



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**



**MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL EFLUENTE DE LA
P.T.A.R.I. DE LA EMPRESA C.A. DANAVEN SUBDIVISIÓN EJES Y
CARDANES, CON LA FINALIDAD DE USAR DICHO EFLUENTE
COMO AGUA DE RIEGO DE LA EMPRESA.**

Prof.: Tony Espinosa
Tutor Académico

Presentado por:
Néstor G. Bravo A.
15.527.557

Ing.: Elvis Mendoza
Tutor Industrial

Valencia, 27 de Agosto de 2007



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Constancia de Aprobación

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado Titulado: **"MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL EFLUENTE DE LA P.T.A.R.I. DE LA EMPRESA C.A. DANAVEN SUBDIVISIÓN EJES Y CARDANES, CON LA FINALIDAD DE USAR DICHO EFLUENTE COMO AGUA DE RIEGO DE LA EMPRESA"**, realizado por el bachiller Bravo A. Nestor G. C.I: 15.527.557, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. (a) Tony Espinosa.

Presidente

Prof. (a) Celeste Fernández

Jurado

Prof. (a) Judit de Fuentes

Jurado

Valencia, 27 agosto del 2007



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



VEREDICTO

Los suscritos, profesora Tony Espinosa, Celeste Fernández y Judit de Fuentes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado Titulado: **"MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL EFLUENTE DE LA P.T.A.R.I. DE LA EMPRESA C.A. DANAVEN SUBDIVISIÓN EJES Y CARDANES, CON LA FINALIDAD DE USAR DICHO EFLUENTE COMO AGUA DE RIEGO DE LA EMPRESA"**, realizado por :

Bravo A. Nestor G. C.I: 15.527.557.

Para optar el título de Ingeniero Químico en la ilustre Universidad de Carabobo hacen constar que han examinado el mismo otorgándole la calificación de:

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Valencia, 27 de agosto del 2007.

Dedicatoria

Este es mi trabajo de grado, el fruto de los esfuerzos de muchísimas personas, porque no sólo fui yo el que luchó duro para llevar a cabo mi sueño. No puedo dedicárselo a otra persona que no sea mi madre, esto es para ti y por ti mamá, gracias por haber sido tan fuerte, por no rendirte nunca y haberme apoyado siempre, gracias por ser tal y como eres y servirme de ejemplo para luchar por los sueños, a ti te dedico este mi más grande logro hasta ahora.

También le dedico mi tesis a mi abuela y mi hermano, a quienes junto a mi madre son la personas más importante para mí y quienes me dan fuerza para trazarme metas en la vida y lograrlas.

A toda mi familia, porque cada vez que necesite de ellos estuvieron allí para darme palabras de aliento para seguir adelante.

Agradecimientos

A Dios el todopoderoso, que ilumina siempre mis pasos por el camino del bien.

A mi madre, quien no solo me dio el don de la vida sino que me permitió crecer como persona y estar hoy en día graduándome.

A mi abuela, quien junto a mi madre han sido mis guías en esta vida.

A mis hermano, por existir y darme una razón más para seguir adelante y triunfar para él.

A mi padre, por haberme dado la vida.

A mis tías, sin quienes no habría podido lograr esta importante meta de mi vida.

A mi tutor el ing. Tony Espinosa, quien me guió a lo largo de este viaje que dio como fruto mi tesis de grado y que siempre estuvo dispuesto a brindarme su ayuda.

A la Universidad de Carabobo, por haberme brindado cobijo en estos años y ser mi casa de estudios.

A la empresa DANAVEN EJES Y CARDANES, por ofrecerme la oportunidad de realizar mi trabajo de grado en sus instalaciones.

A la Ing. Fríen Sosa, el Ing. Elvis Mendoza y la ing. Karina Rodrigues, quienes me brindaron todo su apoyo en la empresa para realizar todas las actividades necesarias y quienes me brindaron su ayuda incondicional.

Al Ing. Pedro Hernández, por ser un ejemplo a seguir como profesional y como persona.

A todos y cada uno de mis profesores, quienes me impartieron los conocimientos que hoy en día me hacen llevar mi título como ingeniero.

A todas y cada una de esas personas que estuvieron a mi lado en esta etapa de mi vida y me ayudaron a seguir adelante.

