosificarán los químicos.
- Tanque de floculación
- Tanque sedimentador
- Tanque de filtración con gravilla y arena
- Tanque de filtración con carbón activado
- Tanque de desinfección

4.3 Desarrollo de los cálculos de diseño y dimensionamiento de todos los elementos del sistema.

A continuación se muestran los cálculos de diseño y dimensionamiento de cada uno de los elementos del Sistema de Tratamiento propuesto:

CÁLCULO POTENCIA DEL MOTOR

$$N = \frac{Q \cdot \rho \cdot \Delta h}{\eta}$$

$$= \frac{3 \cdot 10^6 \cdot 9.81 \cdot 5}{0.75}$$

$$= 1.96 \cdot 10^8 \text{ W}$$

$$N = \frac{Q \cdot \rho \cdot \Delta h}{\eta} = 5 \cdot \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 9.81}{1} = 300 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$N = \frac{3 \cdot 10^6 \cdot 9.81 \cdot 5}{0.75}$$

$$= \frac{3 \cdot 10^6 \cdot 9.81 \cdot 5}{0.75} = 1.96 \cdot 10^8 \text{ W}$$

$$1.96 \cdot 10^8 \cdot \frac{1}{1000} = 196 \cdot 10^5 \text{ W} = 196 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{75} = 2.61 \cdot 10^6 \text{ W}$$

(1/75, Factor conversión tomado libro Teoría y Practica Purificación del Agua; Arboleda, tomo 1 pág. 126)

Se asume un valor de $K = 3$ debido a que tenemos un flujo en límite de un flujo turbulento.

Gradiente de Velocidad para Mezclador rápido

$$\beta = \frac{V}{\mu}$$

$$\beta = \frac{981}{\mu}$$

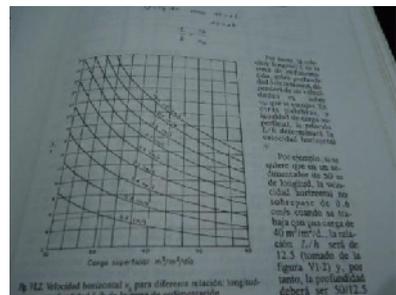
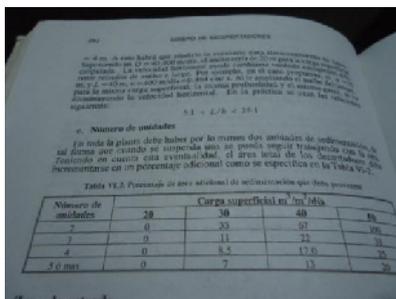
$$\beta = \frac{981}{\mu} = 2.48 \cdot 10^7 \frac{1}{254.000} = 97.24$$

$$\beta = \beta V = 0.3 \cdot 2 \cdot 0.9 = 0.254 \cdot 3 = \frac{100 \cdot \dots \cdot 3}{1 \cdot \dots \cdot 3}$$

$$\beta = \beta$$

$$\beta = 350.17 \cdot 97.24 \cdot \frac{\dots \dots}{\dots \dots \cdot 3} = 3453.1 \cdot^{-1}$$

DISEÑO DEL SEDIMENTADOR



Número de Unidades mínimas requeridas PTAR L/h vs. Carga Superficial

Grafico Relación

Diseño de Canales de entrada

Carga Superficial → 13-60 m³ / m² / día

Velocidad de flocúlos de sulfato de Aluminio → 0.015 – 0.070 cm/s (Dato tomado, libro Arboleda)

Si tomamos en cuenta que la turbiedad removida (caracterización inicial) fue del 70%

Turbiedad inicial \rightarrow 1100 NTU

Turbiedad Final \rightarrow 330 NTU; $770/1100 * 100 = 70\%$

Relación L/h $5:1 < L/h < 25:1$ (pagina, 252 Arboleda)

Si consideramos que las medidas del Sedimentador a diseñar serán 4.8 m largo* 0.9 metros altura

Calculamos relación $\frac{L}{h} = \frac{4.8}{0.9} = 5.33$ con esto procedemos a leer la Carga Superficial la cual corresponde a $20 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{D}$ del grafico VI.2 del libro Arboleda

a) Diseño del Tabique difusores

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{V^3}{8} \dots \dots \dots 0.02 - 0.04$$
$$V \dots \dots \dots$$
$$A \dots \dots \dots y \dots \dots \dots \frac{\dots}{4}$$

Medidas del Sedimentador

Largo \rightarrow 4.8 metros

Altura \rightarrow 0.9 metros

Q \rightarrow 110 litros/ segundos

Gradiente de Velocidad $\rightarrow 25 \text{ s}^{-1}$

Factor, f \rightarrow 0.03

Velocidad \rightarrow 15, 20, 25 cm/s

Diámetro de los orificios 10, 15, 30 cm

Temperatura de Trabajo \rightarrow 30°C

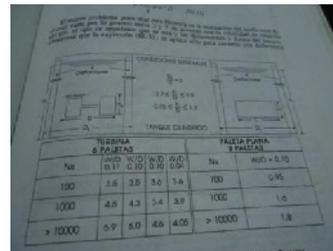
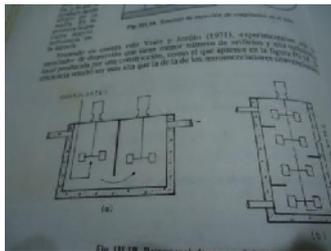
$$G = \frac{0.03 \cdot 15^{-3}}{0.00804 \cdot 8 \cdot 10/4} = 25.09 \text{ s}^{-1}$$

Diámetro Orificio (cm)	10	10	10	15	15	15	30	30	30
Velocidad (cm/s)	15	20	25	15	20	25	15	20	25
Gradiente (S ⁻¹)	25.09	38.63	53.99	20.04	30.86	43.12	14.48	22.30	31.17

Con la fórmula de G, se hacen los cálculos variando los diámetros y velocidad hasta encontrar el gradiente más apropiado para este Sedimentador

Obsérvese que a medida que aumenta el diámetro del orificio, disminuye el gradiente para la misma velocidad

Para mantener un gradiente de 25 S⁻¹ debemos escoger un diámetro de 10 cm y una velocidad de 15 cm/ s



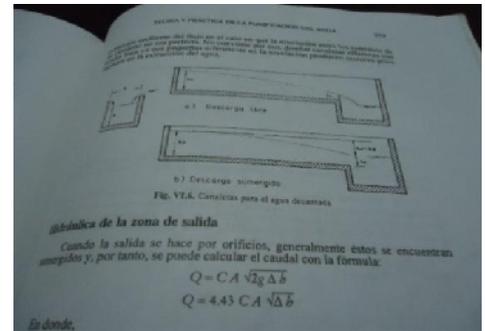
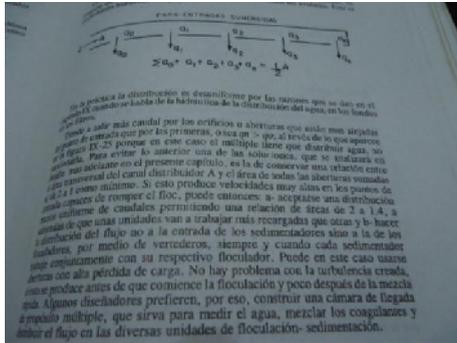
Diseño para tabiques difusores (Sedimentadores)

Flujo en el Orificio

$$\text{Flujo en el Orificio} = \frac{G}{4} \cdot d^2 \cdot \pi = \frac{25}{4} \cdot 10^2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 15^{-3} = 1178.09 \cdot \frac{1}{1000} = 1.178 \text{ m}^3$$

$$\text{Área del Orificio} = 0.0078 \text{ m}^2$$

Diseño del a Zona de Entrada



Área de paso del Canal $2 \times 2 = 4$

Este canal tiene 4 aberturas cuadradas que alimentan un decantador de un flujo volumétrico estimado de: $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$

$$V = \frac{0.37 \cdot \frac{.3}{.}}{4} = 0.0925 \text{ --- } = 0.37 \cdot \frac{.3}{.} / .$$

Área compuerta $\frac{1}{2} \cdot \frac{4}{4} = 0.5$

Perdida de Carga $h=2.5$; $0.185/19.6= 0.0043\text{m}$

Coefficiente, $f=0.03$

ν = viscosidad cinemática del agua a $28^\circ\text{C} = 0.00839$

$$\cdot = \frac{\cdot V^3}{\cdot 8 \cdot} = \frac{0.03}{0.00839} \frac{18.5^3}{8 \cdot 12.5} = 15.04 \cdot^{-1}$$

Radio medio Hidráulico = $2500 / (50 \cdot 4) = 12.5 \text{ cm}$.