Nestor Gabriel Bravo Andrade.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
I.1. Descripción del problema.....	3
I.2. Formulación del problema.....	6
I.2.1 Situación actual.....	7
I.2.2 Situación deseada.....	7
I.3. Objetivos de la investigación.....	8
I.3.1 Objetivo general.....	8
I.3.2 Objetivo específicos.....	8
I.4. Justificación de la investigación.....	8
I.5. Limitaciones.....	10
CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL TEÓRICO	11
II.1. Antecedentes de la Investigación.....	11
II.2. Bases Teóricas.....	14
II.2.1 Clasificación de las aguas.....	14
II.2.2 Clasificación de efluentes industriales.....	16
II.2.3 Características que determinan la calidad de un efluente.....	17
II.2.4 Clasificación de los métodos de tratamiento del agua	
Residual.....	18
• Sistema de tratamiento preeliminar.....	18
• Sistemas de tratamiento primario.....	19
- Procesos de coagulación y floculación.....	19
- Mecanismo del proceso de floculación.....	21
- Floculantes empleados en tratamiento de efluentes	
líquidos	21
- Proceso de decantación.....	24
- Estructura de los decantadores.....	24
- Remoción de fósforo.....	25

• Sistemas de tratamiento secundario.....	25
- Procesos Aeróbicos.....	25
- Procesos Anaeróbicos.....	28
- Biodegradabilidad de efluentes industriales.....	29
• Sistemas de tratamiento terciario.....	30
- Tratamientos de desinfección.....	30
- Destrucción bacteriana por desinfección.....	30
- Medios de desinfección.....	31
• Tratamiento y disposición de lodos.....	32
- Filtración a presión.....	33
II.2.5 Herramientas para la gestión de la calidad.....	33
• Recolección de datos.....	34
- Concepto.....	34
- Uso.....	35
- Otros nombres.....	35
- Procedimiento.....	35
• Lluvia de ideas.....	35
- Concepto.....	35
- Uso.....	36
- Otros nombres.....	36
- Procedimiento.....	36
• Diagrama de Ishikawa	36
- Concepto.....	36
- Uso.....	36
- Otros nombres.....	37
- Procedimiento.....	37
• Matriz de relación	38
- Concepto.....	38
- Uso.....	38
- Otros nombres.....	38

- Procedimiento.....	38
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	40
III.1. Tratamiento preeliminar.....	40
III.1.1 Trampa de grasas y aceites.....	40
III.1.2 Unidad de igualación y concentración.....	41
III.2. Tratamiento primario.....	41
III.2.1 Unidad de coagulación.....	42
III.2.2 Unidad de floculación.....	42
III.2.3 Unidad de sedimentación primaria.....	43
III.2.4 Unidad de precipitación de fósforo.....	43
III.2.5 Unidad de recarbonatación.....	44
III.3. Tratamiento secundario.....	44
III.4. Tratamiento terciario.....	45
III.4.1 Unidad de cloración.....	45
III.5. Tratamiento y disposición de lodos.....	46
III.5.1 Tanque de lodos.....	46
III.5.1 Filtro prensa.....	46
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO.....	48
IV.1. Determinación de las condiciones de operación en cada una de las etapas de la planta de Tratamiento.....	48
IV.2. Determinación de las etapas poco eficientes del proceso de Tratamiento.....	49
IV.3. Propuestas de alternativas para la mejora de la P.T.A.R.I.....	50
IV.4. Evaluación de las alternativas concebidas con el propósito de seleccionar de la alternativa ambiental, técnica y económicamente más conveniente.....	52
IV.5. Estimación de la relación beneficio/costo de la propuesta seleccionada, con la finalidad de determinar la factibilidad de su implementación.....	55
CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	57
V.1. Determinación de las condiciones de operación en cada una de las etapas de la planta de Tratamiento.....	57
V.2. Determinación de las etapas poco eficientes del proceso de Tratamiento.....	60
V.3. Propuestas de alternativas para la mejora de la P.T.A.R.I.....	65



V.4. Evaluación de las alternativas concebidas con el propósito de seleccionar de la alternativa ambiental, técnica y económicamente más conveniente.....	71
V.5. Estimación de la relación beneficio/costo de la propuesta seleccionada, con la finalidad de determinar la factibilidad de su implementación.....	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
APÉNDICES	85
A. Modelos matemáticos.....	85
B. Cálculos típicos.....	91
C. Gráficas y tablas de propiedades.....	105
D. Resultados de la caracterización de la planta de tratamiento.....	108
E. Formatos FTR-01 y CLA-01.....	113
F. Fotografías de la Planta de Tratamiento.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	PÁGINA
1.1	Diagrama de flujo de la P.T.A.R.I de la empresa c.a. Danaven subdivisión Ejes Y Cardanes.....	4
2.1	Mecanismos de coagulación y floculación.....	23
2.2	Curva de demanda de cloro y punto de quiebre en el proceso.....	32
2.3	Construcción del diagrama causa-efecto (paso 1).....	37
2.4	Construcción del diagrama causa-efecto (paso 2).....	38
3.1	Diagrama de tuberías e instrumentación de la P.T.A.R.I. de la empresa Danaven subdivisión Ejes Y Cardanes.....	47
5.1	Diagrama Causa-efecto.....	63
5.2	Cono Imhoff.....	70
5.3	Filtro de Arena y Carbón activado.....	70
B.1	Medidas de la sección transversal del tanque de coagulación diseñado.....	92
B.2	Dimensiones del tanque de coagulación diseñado.....	93
B.3	Medidas de la sección transversal del tanque de floculación diseñado.....	96
B.4	Dimensiones del tanque de floculación diseñado.....	96
B.5	Medidas de la sección transversal del tanque de precipitación de fósforo diseñado.....	99
B.6	Dimensiones del tanque de tanque de precipitación de fósforo diseñado.....	100
C.1	Coficiente característico de impulsores.....	107
D.1	Constancias de los resultados emitidos por el laboratorio encargado de la caracterización de la planta.....	111
D.2	Constancias de los resultados emitidos por el laboratorio encargado de la caracterización de la planta (continuación).....	112
F.1	Formato CTR-01 para el control del tratamiento biológico.....	114
F.2	Formato CLA-01 para el control del tratamiento biológico.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)

FIGURA	CONTENIDO	PÁGINA
F.1	Tanque de igualación de la P.T.A.R.I.....	119
F.1	Tanques de tratamiento físico-químico de la P.T.A.R.I. y su correspondiente sedimentador primario	119
F.3	Tanque de precipitación de fósforo de la P.T.A.R.I.	120
F.4	Sedimentador primario del tanque de precipitación de fósforo de la P.T.A.R.I.....	120
F.5	Sistema de tratamiento biológico de la P.T.A.R.I.....	121
F.6	Sistema de dosificación de cloro de la P.T.A.R.I.....	122
F.7	Filtro prensa de la P.T.A.R.I.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	CONTENIDO	PÁGINA
2.1	Clasificación de los efluentes industriales.....	16
2.2	Alteraciones físicas del agua.....	17
2.3	Alteraciones químicas del agua (continuación).....	18
2.4	Criterio de biodegradabilidad.....	29
2.5	Ejemplo de Matriz de Selección.....	39
4.1	Ponderación parcial de cada uno de los criterios empleados para el uso de la matriz de selección.....	54
4.2	Matriz de selección para la elección de la alternativa para ajustar los parámetros a la salida de la planta de tratamiento de acuerdo con los decretos ambientales actuales.....	55
5.1	Resultados del análisis físico-químico realizados a las diferentes muestras tomadas en las diferentes partes de la P.T.A.I.R.....	58
5.2	Resumen comparativo entre los valores obtenidos en la caracterización de la P.T.A.R.I. y los decretos ambientales 3219 y 883.....	60
5.3	Eficiencia de las distintas etapas del proceso llevado a cabo en la P.T.A.R.I.....	61
5.4	Ponderaciones de cada criterio evaluado en las alternativas para ajustar los parámetros de la P.T.A.R.I.....	72
5.5	Matriz de selección para la elección de la alternativa para ajustar los parámetros a la salida de la planta de tratamiento de acuerdo con los decretos ambientales actuales.....	77
C.1	Propiedades del agua líquida.....	106
D.1	Resumen de las mediciones de caudal realizadas a la planta de tratamiento.....	109
D.2	Características del efluente dentro del reactor biológico.....	109
D.3	Datos del muestreo realizados necesarios para la caracterización de la planta de tratamiento.....	110



SUMARIO

El objetivo general de esta investigación consistió en realizar una propuesta técnica para disminuir la carga contaminante de los efluentes líquidos de la empresa Dana C.A., subdivisión Ejes y Cardanes, ya que en la actualidad por el incremento de la carga orgánica en todo el proceso de tratamiento, la planta de tratamiento no es capaz de acondicionar el efluente de la manera deseada, esto se realiza con la finalidad de adecuarse a la normativa ambiental vigente referente a la calidad del agua según el uso para el cual se desea utilizar, en este caso para riego de áreas verdes, como son: “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, decreto 883” conjuntamente con las referente a vertidos líquidos Normas para la clasificación y control de vertidos líquidos en la Cuenca del Lago de Valencia, decreto 3219”.

La metodología usada consistió, en la familiarización con el proceso de tratamiento de efluente así como un conocimiento general de los procesos llevados a cabo en la empresa que genera el efluente que va a la planta de tratamiento. Luego se contrató un laboratorio para que realizara la caracterización de planta y así poder determinar las características físico-químicas de dicho efluente. Los resultados de dichos análisis arrojaron parámetros por encima de los máximos valores permitidos, siendo el DBO₅, DQO y los niveles de Nitrógeno los más elevados.

Por tal razón se buscó la fuente que esta generando tal problema, para lo cual se realizaron entrevistas y tormentas de ideas con el personal que labora en la planta, luego con los resultados de la caracterización y la información recaudada en la planta, se realizó un diagrama de causa-efecto para organizar y estudiar de manera ordenada cada una de las hipótesis generadas, así se encontró que las causas que estaban generando las discrepancias estaban contenidas en su totalidad en las ramas de metodología y maquinarias del diagrama causa-efecto realizado.