Zona de Salida

$$\cdot = \cdot A \sqrt{2 \cdot \cdot \cdot} \cdot \cdot = 4.43 \cdot A \sqrt{\cdot \cdot}$$

$$A_{2222} \cdot \dots = 0.0078 \cdot 2$$

$$C_0 = 0.6 \text{ mg/l}; C_1 = 0.9 \text{ mg/l}; C_2 = 0.7 \text{ mg/l}$$

$$k = 4.43 \cdot 0.7 \cdot 0.0078 \cdot \frac{0.9 - 0.6}{0.9 - 0.6} = 0.013 \text{ min}^{-1}$$

Diseño Equipo Desinfección

Nitrógeno = 6.18 mg/ litro

Tª = 22.1°C

Objetivo del equipo: destrucción de Coliformes

Punto de Quiebre: Cl:N= 8.5: 1 → dato tomado Grafica XI.18 , Teoría y Purificación del Agua; Arboleda

Para un ph de 6.71, cloro libre tiene un K= 2.2 → (fig. XI.31, Teoría y purificación del Agua, Arboleda)

El tiempo de mayor demanda se calcularon en = 60 minutos

Usando la Ley de Chick, de la cual se deduce la ley de Watson así:

$$C = \frac{C_0}{1 - k \cdot t} \quad C = \frac{C_0}{1 - k \cdot t}$$

$$C = \frac{C_0}{1 - k \cdot t} \quad C = \frac{2.2/60^{1/0.86}}{1 - 0.013 \cdot 60} = 0.0213 \text{ mg/l}$$

Para obtener cloro libre necesitamos sobrepasar el punto de Quiebre y por tanto aplicar al menos 8.5* 6.18= 52 mg/litro de Cloro

Por tanto la dosis de cloro a colocar para obtener 0.158 mg/ litro será: 52.53 mg+ 0.0213 mg= 52.5513 mg/litro

$$C = 110 \frac{\text{mg}}{\text{litro}} \cdot \frac{1 \cdot 3}{1000} = \frac{0.11 \cdot 3}{1} \cdot 86400 = 9504 \text{ mg} \cdot 3 / \text{litro}$$

➤ Pre - cloración

$$\begin{aligned}
 \frac{22222222}{22} &= \frac{22222222}{22} = 22222222 / 22 \\
 &= 22222222 / 22 = 22222222 / 22
 \end{aligned}$$

➤ **Post - cloración**

8.75 mg / litro *2= 17.5 mg / litro

$$= \frac{9504 \cdot 17.6}{1000} = 166.32 = 366.34$$

✓ **Tanque donde se dosificarán los químicos.**

Se debe colocar un tanque a la entrada del Sistema de Tratamiento, este tanque tiene como función principal ajustar el caudal constante de bombeo desde el tanque séptico existente hacia las unidades posteriores.

En el tanque se debe agregar cal con una dosificación de 1,5 mg/l, para alcalinizar la muestra, elevar un poco el pH y de esta manera obtener mejores resultados en la coagulación con el policloruro de aluminio (PAC). Con el objetivo de aprovechar el espacio existente encima del tanque séptico existente, se determina colocar la

dosificación de químicos en este mismo tanque homogenizador. Según el Estudio de Tratabilidad, se debe adicionar las siguientes dosificaciones para los diferentes tipos de químicos en este tanque homogenizador:

- Policloruro de aluminio (PAC), con una dosificación óptima de 300 mg/l.
- Polímero aniónico con una dosificación de 1,5 mg/l.

Con el fin de aprovechar el resalto hidráulico que se produce por el agua bombeada, esta agua residual caerá y saldrá por un nivel inferior, por tanto se estará produciendo el resalto hidráulico necesario para realizar en este punto la adición de policloruro de aluminio (PAC) y polímero aniónico.

Fotografía#4



✓ **Cálculo de Diseño y dimensionamiento del tanque.**

El tanque se lo diseña para un tiempo de retención de 3 horas.

Como el caudal de entrada a la Planta es de 0,02 l/s = 0,072 m³/hora. Para encontrar el volumen del tanque, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{tanque}} &= Q_{\text{entrada}} \cdot t_{\text{retención}} \\
 &= 0,072 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \cdot 3 \text{ horas} \\
 &= 0,216 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Fotografía#5



Por no existir un tanque plástico con esa capacidad se aproxima al tanque plástico cilíndrico de Plastigama de 300 litros.

La adición tanto del policloruro de aluminio (PAC) como del polímero aniónico será a través de bombas dosificadoras con las siguientes especificaciones:

- ❖ **Chem Tech**
- ❖ **Serie 100**
- ❖ **Modelo X015-XA-BAA8-XXX**
- ❖ **Pulsafeeder**
- ❖ **15 gal/día**
- ❖ **2,34 lph**

Estas bombas dosificadoras son distribuidas en Guayaquil por las empresas Inducom o Acero Comercial.

A un lado del tanque plástico cilíndrico de 300 litros, se colocarán dos tanques de plástico de 55 galones, los mismos que serán llenados con policloruro de aluminio (PAC) y polímero aniónico. Encima de estos tanques se colocarán las bombas dosificadoras, las cuales succionarán los químicos antes indicados, y los llevarán hacia el tanque plástico cilíndrico de 300 litros donde por medio de tuberías plásticas se insertarán en el agua residual entrante. Las bombas dosificadoras se encenderán desde un sistema de control eléctrico.

✓ **Tanque de floculación**

En este tanque se producirán los flóculos de materia orgánica producto de la adición de químicos. Para producir un excelente floc es necesario implementar un agitador de paletas giratorias con su respectivo motor.

De acuerdo al Estudio de Tratabilidad este agitador de paletas giratorias debe trabajar a 30 rpm (revoluciones por minuto), con lo cual podrán formarse una buena cantidad de flocs que luego puedan sedimentarse.

Se define que este proceso debe hacerse en un tanque de plástico de 55 galones, encima del cual se colocará el motor del sistema agitador de paletas giratorias, el cual se accionará desde un sistema de control eléctrico.

✓ **Tanque sedimentador**

Debido a la conversión de materia orgánica en tejido celular, esta al ser de un peso específico, ligeramente superior al del agua, se lo elimina por sedimentación. En este tanque se sedimentarán los flocs formados en el proceso de coagulación.



Cálculo de Diseño y dimensionamiento del sedimentador

Este sedimentador se lo diseña, considerando un tiempo de retención mínimo de cuatro horas para de esta manera obtener adecuadas eficiencias de remoción de DQO (Demanda Química de oxígeno), DBO (Demanda Bioquímica de oxígeno) y sólidos suspendidos totales. En la siguiente figura, se puede apreciar los porcentajes de remoción que se obtienen en un tanque sedimentador inicial o primario, según **Reynolds (1982)**.

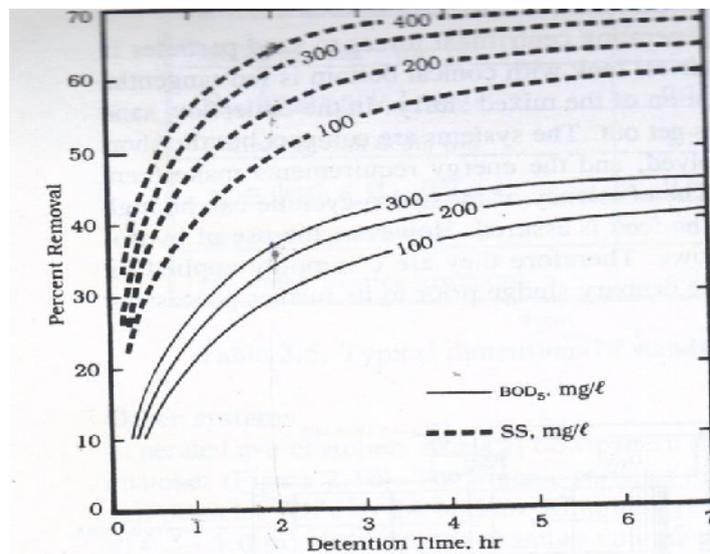


Figura #16

Fuente: Porcentajes de remoción de DBO y sólidos suspendidos contra tiempos de retención en tanques de clarificación (Reynolds, 1982).

Como el caudal de diseño es 0,02 l/s = 0,072 m³/hora, para encontrar el volumen del tanque, se calcula mediante la siguiente fórmula:

Fotografía#7



$$V_{\text{tanque}} = Q_{\text{caudal}} \cdot t_{\text{retención}} = 0,072 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \cdot 4 \text{ horas} = 0,288 \text{ m}^3$$

?

= ? ? ? ? ? ? ? ?

De igual manera que en el caso anterior, al no existir un tanque plástico con esta capacidad, utilizaremos un tanque de plastigama correspondiente a un volumen de 300 litros.

De acuerdo, a la figura anterior para tiempos de retención de cuatro horas se obtienen eficiencias de remoción de DBO del 40 %, y de sólidos suspendidos del 60 %.

Los lodos producidos en este tanque saldrán por la parte inferior, mediante el accionamiento de una válvula de purga. Estos lodos se los dirigirá hacia un tanque de recolección de lodos, el cual una vez lleno deberá ser llevado hacia el relleno sanitario para su disposición final.

✓ **Tanque de filtración con arena y gravilla**

La filtración con arena y gravilla es un proceso para eliminar cualquier material particulado que pudiere pasar el proceso de sedimentación, y para eliminar materia fecal coliforme. El agua efluente del tanque sedimentador entrará por la parte superior del filtro de gravilla y arena (flujo descendente). Este filtro de percolación estará formado de arriba hacia abajo por una carga de agua de 40 centímetros, luego una capa de arena de 40 centímetros y, al fondo una capa de gravilla de 20 centímetros.



Los filtros con arena y gravilla son más resistentes a los cambios bruscos de carga y a la presencia de tóxicos e inhibidores y, además remueve microorganismos (coliformes fecales y totales) del agua entrando al mismo.

Criterios de diseño:

- Tipo de filtro: Tasa baja media

- Tasa hidráulica de superficie del filtro de gravilla = 0,9 m/hora, lo cual permitirá un porcentaje aproximado de remoción de DBO entre el 50 a 60 %.
- Tasa hidráulica de superficie del filtro de arena = 0,10 mm/s = 0,36 m/h. (Fuente: Slow Sand Filtration, Prof. Dr. L. Huisman, IHE-Delft, 2000).
- Profundidad = 1 metro
- Estos filtros no necesitarán recirculación.
- No habrá flujo de aire a través de los filtros.
- Este tanque estará cerrado, y los pocos malos olores que se generen se disiparán a través de un tubo de ventilación de 4", colocado en la tapa superior del tanque.

Es necesario indicar que en los filtros de gravilla y arena no se producirán ningún tipo de lodo, lo que podría formarse es una lama verdosa en los primeros centímetros del filtro, pero ésta deberá ser sacada por el operador mediante el uso de un rastrillo, y reemplazar en igual proporción la altura del filtro sacada.

Cálculo de Diseño y dimensionamiento del filtro de arena y gravilla

El filtro de gravilla se lo diseñó en base a la tasa óptima de filtración de 0,25 mm/s = 0,9 m/h. Como el Q entrante a cada filtro de percolación es de 0,02 l/s = 0,072 m³/h, se tiene que el área superficial necesaria de filtración del filtro es de:

$$Q = V A$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0,072 \frac{m^3}{h}}{0,9 \frac{m}{h}} = 0,08 m^2$$

Asumiendo una profundidad del filtro de gravilla de 0,2 m, se obtiene que el diámetro del tanque del filtro necesario sea:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{0,08}{\pi}$$

Reemplazando los valores:

$$D = \frac{\sqrt{A}}{\pi} = \frac{\sqrt{0,2222}}{\pi} = 0,267$$

El cual es menor al diámetro del tanque cilíndrico de 300 litros que es de 0,6 metros, por lo que es lo más correcto la selección de este tanque.

En el caso del filtro de arena se lo diseñó en base a la tasa óptima de filtración de 0,10 mm/s = 0,36 m/h. Como el Q entrante a cada filtro de percolación es de 0,02 l/s = 0,072 m³/h, se tiene que el área superficial necesaria de filtración del filtro es de:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,072}{0,36} = 0,2$$

Asumiendo una profundidad del filtro de arena de 0,4 m, se obtiene que el diámetro del tanque del filtro necesario sea:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \frac{\sqrt{4A}}{\pi} = \frac{\sqrt{0,8}}{\pi} = 0,505$$

El cual es menor al diámetro del tanque cilíndrico de 300 litros que es de 0,6 metros, por lo que está correcta la selección de este tanque.

✓ Tanque de filtración con carbón activado

La filtración con carbón activado es un proceso para reducir la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) a niveles superiores del 95, y con

Fotografía#9



esto lograr cumplir con los límites permisibles que se indican en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria Ecuatoriana (TULAS). Además, la filtración con carbón activado reducirá los niveles de color y fenoles que pueda llevar consigo el agua luego de su paso por la filtración con gravilla y arena.

Este filtro de carbón activado estará formado de arriba hacia abajo por una carga de agua de 40 centímetros, luego una capa de carbón activado de 50 centímetros y, al fondo una capa de grava (piedra ¾”) de 10 centímetros.

Criterios de diseño:

- Tipo de filtro: Tasa media
- Tasa hidráulica de superficie del filtro de carbón activado = 1 m/h
- Profundidad total del filtro de carbón activado = 0,5 m
- No habrá flujo de aire a través del filtro.

Es necesario indicar que en este filtro de carbón activado no se producirá ningún tipo de lodo. Este filtro debe ser cambiado cada 6 meses.

Cálculo de Diseño y dimensionamiento del filtro de carbón activado

El filtro de carbón activado se lo diseñó en base a la tasa óptima de filtración de este tipo de filtro que es de 1 m/hora.

Como el Q entrante a cada filtro de percolación es de 0,02 l/s = 0,072 m³/h, se tiene que el área superficial necesaria de filtración del filtro es de:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0,072 \text{ m}^3/\text{h}}{0,5 \text{ m}} = 0,144 \text{ m}^2$$

Asumiendo una profundidad del filtro de carbón activado de 0,5 m, se obtiene que el diámetro del tanque del filtro necesario sea:

$$\pi \cdot \frac{D^2}{4} = A$$

$$\mathbf{A} = \frac{\text{? ?}}{\text{?}} = \frac{\text{?}}{\boldsymbol{\pi}}$$

$$D = \frac{A}{\pi} = \frac{0,222222^2}{\pi} = 0,0303$$

El cual es menor al diámetro del tanque cilíndrico de 300 litros que es de 0,6 metros, por lo que está correcta la selección de este tanque.

✓ Tanque de desinfección

El tanque de desinfección es un tanque plástico cilíndrico de 100 litros, el cual sirve para realizar una correcta desinfección del agua tratada. Con esto, se obtiene un efluente con ausencia de coliformes fecales, coliformes totales, y el cual cumple con la Normativa ambiental del TULAS.

Fotografía#10



El agua entra por la parte superior del tanque, y dispone de un tiempo de retención de 1 hora, tiempo suficiente para que el cloro desinfecte el agua tratada. La adición del cloro será a través de una bomba dosificadora con las siguientes especificaciones:



Fotografía#11

- ❖ **Chem Tech**
- ❖ **Serie 100**
- ❖ **Modelo X015-XA-BAA8-XXX**
- ❖ **Pulsafeeder**
- ❖ **15 gal/día**
- ❖ **2,34 lph**

Luego, el agua desinfectada irá a un caja de hormigón armado de 20 cm x 20 cm en donde se podrá tomar el muestreo de la calidad del agua, y con esto se podrá conocer si el Tratamiento del agua se encuentra trabajando adecuadamente. De esta cámara pequeña, se trasladará el agua tratada hacia la caja de registro existente de 70 cm x 70 cm, de la cual el agua será enviada hacia el alcantarillado público.

Cálculo de Diseño y dimensionamiento del tanque de desinfección

El tanque de desinfección se lo diseña para un tiempo de retención de 1 hora. Como el caudal de entrada a la Planta es de 0,02 l/s = 0,072 m³/h. Para encontrar el volumen del tanque, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_{\text{tanque}} = Q_{\text{entrada}} \cdot t_{\text{retención}} = 0,072 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1 \text{ h} = 0,072 \text{ m}^3 = 72 \text{ litros}$$

Considerando una altura de 0,88 m (medida del tanque de 300 litros), se tiene que el área necesaria:

$$A = \frac{V}{h} = \frac{0,072 \text{ m}^3}{0,88 \text{ m}} = 0,0818 \text{ m}^2$$

El área del tanque cilíndrico de 100 litros es de 0,13 m². Por lo que se toma este tanque cilíndrico vertical de 100 litros para realizar la desinfección final del efluente.

✓ Tanque de lodos

Los lodos se producirán solo en el tanque sedimentador, este tanque posee una válvula de purga en la parte inferior del cual mediante una tubería de 1" de diámetro PVC se enviarán los lodos por gravedad hacia un tanque donde se almacenarán los mismos. Cuando este tanque este lleno, los lodos deberán ser llevados al Relleno Sanitario de las Iguanas.

Se estima que en un tratamiento usando químicos se remueve un 70 % de los sólidos suspendidos totales, de esta cantidad el 80 % corresponde a sólidos volátiles del cual el sistema logra remover un 50 %. Para estimar el caudal medio de lodos producidos en el sedimentador, se usa la siguiente relación:

$$Q_L = \frac{Q_{\text{SS}} \cdot 0,70 \cdot 0,80 \cdot 0,50}{L}$$

Dónde:

L

Q_L = caudal medio de lodos producidos ($m^3/hora$)

C = concentración de solidos suspendidos que se remueven (mg/l)

$Q_{efluente}$ = caudal medio efluente ($m^3/hora$)

C_L = concentración de lodos en la salida del sedimentador (%)

Para el caso de los lodos producidos en DULCENAC S.A. se tienen los siguientes datos:

Concentración de sólidos suspendidos totales = 1045 mg/L (De acuerdo al Estudio de Tratabilidad). Concentración de sólidos suspendidos totales que se remueven en tratamiento usando químicos = $0,7 \cdot 1045 = 731,5$ mg/L.