Las correcciones propuestas para corregir las fallas antes detectadas consistieron en la remodelación de los tanques de coagulación-floculación y de precipitación de fósforo, incluyendo los agitadores que en dichos tanques se encuentran los cuales también fueron rediseñados; la implementación de una propuesta para construir una nueva



trampa de grasas hecha por una empresa contratada para tal fin y que no se ha implementado, la adecuación y sondeo del sistema de recarbonatación y de la concentración de las bacterias en el lodo activado, para ello se crearon los formatos CTR-01 y CLA-01; y finalmente se planteo la instalación de un filtro de arena y carbón activado a la salida del tratamiento de desinfección con cloro.

Tres alternativas surgieron de la combinación de cada una de las propuestas anteriores, toda ellas generadas de manera tal que se lograran corregir la mayor cantidad posible de los parámetros bajo estudio. Usando una matriz de selección se escogió la primera alternativa como la propuesta a implementar, debido a que fue la que mayor puntuación obtuvo al valorar cada alternativa en cada aspecto evaluado. El costo de implementación de dicha alternativa es de US \$ 30854,41 y genera una beneficio intangibles para el medio ambiente y los seres vivos que habitan en la cuenca del lago de Valencia donde va a parar parte del agua tratada y un ahorro monetario por concepto de agua de riego de 3586,128 US \$ anuales, por lo que la relación costo beneficio que se puede calcular resulta de 1,16; tardando 8 años y 7 meses en retribuir la inversión realizada.

Las recomendaciones más relevantes son: implementar la alternativa seleccionada a la brevedad posible, reparar el soplador dañado en uno de los rectores, evitar la entrada de aguas negras provenientes del comedor a la planta de tratamiento y finalmente, cuando se implemente la alternativa propuesta en este trabajo, estudiar la posibilidad de usar el agua tratada en las maquinarias de la empresa.



SUMMARY

The general mission of this investigation consisted of making a technical proposal to diminish the polluting load of the liquid effluents of the company Dana C.A., subdivision Axes and Cardan joints, since at the present time by the increase of the laid-down load in all the process of treatment, the treatment plant is not able to prepare the effluent of the wished way, this is made with the purpose of adapting itself to the effective environmental norm referring to the quality of the water according to the use for which it is desired to use, in this case for irrigation of green areas, as they are: "Norms for the classification and the liquid control of the quality of the water bodies and spills or effluents, decree 883" jointly with referring to liquid spills the Norms for the classification and control of liquid spills in the River basin of the Lake of Valencia, decree 3219". The used methodology consisted, in the familiarisation with the process of treatment of effluent as well as a general knowledge of the carried out processes in the company that generates the effluent that goes to the treatment plant. Soon a laboratory was contracted so that it made the plant characterization and thus to be able to determine the characteristics physical-chemistries of effluent saying. The results of these analyses threw parameters over the maximum allowed values, being the most elevated the Nitrogen DBO5, DQO and levels.

By such reason looked for source that this generating such problem, for which interviews and storms of ideas with the personnel were made who toils in the plant, soon with the results of the characterization and the information collected in the plant, was made an cause-effect diagram to organize and to study of ordered way each one of the generated hypotheses, therefore it was that the causes that were generating the discrepancies the methodology branches of and machinery of the diagram were contained in their totality in made cause-effect.

The corrections propose to correct the faults before detected consisted of the remodeling of the tanks of coagulation-flocculation and phosphorus precipitation, including the agitators who in these tanks are which also were redesigned; the implementation of a proposal to construct a new fat trap made by a company contracted for such aim and that it has not been implemented, the adjustment and sounding of the



system of recarbonatación and the concentration of the bacteria in activated mud, for it were created formats CTR-01 and CLA-01; and finally I consider the installation of a filter of sand and activated charcoal when coming out of the treatment of disinfection with chlorine.

Three alternatives arose from the combination of each one of the previous proposals, all generated they of way so that they were managed to correct the greater possible amount of the parameters under study. Using a selection matrix the first alternative like the proposal was chosen to implement, because she was the one that greater score obtained when valuing each alternative in each evaluated aspect. The cost of implementation of this alternative is of intangible U.S. \$ 30854.41 and generates a benefit for environment and the alive beings who live in the river basin of the lake of Valencia where is going to stop part of the water treated and a monetary saving by concept of water of 3586.128 irrigation of U.S. annual \$, reason why the relation cost benefit that can be calculated is from 1,16; taking 8 years and 7 months in repaying the made investment.

The most excellent recommendations are: to implement the alternative selected to the possible brevity, to repair the blower damaged in one of the directors, to avoid the originating black water entrance from the dining room to the treatment plant and finally, when the propose alternative in this work is implemented, to study the possibility of using the water treated in the machineries of the company.



INTRODUCCIÓN

En Venezuela así como en muchos otros países, el progreso y los avances tecnológicos logrados por el hombre, han contribuido enormemente a la degradación de los recursos hídricos, sin embargo en los últimos años las industrias han adoptado políticas ambientales con el fin de mejorar la calidad de los efluentes que son descargados a los cuerpos de agua.