- ❖ Caudal medio efluente = $0,072 m^3/h$
- ❖ Concentración de lodos a la salida del sedimentador = 5 %

Reemplazando estos datos en la fórmula (1) se tiene:

$$Q_L = \frac{Q_{efluente} \cdot C}{C_L}$$

$$Q_L = \frac{731.5 \frac{mg}{L} \cdot 0.072 \frac{m^3}{h}}{5mg/L} = 0.001053 \frac{m^3}{h} \cdot 8 \frac{h}{\text{día de trabajo}} = 0.008424 \frac{m^3}{\text{día de trabajo}}$$

$$Q_L = 0.008424 \frac{m^3}{\text{día de trabajo}} \cdot 20 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 0.1685 \frac{m^3}{\text{mes}} = 168.5 \frac{\text{Litros de lodo}}{\text{mes}}$$

$$Q_L = \frac{0.008424 \cdot 20}{0.05} = 3.3696 \frac{L}{\text{día de trabajo}}$$

Por lo tanto, se recomienda adquirir un tanque de 300 litros para tener una disposición de lodos aproximada por dos meses de trabajo de la Planta de Tratamiento.

**4.4 CRONOGRAMA VALORADO DE IMPLEMENTACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
EN DULCENAC.**

ACTIVIDAD	jul-12				ago-12			<u>Costo Total</u>
	1 SEMANA	2 SEMANA	3 SEMANA	4 SEMANA	1 SEMANA	2 SEMANA	3 SEMANA	
Implementación de estructura metálica a desnivel	\$ -	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.000,00
Implementación de Planta de Tratamiento de aguas residuales	\$ -	\$ -	\$ 850,00	\$ 850,00	\$ 700,00	\$ 600,00	\$ -	\$ 3.000,00
Puesta en marcha de Planta de Tratamiento	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$200,00	\$ 200,00
Análisis Físico-químicos/ Laboratorio Acreditado, arranque y calibración	\$195,00	\$ -	\$ -	\$ 195,00	\$ -	\$ -	\$195,00	\$ 585,00
Análisis Físico-químicos/ Laboratorio Acreditado, puesta en marcha y presentación resultados al Municipio	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$585,00	\$ 585,00
Productos Químicos								\$ 800,00
Costo Total	\$ 195,00	\$ 500,00	\$ 1.350,00	\$ 1.045,00	\$ 700,00	\$600,00	\$980,00	\$ 6.170,00

4.5 PRESUPUESTO ESTIMADO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DULCENAC

RUBROS	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo
Estructura metálica (incluye material, mano de obra)	1	Global	\$ 800,00	\$800,00
Bombas dosificadoras	3	Unidad	\$ 500,00	\$1.500,00
Tanque de 300 litros	5	Unidad	\$ 80,00	\$400,00
Tanque de 100 litros	5	Unidad	\$ 50,00	\$ 250,00
Policloruro de aluminio (2 sacos para iniciar)	2	sacos	\$75,00	\$150,00
Polímero (2 sacos para iniciar)	2	sacos	\$182,00	\$364,00
Carbón activado	125	Kg	\$4,48	\$560,00
Cloro liquido	1	Global	\$ 200,00	\$200,00
Bomba de 1/2 Hp	1	Global	\$ 300,00	\$300,00
Tubería PVC de 1/2 pulgada x 6 metros	1	Unidad	\$ 9,50	\$9,50
Tubería PVC de 1 pulgada x 6 metros	1	Unidad	\$28,00	\$28,00
Paleta giratoria incluye motor	1	Global	\$300,00	\$300,00
Compresor de 1 Hp	1	Global	\$250,00	\$250,00
Arena	0,25	m3	\$10,00	\$2,50
Gravilla	0,13	m3	\$ 11,88	\$1,54
Grava o piedra 3/4"	0,06	m3	\$15,00	\$0,90
Accesorios	1	Global	\$50,00	\$50,00
Válvulas check 1/2 "	4	Unidad	\$ 20,00	\$80,00
Costo Total Equipos y Accesorios				\$5.246,44

Costo Total Construcción y puesta en Marcha Planta

Tratamiento de Aguas Residuales

\$11.416,44

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizado el presente proyecto se llega a las siguientes Conclusiones y Recomendaciones:

5.1. CONCLUSIONES

1. Como conclusión del estudio realizado, se verificó que si es posible implementar un tratamiento físico-químico, en el agua generada en la empresa. Este tratamiento físico-químico tendrá como función básica aglomerar los sólidos que están presentes en cantidades apreciables en forma suspendida o emulsificada. Por lo tanto, con este tratamiento se removerá aproximadamente entre un 40% a 50% de DBO5, 50% a 60% de DQO y 50% a 60% de sólidos suspendidos totales, tal como lo establece el test de jarras.
2. Luego de la caracterización del agua residual de la industria de alimentos se puede concluir que el mayor contaminante de esta industria son las grasas y aceites.
3. Ya que la relación existente entre DBO5 y de DQO es mayor a 0,7, se concluye también que las aguas de desecho de esta industria son altamente biodegradables.
4. Una vez realizado el presupuesto del sistema propuesto, para la Planta de tratamientos de Aguas Residuales, de la empresa, se concluye que es de bajo costo y de fácil mantenimiento ya que solo necesita de limpieza y esto lo puede hacer cualquier obrero.

5. Se concluye también que la depuración del agua residual industrial que se trató en la presente tesis cumple con las normas establecidas por la legislación ambiental ecuatoriana. Estableciendo así con la responsabilidad del cuidado al medio ambiente.
6. Como conclusión del estudio realizado, al terminar el proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se obtendrán: Agua residual tratada y Fangos de desecho, los cuales podrán ser utilizados como a bien tuviere la empresa.

5.2. RECOMENDACIONES:

1. Una vez concluido el presente trabajo, se le recomienda a la empresa que, basado en la presente tesis, se inicie la obra civil y trabajos de construcción de la Planta de tratamientos de Aguas Residuales.
2. Se recomienda que después de culminado el proceso dentro de la Planta de tratamientos de Aguas Residuales el agua, tenga una disposición final diferente a la evacuación al río.
3. Asimismo, se recomienda que después de culminado el proceso dentro de la Planta de tratamientos de Aguas Residuales, los fangos tengan una disposición final diferente a rellenos sanitarios o incineración.
4. Como a la salida de la Planta de tratamientos de Aguas Residuales se obtendrá un agua libre de sólidos gruesos, materia orgánica en suspensión, sin olor, sin color y clorada, se recomienda aprovecharla en:
 - ❖ Limpieza de áreas exteriores como patios, calles vehiculares
 - ❖ Riego de jardines y plantas
 - ❖ Baterías sanitarias

5. Basados en esta tesis, se recomienda realizar estudios posteriores referentes a la utilización de los fangos para compostaje. Si se decide enviar los lodos para vertederos o incineradoras, se debe contratar un gestor de residuos autorizado por el municipio de la ciudad, o la autoridad competente. El gestor de residuos cobrará un valor por cada tonelada de lodos que se lleve a un botadero o un incinerador. El incinerador o botadero representa contaminación ambiental. Por otro lado, si se utiliza dicho lodo para compostaje, el producto obtenido podrá ser utilizado como abono.
6. Para remover color y fenoles se recomienda colocar dos filtros posteriores uno de arena - gravilla y otro de carbón activado. Estos dos filtros ayudarán a llegar al 97% de remoción de DBO5 y 95% de remoción de DQO, y lograr las concentraciones de estos parámetros por debajo de los límites permisibles de descarga establecidos por el TULAS.
7. También se verificó que el efluente actual a la salida de la trampa de aceites y grasas, contiene todavía concentraciones de aceites y grasas por encima de la Norma del TULAS. A raíz de este problema detectado se conversó con el Jefe de Planta de la empresa, quién indicó que no se había limpiado desde hace algún tiempo atrás la trampa de aceites y grasas. Por lo que, para obtener un buen efluente en el Sistema de tratamiento a implementar, se recomienda que se esté realizando periódicamente la limpieza de la trampa de aceites y grasas.
8. Una vez definidos los procesos de tratamiento necesarios en la empresa, se recomienda proseguir a la etapa de diseño definitivo del Sistema de Tratamiento de Aguas.
9. El mantenimiento de la cámara de grasa es clave para el buen funcionamiento del sistema, se recomienda que la limpieza sea diaria.

10. Se recomienda que el lugar donde vaya a ser ubicada la planta de tratamiento, debe ser un poco alejado de la nave de producción, y sí es posible un lugar solitario.

11. Se recomienda monitorear periódicamente el sistema haciendo tomas de agua en la cámara séptica ya que esto nos dará una idea como está trabajando el sistema.

12. Se recomienda ser cuidadosos en el buen uso del Carbón activado dado que es un producto costoso (50usd por cada 25kg) tratando de extender al máximo la vida útil de este, por la experiencia del trabajo realizado en este tema de tesis se verificó que la saturación de este producto se da aproximadamente a los tres meses de uso.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias Bibliográficas.

1. Guerrero Lorna, Alkalay Daniel. Tratamiento de residuos líquidos de una fábrica de galletas. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, 2010.
2. Self Monitoring Manual. Confectionary Industry. Ministry of State for Environmental Affairs, Egyptian Environmental Affairs Agency (EEAA), 2009.
3. Moncayo I, Ayala D., Estudio de tratabilidad biológica de aguas residuales domésticas para optimizar resultados a escala real, Solución Ambiental, Quito, Ecuador.
4. Sierra Jorge Humberto, Amparo Beatriz, Saldarriaga Julio César. Estudio de tratabilidad de las aguas residuales de una planta pulverizadora de leche, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquía, 1999.
5. Al-JhilSaad A., COD and BOD reduction of domestic wastewater using activated sludge, sand filters and activated carbon in Saudi Arabia, National Center for Water Research, Biotechnology, pages 473-477, 2009.

FOTOGRAFÍAS

Fotografía #12: Vista lateral del Panel eléctrico principal



Fotografía #13: Vista Frontal del Panel eléctrico principal



Fotografía #14: Tanque dosificación PAC



Fotografía #15: Tanque alimentación



Fotografía #16: Tanque alimentación/ floculación



Fotografía #17: Vista lateral del Tanque homgenizador



Fotografía #18: Vista superior Tanque homgenizador



Fotografía #19: Tanque alimentación



Fotografía #20: Tanque sedimentación



Fotografía #21: Tanque filtración



**Fotografía #22: Tanque
filtración / carbón
activado**



**Fotografía #23: Tanque
desinfección (adición de
cloro)**



**Fotografía #24: Vista
Posterior PTAR**



Fotografía #25: Tanque desinfección



Fotografía #26: Tanque adición solución de cloro



Fotografía #27: Vista de tanques desinfección / adición de cloro



Fotografía #28: Prueba de agua tratada a la salida del tanque filtración



Fotografía #29: Vista de la cámara almacenamiento Agua



Fotografía #30: Vista de Trampas de Grasa



Fotografía #31: Vista de Tanque de Alimentación



Fotografía #32: Vista de Tanque de Homogenización



Fotografía #33: Toma de muestras en el tanque de Homogenización



GLOSARIO DE TÉRMINOS

ABREVIATURAS

Magnitud	Definición
%	Porcentaje
°C	Grados Centígrados
°F	Grados Fahrenheit
A.R.	Aguas Residuales
C	Carbono
cm	Centímetro
C	Concentración de sólidos suspendidos que se remueven
C_s	Carga del Sustrato afluente o efluente del proceso
C_L	Concentración de lodos en la salida del sedimentador (%)
d	Día
D	Diámetro
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
E	Eficiencia del proceso en porcentaje
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
g	Gramo
g/ml	Gramo por mililitro
h	Horas
H₂O	Agua

Kg/m³	Kilogramos por metro cúbico
L	Litro
m	Metro
m/s	Metro por segundo
m³	Metro cúbico
mg	Miligramo
mg/L	Miligramo por litro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MO	Materia Orgánica
OD	Oxígeno Disuelto
PAC	Policloruro de Aluminio
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
pH	Potencial de Hidrógeno
Q	Caudal
Q_{prom.}	Caudal Promedio
Q_L	Caudal medio de lodos producidos (m ³ /hora)
Q_{efluente}	Caudal medio efluente (m ³ /hora)
r.p.m.	Revoluciones por minuto
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles
S_o	Concentración del sustrato en el afluente
S	Concentración del sustrato en el efluente

Tr Tiempo de Retención

TULAS Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

UM Unidad de medida

v Velocidad

V Volumen

ANEXO 1

Informe de la prueba de jarras realizado.

Informe de Resultados

1. Descripción del trabajo

Se realizará un test de jarras al agua residual que se generan en la empresa, para determinar la dosis más óptima para el tratamiento físico químico.

Se reportarán los siguientes datos:

- ❖ Dosis óptima de la mejor prueba (coagulante y floculante).
- ❖ Potencial de hidrógeno de la mejor prueba.
- ❖ Turbidez de la mejor prueba.
- ❖ Recomendaciones sobre el uso de los productos químicos.

2. Características de la muestra

Se toma la muestra de 20 litros en una caneca de plástico, la muestra presenta turbidez y olor característico de un agua residual, con tendencia a fermentación.

Se refrigeró la muestra y se agregó 5ppm de cloro para prevenir una fermentación más acelerada.

3. Materiales y Métodos

Reactivos químicos utilizados: Para la prueba de jarras se utilizaron los siguientes reactivos químicos:

- ❖ Cal hidratada P-24 (Neutralizador y alcalinizante).
- ❖ Policloruro de aluminio en polvo – PAC (Coagulante)
- ❖ Polímero anicónico

Equipos utilizados:

- ❖ Jarras de 1000cc de vidrio Pyrex
- ❖ Agitador Hach de velocidad variable (0 – 500rpm)
- ❖ Pipetas y buretas
- ❖ Fotocolorímetro Hach R890
- ❖ Balanza analítica Metler
- ❖ Cronometro digital

4. Descripción del proceso

La prueba de jarras es un procedimiento que se utiliza comúnmente en los laboratorios. Este método determina las condiciones de operaciones de operación óptimas generalmente para el tratamiento de aguas. La prueba de jarras permite ajustar el pH, hacer variaciones en las dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y simular los procesos de coagulación o floculación que promueven la remoción de coloides suspendidos y materia orgánica.

4.1 Primera prueba

- ❖ **Número de jarras:** 3
- ❖ **Mezcla rápida:** 150rpm (1min) / Policloruro de aluminio / PAC
- ❖ **Mezcla lenta:** 30rpm (15min) / Polímero no iónico
- ❖ **Sedimentación:** 20 min
- ❖ **Tiempo total empleado en el análisis:** 150 min (las 3 jarras)

Pruebas	pH inicial	Turbidez inicial NTU	pH neutralización	Concentración PAC mg/L	Concentración polímero mg/L	pH final	Turbidez final NTU
1	5.77	>1100	8.18	50	1.0	7.69	870
2	5.77	>1100	8.34	100	1.0	7.69	517
3	5.77	>1100	8.28	150	1.0	7.69	330

4.2 Segunda prueba

- ❖ **Número de jarras:** 3
- ❖ **Mezcla rápida:** 150rpm (1min) / Policloruro de aluminio / PAC
- ❖ **Mezcla lenta:** 30rpm (15min) / Polímero no iónico
- ❖ **Sedimentación:** 20 min
- ❖ **Tiempo total empleado en el análisis:** 150 min (las 3 jarras)

Pruebas	pH inicial	Turbidez inicial NTU	pH neutralización	Concentración PAC mg/L	Concentración polímero mg/L	pH final	Turbidez final NTU
1	5.77	>1100	9.57	100	1.5	8.25	469
2	5.77	>1100	10.04	200	1.5	10.4	228
3	5.77	>1100	10.76	300	1.5	9.56	58

5. Análisis de los resultados

Prueba 1: La prueba 1 fue realizada para determinar la variación del pH en la muestra, al adicionar el PAC, las concentraciones utilizadas fueron de 50, 100, 150 mg/L de PAC y 1.0mg/L de polímero, los resultados muestran que la remoción de sólidos es baja, la mejor prueba se dio con la concentración de 150mg/L de PAC, la remoción con esta concentración fue del 70%.

Prueba 2: En la prueba 2 se variaron las concentraciones a valores de 100, 200, 300 mg/L de PAC, de igual manera se trabajó con pH superiores a 9.0 alcalinizando la muestra con cal P-24, los resultados fueron satisfactorios, la prueba de los 300mg/L, dio una remoción del 94%. Se concluye que el agua residual puede ser tratada con PAC, Cal P-24 y el polímero no iónico, en dosis de:

- ❖ PAC = 300mg/L
- ❖ P-24 Cal = alcalinizando hasta 9.0 – 10.0
- ❖ Polímero = 1.5mg/L

Conclusiones:

La muestra de aguas residuales es susceptible de ser tratada mediante un tratamiento inicial físico-químico, responde bien a la dosificación de Policloruro de Aluminio, previamente se realizó una alcalinización de la muestra a niveles de 9 – 10 pH.