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de realizar una propuesta técnica para disminuir la carga contaminante de los efluentes líquidos de la empresa Dana C.A., subdivisión Ejes y Cardanes.

Inicialmente se llevan a cabo inspecciones y recorridos en planta, con la finalidad de establecer los parámetros críticos del efluente y posteriormente seleccionar los puntos de monitoreo. Seguidamente se realiza el muestreo y se determinan los parámetros físicos y químicos mediante un laboratorio externo, luego se identifican las causas que originan el aumento en los valores de los parámetros estudiados. Se propone como alternativa, un sistema de filtración que permita disminuir la cantidad de sólidos presentes en el sistema fosa – torre de enfriamiento.

Con el propósito de facilitar la comprensión de esta investigación, se estructuró de la siguiente forma: en el primer capítulo se presenta la situación objeto de estudio con una breve presentación de los procesos que conforman el proceso de tratamiento, seguidamente se describe mediante la formulación del problema la situación actual y deseada de la empresa, los objetivos planteados, la justificación de la investigación y finaliza con las limitaciones. En el capítulo dos se presenta un resumen de las investigaciones realizadas en el área, las cuales sirven de base y orientación para el avance de esta investigación, así como las bases teóricas necesarias para la comprensión y desarrollo de la misma. El capítulo tres describe el proceso de tratamiento que se lleva a cabo en la planta. El cuarto capítulo muestra de forma detallada la metodología utilizada para el desarrollo y logro de los objetivos planteados en la



investigación. El capítulo cinco expone en forma clara y pormenorizada, los resultados obtenidos en el desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos en esta investigación, así como su respectivo análisis y discusión. Adicionalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones más relevantes obtenidas durante el desarrollo de la investigación. Finalmente se incluyen aquellos apéndices que respaldan los resultados obtenidos, tales como modelos matemáticos, cálculos típicos, gráficas y tablas de propiedades, resultados de la caracterización de la planta, los dos formatos propuestos y algunas fotos de la P.T.A.R.I.

Para la empresa Dana C.A., la implantación de nuevas tecnologías y estrategias en procura de la mejora del ambiente, son parte importante de las políticas que ha adoptado la misma en los últimos años, ya que ésta posee la certificación ISO 14000, lo cual evidencia su alto nivel de compromiso para disminuir el impacto ambiental producto de sus procesos productivos. Por tanto esta investigación aporta conocimientos para el mejoramiento de los procesos, así como la calidad del ambiente, lo cual permite reducir costos, suministrando alternativas acordes para solucionar para la resolución de problemas en el área de tratamiento de efluentes.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En ésta sección se proporciona todo lo concerniente al problema bajo estudio, con la descripción y formulación, especificando la situación actual, así como también la situación donde se pretende llegar, los objetivos tanto general como los específicos además de las justificaciones para realizar dicho estudio y las limitaciones presentes en nuestra investigación.

I.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa DANA CORPORATION es una transnacional que tiene sedes en varios países del mundo, Venezuela es uno de estos tantos países en los cuales se encuentra esta importante compañía, la cual tiene subdivisiones tanto en la ciudad de Maracay, estado Aragua como en la ciudad de Valencia estado Carabobo. Esta corporación se encarga de fabricar y manufacturar componentes y sistemas automotrices que distribuye tanto a nivel nacional como internacional. Esta estructurada como: Corporación, Structural Solutions, System Integrations, Tuboauto y Traction Technologies (Ejes y Cardanes). Todas estas subdivisiones ofrecen productos elaborados para ser comercializados directamente, así como también productos intermedios que son utilizados por las otras subdivisiones.

DANA Venezuela es las más grande exportadora en su ramo, es el mayor fabricante de autopartes del país y de la región andina. Se caracteriza por ofrecer productos de muy alta calidad y excelentes servicios.

Esta empresa se caracteriza por preocuparse por el bienestar ambiental del entorno que lo rodea, así la subdivisión Traction Technologies (Valencia-Carabobo) posee dentro de sus instalaciones una planta de tratamiento de aguas residuales industriales (P.T.A.R.I.). Dicha planta se encarga de acondicionar los efluentes que generan tanto dicha subdivisión como también los que generan la subdivisión de Structural Solutions y de la empresa Forjas. Dichos efluentes llegan hasta la planta de

tratamiento de aguas residuales industriales por medio de cisternas que vierten su contenido dentro de una trampa de grasa común donde se encuentran y mezclan los 3 afluentes; el acondicionamiento de esta masa de aguas residuales se lleva a cabo a través de una serie de pasos en cada uno de los cuales se le aplica al efluente tratamientos de diferentes naturalezas (ver figura 1.1).