En el tratamiento final con la mejor dosis (300mg/L), se obtuvo una remoción del 95% en turbidez, esto representa de manera indirecta una remoción de los sólidos en el agua. La remoción de sólidos conlleva una disminución de un 50% – 60% de la Demanda Química de Oxígeno, considerando que la materia orgánica suspendida proviene de una planta alimenticia.

ANEXO 2

Resultados obtenidos de la caracterización del agua residual entrando al tanque séptico existente realizado por el Laboratorio de calidad de aguas del Grupo Químico Marcos.

	INFORME DE ENSAYOS No. 17680-I	 <small>ENSAYOS No. OAE LE 20 05-001</small>
---	--	--

DULCENAC S.A. DULCERIA NACIONAL

Vía Daule Km 7.5 Callejon Tercero Solar 15 y Av. Quinta - A
 Guayaquil, Tel. 2-252339
 Atención: Ing. Walter Rodas.
 Tipo de Industria

Guayaquil, 8 DE JUNIO DEL 201

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 31/05/2012 10:40 Guayaquil
 Fecha y Hora de Recepción: 31/05/2012 17:04
 Punto e Identificación de la Muestra: Punto de descarga de agua de lavado.
 Norma Técnica de muestreo: INEN 2169:98-2176:98
 Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
 Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS S.A
 Muestreador: LB
 Tipo de Muestreo: Simple
 Temperatura de muestreo: 29,2 °C

LMP de acuerdo a la Norma: TULA, LIBRO VI, TOMO V, TABLA 11 LIMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PUBLICO

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	LMP	Método Analítico	Analizado
FISICOQUIMICOS:						
Color Real 1:20 (1)	84	---	UCIPt	-----	2120 B	06/06/2012 JV
Nitrogeno total (1)	172,50	---	mg/l	-----	4500 N C	01/06/2012 JV
Potencial de Hidrogeno	4,99	0,08	-	5,00 - 9,00	PEE-GQM-FQ-01	01/06/2012 JV
Turbidez (3)	828,00	132,48	NTU	-----	PEE-GQM-FQ-25	06/06/2012 JV
Aceites y Grasas	280,00	30,80	mg/l	< 100,00	PEE-GQM-FQ-03	04/06/2012 AL
Demanda Bioquímica de Oxígeno	6500,0	780,00	mgO ₂ /l	< 250,0	PEE-GQM-FQ-05	01/06/2012 ME
Demanda Química de Oxígeno	8620	1465,40	mgO ₂ /l	< 500	PEE-GQM-FQ-04	01/06/2012 ME
Fenoles (3)	0,720	0,108	mg/l	< 0,200	PEE-GQM-FQ-20	07/06/2012 JV
Fosforo Total (1)	11,09	---	mg/l	< 15,00	4500 P	05/06/2012 JV
Sólidos Suspendidos Totales	1045	157	mg/l	< 220	PEE-GQM-FQ-06	06/06/2012 AL

----	No. Aplica	N.E.	No Efectuado
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible
U	Incertidumbre	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition	

- 1- Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
- 2- Parámetros subcontratados
- 3- Resultado fuera del alcance de acreditación



Q. F. FERNANDO MARCOS V.
 Director Técnico



Q.F. LAURA YANQUI M.
 Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
 Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
 Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.



INFORME DE ENSAYOS
No. 21252-1



DULCENAC S.A. DULCERIA NACIONAL

Vía Daule Km 7.5 Callejon Tercero Solar 15 y Av. Quinta - A
Guayaquil, Tel. 2-252339
Atención: Ing. Walter Rodas
Tipo de Industria

Guayaquil, 12 DE DICIEMBRE DEL 2012

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 04/12/12 11:46 Guayaquil
Fecha y Hora de Recepción: 04/12/12 13:49
Punto e Identificación de la Muestra: Salida del tanque donde se agrega cloro.
Norma Técnica de muestreo: INEN 2169:98-2176:98
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS S.A
Muestreador: JL
Tipo de Muestreo: Simple
Temperatura de muestreo: 27,4 ºC

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
FISICOQUIMICOS:					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	308	36,96	mgO ₂ /l	PEE-GQM-FQ-05	04/12/12 DS
Demanda Química de Oxígeno	1683	286,11	mgO ₂ /l	PEE-GQM-FQ-04	07/12/12 DS
Sólidos Suspendidos Totales	62	9	mg/l	PEE-GQM-FQ-06	04/12/12 AL
Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
MICROBIOLOGIA:					
Coliformes Fecales-NMP (1)	124	---	NMP/100ml	9221 E	04/12/12 KV

---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible
U	Incertidumbre	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition	

- 1- Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
2. Parámetros subcontratados
3. Resultado fuera del alcance de acreditación

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

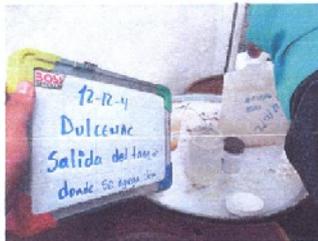
DULCENAC S.A. DULCERIA NACIONAL

Vía Daule Km 7.5 Callejon Tercero Solar 15 y Av. Quinta - A
Guayaquil, Tel. 2-252339
Atención: Ing. Walter Rodas
Tipo de Industria

Guayaquil, 12 DE DICIEMBRE DEL 2012

Fecha, Hora y lugar de Muestreo:	04/12/12 11:46 Guayaquil
Fecha y Hora de Recepción:	04/12/12 13:49
Punto e Identificación de la Muestra:	Salida del tanque donde se agrega cloro.
Norma Técnica de muestreo:	INEN 2169:98-2176:98
Matriz de la muestra:	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por:	GRUPO QUIMICO MARCOS S.A
Muestreador:	JL
Tipo de Muestreo:	Simple
Temperatura de muestreo:	27,4 °C

MEMORIA FOTOGRAFICA




Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico


Q. F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

DULCENAC S.A. DULCERIA NACIONAL

Vía Daule Km 7.5 Callejon Tercero Solar 15 y Av. Quinta - A
Guayaquil, Tel. 2-252339
Atención: Ing. Walter Rodas
Tipo de Industria

Guayaquil, 12 DE DICIEMBRE DEL 2012

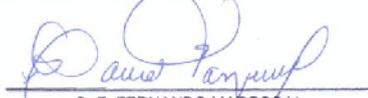
Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 04/12/12 11:30 Guayaquil
Fecha y Hora de Recepción: 04/12/12 13:49
Punto e Identificación de la Muestra: Salida del tanque de carbon activado.
Norma Técnica de muestreo: INEN 2169:98-2176:98
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS S.A
Muestreador: JL
Tipo de Muestreo: Simple
Temperatura de muestreo: 28,7 °C

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
FISICOQUIMICOS:					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1584 ^{<250}	190,08	mgO ₂ /l	PEE-GQM-FQ-05	04/12/12 DS
Demanda Química de Oxígeno	2571 ^{>500}	437,07	mgO ₂ /l	PEE-GQM-FQ-04	07/12/12 DS
Sólidos Suspendidos Totales	59 ^{<200}	9	mg/l	PEE-GQM-FQ-06	04/12/12 AL

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
MICROBIOLOGIA:					
Coliformes Fecales-NMP (1)	2419	---	NMP/100ml	9221 E	04/12/12 KV

---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible
U	Incertidumbre	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition	

- 1- Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
2. Parámetros subcontratados
3. Resultado fuera del alcance de acreditación


Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico


Q. F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

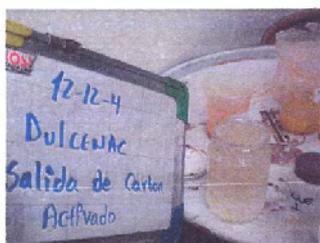
DULCENAC S.A. DULCERIA NACIONAL

Vía Daule Km 7.5 Callejon Tercero Solar 15 y Av. Quinta - A
Guayaquil , Tel. 2-252339
Atención: Ing. Walter Rodas
Tipo de Industria

Guayaquil, 12 DE DICIEMBRE DEL 2012

Fecha, Hora y lugar de Muestreo:	04/12/12 11:30 Guayaquil
Fecha y Hora de Recepción:	04/12/12 13:49
Punto e Identificación de la Muestra:	Salida del tanque de carbon activado.
Norma Técnica de muestreo:	INEN 2169:98-2176:98
Matriz de la muestra:	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por:	GRUPO QUIMICO MARCOS S.A
Muestreador:	JL
Tipo de Muestreo:	Simple
Temperatura de muestreo:	28,7 °C

MEMORIA FOTOGRAFICA



Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico



Q. F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

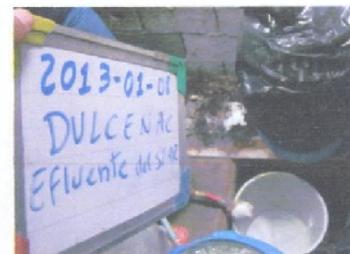
DULCENAC S.A. DULCERIA NACIONAL

Vía Daule Km 7.5 Callejon Tercero Solar 15 y Av. Quinta - A
Guayaquil, Tel. 2-252339
Atención: Ing. Janneth Nieves Vega
Tipo de Industria

Guayaquil, 15 DE ENERO DEL 2013

Fecha, Hora y lugar de Muestreo:	08/01/13 16:25 Guayaquil
Fecha y Hora de Recepción:	08/01/13 16:53
Punto e Identificación de la Muestra:	Efluente del sistema de tratamiento de AARR
Norma Técnica de muestreo:	INEN 2169:98 - 2176:98
Matriz de la muestra:	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por:	GRUPO QUIMICO MARCOS S.A
Muestreador:	JG
Tipo de Muestreo:	Simple
Coordenadas Geográficas:	17M0618184 - 9763386
Temperatura de muestreo:	27,4 °C

MEMORIA FOTOGRAFICA



Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Telefonos 2103390 - 2103392 - 2103199 Ext. 441



INFORME DE ENSAYOS
No. 21932-1

DULCENAC S.A. DULCERIA NACIONAL

Vía Daule Km 7.5 Callejon Tercero Solar 15 y Av. Quinta - A

Guayaquil, Tel. 2-252339

Atención: Ing. Janneth Nieves Vega

Tipo de Industria

Guayaquil, 15 DE ENERO DEL 2013

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 08/01/13 16:25 Guayaquil
Fecha y Hora de Recepción: 08/01/13 16:53
Punto e Identificación de la Muestra: Efluente del sistema de tratamiento de AARR
Norma Técnica de muestreo: INEN 2169:98 - 2176:98
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS S.A
Muestreador: JG
Tipo de Muestreo: Simple
Coordenadas Geográficas: 17M0618184 - 9763386
Temperatura de muestreo: 27,4 °C

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
FISICOQUIMICOS:					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	93	11,16	mgO ₂ /l	PEE-GQM-FQ-05	08/01/13 PT
Demanda Química de Oxígeno	166	28,29	mgO ₂ /l	PEE-GQM-FQ-04	11/01/13 PT

—	No. Aplica	N.E.	No Efectuado
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible
U	Incertidumbre	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition	

- 1- Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
2. Parámetros subcontratados
3. Resultado fuera del alcance de acreditación

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Telefonos 2103390 - 2103392 - 2103199 Ext. 441

www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MC2301-05

Created with XPRX, www.equs.com, commercial use prohibited

Pág. 1 de 1



INFORME DE ENSAYOS
No. 22171-1
Suplemento 1

DULCENAC S.A. DULCERIA NACIONAL

Vía Daule Km 7.5 Callejon Tercero Solar 15 y Av. Quinta - A
Guayaquil, Tel. 2-252339
Atención: Ing. Janneth Nieves Vega
Tipo de Industria

Guayaquil, 31 DE ENERO DEL 2013

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 18/01/13 17:15 Guayaquil
Fecha y Hora de Recepción: 18/01/13 17:55
Punto e Identificación de la Muestra: Efluente de la planta de tratamiento de AARR
Norma Técnica de muestreo: INEN 2169:98 - 2176:98
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS S.A
Muestreador: JG
Tipo de Muestreo: Simple
Temperatura de muestreo: 27,1 °C

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
FISICOQUIMICOS:					
Color Real 1:20 (1)	5	---	UCIPt	2120 B	22/01/13 JV
Nitrogeno total (1)	6,18	---	mg/l	4500 N C	24/01/13 KV
Potencial de Hidrogeno	6,17	0,08	-	PEE-GQM-FQ-01	19/01/13 JV
Turbidez	29,90	4,78	NTU	PEE-GQM-FQ-25	22/01/13 JV
Aceites y Grasas (3)	2,30	0,25	mg/l	PEE-GQM-FQ-03	23/01/13 AL
Fenoles	0,150	0,023	mg/l	PEE-GQM-FQ-20	21/01/13 JV
Fosforo Total (1)	7,83	---	mg/l	4500 P	25/01/13 KV
Solidos Suspendidos Totales	55	8	mg/l	PEE-GQM-FQ-06	22/01/13 AL

---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permissible
U	Incertidumbre	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition	

- 1- Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
2. Parámetros subcontratados
3. Resultado fuera del alcance de acreditación

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Telefonos 2103390 - 2103392 - 2103199 Ext. 441
www.grupoquimicomarcos.com

DULCENAC S.A. DULCERIA NACIONAL

Vía Daule Km 7.5 Callejon Tercero Solar 15 y Av. Quinta - A
Guayaquil, Tel. 2-252339
Atención: Ing. Janneth Nieves Vega
Tipo de Industria

Guayaquil, 31 DE ENERO DEL 2013

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 18/01/13 17:15 Guayaquil
Fecha y Hora de Recepción: 18/01/13 17:55
Punto e Identificación de la Muestra: Efluente de la planta de tratamiento de AARR
Norma Técnica de muestreo: INEN 2169:98 - 2176:98
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS S.A
Muestreador: JG
Tipo de Muestreo: Simple
Temperatura de muestreo: 27,1 °C

MEMORIA FOTOGRAFICA



Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Telefonos 2103390 - 2103392 - 2103199 Ext. 441

ANEXO 3

Ley de Aguas.

De la conservación y contaminación de las aguas.

Capítulo I

De la conservación.

Art. 20.- A fin de lograr las mejores disponibilidades de las aguas, el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, prevendrá, en lo posible, la disminución de ellas, protegiendo y desarrollando las cuencas hidrográficas y efectuando los estudios de investigación correspondientes.

Las concesiones y planes de manejo de las fuentes y cuencas hídricas deben contemplar los aspectos culturales relacionados a ellas, de las poblaciones indígenas y locales.

Capítulo II

De la contaminación.

Art. 22.- Prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna.

El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y las demás entidades estatales, aplicará la política que permita el cumplimiento de esta disposición.

Se concede acción popular para denunciar los hechos que se relacionan con contaminación de agua. La denuncia se presentará en la Defensoría del Pueblo.

Título IV

De los usos de aguas y prelación

Art. 36.- Las concesiones del derecho de aprovechamiento de agua se efectuarán de acuerdo al siguiente orden de preferencia:

- a) Para el abastecimiento de poblaciones, para necesidades domésticas y abrevadero de animales;
- b) Para agricultura y ganadería;
- c) Para usos energéticos, industriales y mineros; y,
- d) Para otros usos.

En casos de emergencia social y mientras dure ésta, el Consejo Nacional de Recursos Hídricos podrá variar el orden antes mencionado, con excepción del señalado en el literal a).

ANEXO 4

Ley de Gestión Ambiental.

Título I

Ámbito y Principios de la Gestión Ambiental.

Art. 1.- La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.

Art. 3.- El proceso de Gestión Ambiental, se orientará según los principios universales del Desarrollo Sustentable, contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de 1992, sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

Art. 4.- Los reglamentos, instructivos, regulaciones y ordenanzas que, dentro del ámbito de su competencia, expidan las instituciones del Estado en materia ambiental, deberán observar las siguientes etapas, según corresponda: desarrollo de estudios técnicos sectoriales, económicos, de relaciones comunitarias, de capacidad institucional y consultas a organismos competentes e información a los sectores ciudadanos.

Art. 5.- Se establece el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental como un mecanismo de coordinación transectorial, interacción y cooperación entre los distintos ámbitos, sistemas y subsistemas de manejo ambiental y de gestión de recursos naturales.

En el sistema participará la sociedad civil de conformidad con esta Ley.

Art. 6.- El aprovechamiento racional de los recursos naturales no renovables en función de los intereses nacionales dentro del patrimonio de áreas naturales protegidas del Estado y en ecosistemas frágiles, tendrán lugar por excepción previo un estudio de factibilidad económico y de evaluación de impactos ambientales.

Título II

Del Régimen Institucional de la Gestión Ambiental.

Capítulo I

Del Desarrollo Sustentable.

Art. 7.- La gestión ambiental se enmarca en las políticas generales de desarrollo sustentable para la conservación del patrimonio natural y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que establezca el Presidente de la República al aprobar el Plan Ambiental Ecuatoriano. Las políticas y el Plan mencionados formarán parte de los objetivos nacionales permanentes y las metas de desarrollo. El Plan Ambiental Ecuatoriano contendrá las estrategias, planes, programas y proyectos para la gestión ambiental nacional y será preparado por el Ministerio del ramo. Para la preparación de las políticas y el plan a los que se refiere el inciso anterior, el Presidente de la República contará, como órgano asesor, con un Consejo Nacional de Desarrollo Sustentable, que se constituirá conforme las normas del Reglamento de esta Ley y en el que deberán participar, obligatoriamente, representantes de la sociedad civil y de los sectores productivos.