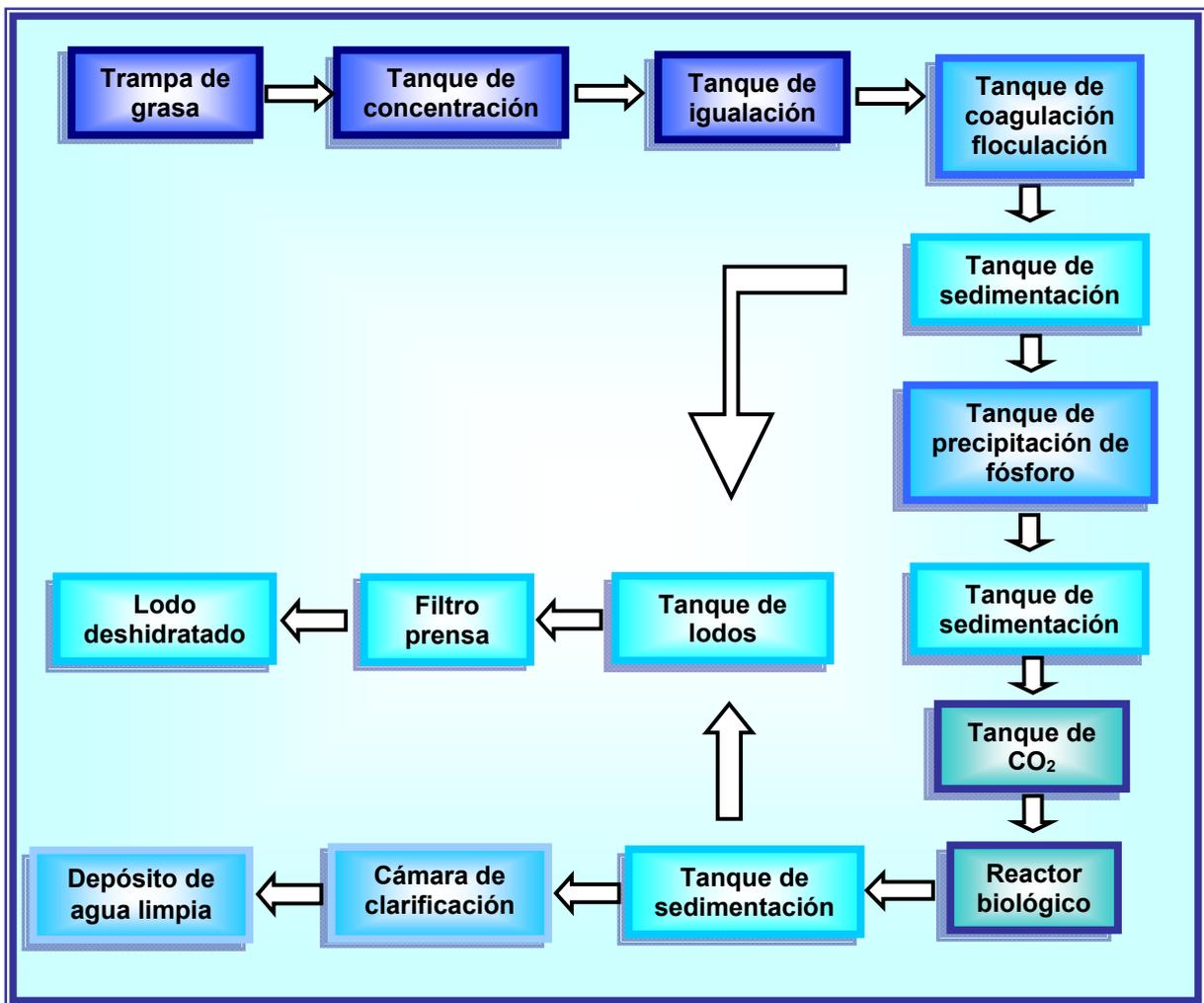


FIGURA 1.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA P.T.A.R.I DE LA EMPRESA C.A. DANA SUBDIVISIÓN EJES Y CARDANES

El efluente recibido se hace pasar a un tanque de concentración y posteriormente a uno de igualación donde se homogeniza dicha corriente, posteriormente con la ayuda de bombas se lleva hasta los tanque de coagulación-floculación en un tanque dividido en dos partes: en la primera se trata el líquido con sulfato de aluminio con la finalidad de lograr la coagulación además se agrega cal hidratada lográndose la precipitación de metales pesados en forma de sales, luego se hace pasar el contenido de esta sección a la siguiente en donde se agrega otra dosis de cal hidratada y un polímero aniónico que hace que se logre una buena floculación; esto se lleva a cabo bajo una agitación continua. Inmediatamente se pasa al primer tanque de sedimentación, en donde se depositan la mayor parte de las partículas producidas en la etapa anterior, el sobrenadante se pasa a un tanque de precipitación de fósforo y tiene una agitación continua y rápida para lograr que la mayor cantidad posible de precipitado. El agua superficial se pasa al segundo tanque de sedimentación para asegurar que todo el material floculado que pudo quedar del primer sedimentador y precipitado, se quede en él.