Título V

De La Información y Vigilancia Ambiental.

Art. 40.- Toda persona natural o jurídica que, en el curso de sus actividades empresariales o industriales estableciere que las mismas pueden producir o están produciendo daños ambientales a los ecosistemas, está obligada a informar sobre ello al Ministerio del ramo o a las instituciones del régimen seccional autónomo. La información se presentará a la brevedad posible y las autoridades competentes deberán adoptar las medidas necesarias para solucionar los problemas detectados. En caso de incumplimiento de la presente disposición, el infractor será sancionado con una multa de veinte a doscientos salarios mínimos vitales generales.

ANEXO 5

Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua.

4 DESARROLLO

4.2 Criterios generales para la descarga de efluentes

4.2.1 Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado, como a los cuerpos de agua

4.2.1.1 El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor. Es mandatorio que el caudal reportado de los efluentes generados sea respaldado con datos de producción.

4.2.1.2 En las tablas # 11, 12 y 13 de la presente norma, se establecen los parámetros de descarga hacia el sistema de alcantarillado y cuerpos de agua (dulce y marina), los valores de los límites máximos permisibles, corresponden a promedios diarios. La Entidad Ambiental de Control deberá establecer la normativa complementaria en la cual se establezca: La frecuencia de monitoreo, el tipo de muestra (simple o compuesta), el número de muestras a tomar y la interpretación estadística de los resultados que permitan determinar si el regulado cumple o no con los límites permisibles fijados en la presente normativa para descargas a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua.

4.2.1.3 Se prohíbe la utilización de cualquier tipo de agua, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados.

4.2.1.4 Las municipalidades de acuerdo a sus estándares de Calidad Ambiental deberán definir independientemente sus normas, mediante ordenanzas, considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas. En sujeción a lo establecido en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación.

4.2.1.5 Se prohíbe toda descarga de residuos líquidos a las vías públicas, canales de riego y drenaje o sistemas de recolección de aguas lluvias y aguas subterráneas. La Entidad Ambiental de Control, de manera provisional mientras no exista sistema de alcantarillado certificado por el proveedor del servicio de alcantarillado sanitario y tratamiento e informe favorable de ésta entidad para esa descarga, podrá permitir la descarga de aguas residuales a sistemas de recolección de aguas lluvias, por excepción, siempre que estas cumplan con las normas de descarga a cuerpos de agua.

4.2.1.6 Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos de descarga en esta Norma, deberán ser tratadas

mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen: público o privado. Por lo tanto, los sistemas de tratamiento deben ser modulares para evitar la falta absoluta de tratamiento de las aguas residuales en caso de paralización de una de las unidades, por falla o mantenimiento.

4.2.1.7 Para el caso de los pesticidas, si el efluente después del tratamiento convencional y previa descarga a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado, no cumple con los parámetros de descarga establecidos en la presente normativa (Tablas 11, 12 y 13), deberá aplicarse un tratamiento avanzado.

4.2.1.8 Los laboratorios que realicen los análisis de determinación del grado de contaminación de los efluentes o cuerpos receptores deberán haber implantado buenas prácticas de laboratorio, seguir métodos normalizados de análisis y estar certificados por alguna norma internacional de laboratorios, hasta tanto el organismo de acreditación ecuatoriano establezca el sistema de acreditación nacional que los laboratorios deberán cumplir. .

4.2.1.9 Los sistemas de drenaje para las aguas domésticas, industriales y pluviales que se generen en una industria, deberán encontrarse separadas en sus respectivos sistemas o colectores.

4.2.1.10 Se prohíbe descargar sustancias o desechos peligrosos (líquidos-sólidos-semisólidos) fuera de los estándares permitidos, hacia el cuerpo receptor, sistema de alcantarillado y sistema de aguas lluvias.

4.2.1.11 Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado, o hacia un cuerpo de agua, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

4.2.1.12 Se prohíbe la infiltración al suelo, de efluentes industriales tratados y no tratados, sin permiso de la Entidad Ambiental de Control.

4.2.1.14 El regulado deberá disponer de sitios adecuados para caracterización y aforo de sus efluentes y proporcionarán todas las facilidades para que el personal técnico encargado del control pueda efectuar su trabajo de la mejor manera posible.

A la salida de las descargas de los efluentes no tratados y de los tratados, deberán existir sistemas apropiados, ubicados para medición de caudales. Para la medición del caudal en canales o tuberías se usarán vertederos rectangulares o triangulares, medidor Parshall u otros aprobados por la Entidad Ambiental de Control. La tubería o canal de conducción y descarga de los efluentes, deberá ser conectada con un tanque de disipación de energía y acumulación de líquido, el cual se ubicará en un lugar nivelado y libre de perturbaciones, antes de llegar al vertedero. El vertedero deberá estar nivelado

en sentido perpendicular al fondo del canal y sus características dependerán del tipo de vertedero y del ancho del canal o tanque de aproximación.

4.2.1.15 Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con los rangos y límites establecidos en las normas de descargas a un cuerpo de agua.

4.2.1.16 De acuerdo con su caracterización toda descarga puntual al sistema de alcantarillado y toda descarga puntual o no puntual a un cuerpo receptor, deberá cumplir con las disposiciones de esta Norma. La Entidad Ambiental de Control dictará la guía técnica de los parámetros mínimos de descarga a analizarse o monitorearse, que deberá cumplir todo regulado. La expedición de la guía técnica deberá darse en un plazo máximo de un mes después de la publicación de la presente norma. Hasta la expedición de la guía técnica es responsabilidad de la Entidad Ambiental de Control determinar los parámetros de las descargas que debe monitorear el regulado.

4.2.1.17 Se prohíbe la descarga de residuos líquidos no tratados, provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre, hacia los sistemas de alcantarillado, o cuerpos receptores. Se observarán las disposiciones vigentes en el Código de Policía Marítima y los convenios internacionales establecidos, sin embargo, una vez que los residuos sean evacuados a tierra, la Entidad Ambiental de Control podrá ser el Municipio o Consejo Provincial, si tiene transferida competencias ambientales que incluyan la prevención y control de la contaminación, caso contrario seguirá siendo la Dirección General de la Marina Mercante.

La Dirección General de la Marina Mercante (DIGMER) fijará las normas de descarga para el caso contemplado en este artículo, guardando siempre concordancia con la norma técnica nacional vigente, pudiendo ser únicamente igual o más restrictiva con respecto a la presente Norma. DIGMER será la Entidad Ambiental de Control para embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre.

4.2.1.18 Los regulados que amplíen o modifiquen su producción, actualizarán la información entregada a la Entidad de Control de manera inmediata, y serán considerados como regulados nuevos con respecto al control de las descargas que correspondan al grado de ampliación y deberán obtener las autorizaciones administrativas correspondientes.

4.2.1.19 La Entidad Ambiental de Control establecerá los parámetros a ser regulados para cada tipo de actividad económica, especificando La frecuencia de monitoreo, el tipo de muestra (simple o compuesta), el número de muestras a tomar y la interpretación estadística de los resultados que permitan determinar si el regulado cumple o no con los límites permisibles fijados en la presente normativa para descargas a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua.

4.2.1.20 Cuando los regulados, aun cumpliendo con las normas de descarga, produzcan concentraciones en el cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado,

que excedan los criterios de calidad para el uso o los usos asignados al agua, la Entidad Ambiental de Control podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga, previo a los estudios técnicos realizados por la Entidad Ambiental de Control, justificando esta decisión.

4.2.1.21 Los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de potabilización de agua y de tratamiento de desechos y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos no peligrosos.

TABLA 11. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No DETECTABLE
Acidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	CERO
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO ₃	mg/l	0,1
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
Cianuro total	CN-	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón	mg/l	0,1

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
	cloroformo (ECC)		
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5.	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sulfatos	SO4=	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Compuestos organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,05
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10

TABLA 12. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		¹ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos		mg/l	10,0

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1

¹Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S °C	mg/l	0,5
Temperatura			< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

TABLA 13. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas		mg/l	0,3
Arsénico total	As	mg/l	0,5
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,2
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		² Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidade	* Inapreciable

²Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000 quedan exentos de tratamiento

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	s de color mg/l	en dilución: 1/20 0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Fósforo Total	P F	mg/l	10
Fluoruros	TPH	mg/l	5,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo.	Visibles	mg/l	20,0
Materia flotante	Hg		Ausencia
Mercurio total	Ni	mg/l	0,01
Níquel	N	mg/l	2,0
Nitrógeno Total kjedahl	Ag	mg/l	40
Plata Plomo	Pb	mg/l	0,1
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	0,5 6-9
Selenio	Se		
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l mg/l	0,2 100
Sulfuros Organoclorados totales	S Concentración de organoclorados totales	mg/l mg/l	0,5 0,05
PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,25
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Zinc	Zn	mg/l	10

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.