Posteriormente se hace pasar a un tanque donde se le inyecta dióxido de carbono, luego a la etapa biológica del proceso, la cual se lleva a cabo en dos reactores biológicos que operan en paralelo los cuales contienen lodos activados, éstos están provistos de grandes cantidades de bacterias del tipo aeróbicas haciéndose necesario la inyección de oxígeno dentro del reactor biológico, se disponen de tubería que transportan aire comprimido hasta el fondo del reactor burbujeando constantemente el mismo. A continuación se encuentra otra unidad sedimentadora de un tamaño menor a las antes citadas, la cual se encarga de remover el lodo que pueda ser arrastrado por la corriente del afluente. Seguidamente se tienen los tratamientos terciarios, el efluente que pasa desde el tercer tanque sedimentador es pasado a una cámara de cloración, en donde se le incorpora al efluente porciones debidamente dosificadas de una solución de cloro líquido, el producto final (agua tratada) se vierte en canales que lo envían al lago de Valencia.



Cabe destacar que el agua que se está obteniendo de todo el proceso de tratamiento a simple vista se observa que no es limpia, ya que presenta una coloración amarillenta y gran cantidad de espuma, pudiéndose inferir que dicho efluente no cumple con los estándares establecidos en el decreto 3219 de las Normas sobre la Clasificación y Control de la Calidad de las Aguas en la Cuenca del Lago de Valencia para las aguas que se vierten en canales que van a dicho lago ni tampoco con las que se especifican para poderse usar como agua de riego de áreas verdes de dicha planta pues éstas son mucho más rigurosas en cuanto a las especificaciones fisicoquímicas, pues dicha planta de tratamiento se diseñó para llevar las características del efluente a la salida para cumplir con las normas necesarias para verterlo en dichos canales y para poder usarlo para riego dentro de la planta se necesita un proceso de tratamiento mucho más riguroso.

Teniendo en cuenta esta situación y en la búsqueda de un producto de mejor calidad, se plantea la mejora de algunos equipos, condiciones en la operación de la planta de tratamiento, así como la posible instalación de nuevos equipos, buscando ajustar la eficiencia global del proceso de manera tal de obtener una relación inversión-agua tratada usada para el riego que sea la más conveniente tanto con el medio ambiente como para la empresa.

I.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La planta de tratamiento donde se lleva a cabo esta investigación está ubicada en la empresa DANAVEN subdivisión EJES Y CARDANES (valencia-Carabobo). Dicha planta además de tratar las aguas residuales que ellos mismos producen, tratan también las aguas que envía otras subdivisiones *Structural Solutions* y *Heavy Solutions*, y la empresa *Forjas*.

En esta sección se presenta la manera en la cual se encuentra de la P.T.A.R.I. actualmente las cuales no son ni las esperadas según su diseño ni tampoco las deseadas para usar el fluente como riego, para ello se proponen alternativas para llegar a la solución del problema y alcanzar una situación óptima, a través de la propuesta de

mejoras y/o instalación de nuevos equipos, mas no necesariamente implementándolos y evaluándolos.

I.2.1 SITUACIÓN ACTUAL

En la P.T.A.R.I. no se realiza ningún tipo de adecuaciones o pretratamiento a las aguas residuales industriales depositadas en el tanque de concentración, por ende al enviar el agua sin tratamiento previo a dicho tanque causa alteraciones en el sistema biológico: el lodo activado se deteriora pues tiene que soportar una carga de agentes que se suponen deberían haber sido eliminados aguas arriba y que no se retiraron por la fallas de algunos equipos , el pH aumenta demasiado y se presenta una gran cantidad de nitrógeno.

Si continua esta situación llegará un momento en que la planta de tratamiento de aguas residuales industriales deje simplemente de funcionar debido a las condiciones actuales deterioran las propiedades requeridas para un buen tratamiento. Adicionalmente, la empresa está invirtiendo grandes cantidades de dinero en agua potable, que entre sus tantos usos está el de regar las áreas verdes de la misma, como éstas son muy extensas, demandan un alto porcentaje del agua adquirida para tal, representando esto una inversión innecesaria pues si se adecúa dicha planta se podría usar el efluente de salida para tal uso en lugar de verterlo al canal.

I.2.2 SITUACIÓN DESEADA

Es importante para la empresa cumplir con las propiedades requeridas para una planta de tratamiento según el decreto 3219 de las Normas sobre la Clasificación y Control de la Calidad de las Aguas en la Cuenca del Lago de Valencia, así mismo con el decreto ambiental 883. Para cumplir gran parte, es necesario aplicar un tratamiento previo a los tanques donde es depositado el efluente que se va tratar. Esta investigación tiene como objetivo encontrar la mejor propuesta para el mejoramiento de la planta, realizando una matriz de comparación para lograr los mejores métodos de adecuación.



I.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.3.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar las propiedades físico-químicas del efluente de la P.T.A.R.I. de la empresa C.A. DANA VEN subdivisión EJES Y CARDANES, con la finalidad de usar dicho efluente como agua de riego de la empresa.

I.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las condiciones de operación en cada una de las etapas de la planta con el fin de conocer la situación actual de la misma.
2. Identificar las etapas poco eficientes del proceso de tratamiento, con la finalidad de encontrar las variables que afecten su funcionamiento de manera significativa.
3. Proponer alternativas para acondicionar la P.T.A.R.I. con el objetivo de ajustar los parámetros fisicoquímicos del agua de salida acorde con los decretos ambientales 3219 y 883.
4. Evaluar las alternativas concebidas con el propósito de seleccionar la propuesta ambiental, técnica y económicamente más conveniente.
5. Estimar la relación beneficio/ costo de la(s) propuesta(s) con la finalidad de determinar su factibilidad de implementación.

I.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación es de gran importancia de tipo social y ambiental, ya que busca la disminución de la contaminación que se pudiera estar causando al medio ambiente que rodea a la empresa y más allá de él, ya que se pretende disminuir la



cantidad de materia orgánica tanto biodegradable como no biodegradable, reutilizar el agua a la salida de la misma, así como también cierto tipo de sustancias que puedan estar en el efluente y que puedan poner en peligro el ecosistema.

DANAVEN Ejes y Cardanes se preocupa por la preservación de los recursos naturales y el mejoramiento del medio ambiente pues se encuentra dentro de una zona que se puede considerar como frágil debido al grado de contaminación que presenta el Lago de Valencia, por tal razón se hace indispensable el tratamiento de la aguas residuales que dicha empresa produce.

Adicionalmente esta investigación busca aminorar los costos de mantenimiento y operación de la planta de tratamiento, rebuscando disminuir al mínimo las pérdidas por compra de agua potable que se usa como riego para las áreas verdes, los desperdicios de productos químicos en el uso del tratamiento fisicoquímico, de acciones correctivas que pudieran evitarse, así como también la posibilidad de ajustar la planta para que trabaje de acuerdo al volumen de efluente que se requiera acondicionar. Por otra parte, los autores de este trabajo como futuros Ingenieros Químicos utilizarán los conocimientos adquiridos a lo largo de su desarrollo, para aportar las soluciones más acertadas que vayan de la mano con la ética que debe caracterizar a todo ingeniero.

El carácter práctico del estudio se sustenta en que la empresa está invirtiendo mucho dinero no solo en la P.T.A.R.I., con el fin de adecuar las propiedades del efluente, para el producto final no posea las características esperadas, sino también en la compra innecesaria de agua que se pudiera reutilizar de dicha planta si funcionada de una manera mucho más eficiente, obligando a la empresa a recuperar la inversión realizada en otra área lo cual pudiera afectar los precios de sus productos o la cantidad de horas laborales que les pueda ofrecer a sus empleados.

Al culminar esta investigación se pretende sustentar los conocimientos ya adquiridos durante el transcurso de la carrera universitaria en el área de tratamiento de aguas residuales, profundizando además en lo concerniente al diseño e implementación de una planta destinada a tal fin. Se pretende también aumentar la documentación actual de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo, pues el mismo es de gran relevancia en nuestros días con el crecimiento de la demanda de este tipo de estudios e implementación a nivel mundial, ya que no solo las empresas



sino también los gobiernos se han percatado de lo importante que es conservar el medio ambiente que los rodea.

I.5. LIMITACIONES

El presente trabajo de investigación tiene como limitación, el hecho de que la empresa no posea un laboratorio para realizar los análisis físico-químicos requeridos, careciendo de equipos, reactivos e instrumentos que faciliten el estudio de tratabilidad de sus efluentes en sus instalaciones. Razón por la cual, se hace necesario realizar dichos análisis mediante terceros. Por otra parte, el hecho de que los análisis no sean realizados directamente en la empresa, condicionan el tiempo estipulado de la investigación a la capacidad de respuesta del tercero, pudiendo ocasionar retrasos en la planificación.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

En este capítulo se presenta de manera sintetizada las investigaciones teóricas realizadas en el campo concerniente al trabajo bajo estudio, que sirven de base, documentación y soporte para la comprensión, análisis y búsqueda de alternativas a las deficiencias del tratamiento del efluente de la empresa DANA VEN EJES Y CARDANES.

II.1 ANTECEDENTES

En esta sección se presentan algunas investigaciones nacionales e internacionales hechas en el área de tratamiento de aguas residuales, las cuales sirven como referencia para una mejor interpretación del trabajo a realizar, lográndose establecer semejanzas y diferencias entre los mismos.

Pineda, Alicia (2005). **Estudio del tratamiento de un agua con alto contenido en silicatos de zirconio mediante Microfiltración y Ultrafiltración**. Universidad Politécnica de Valencia. Dpto. de Ingeniería Química y Nuclear.

En la presente Tesis Doctoral se ha estudiado la viabilidad del tratamiento de un agua residual con alto contenido de silicatos de zirconio, procedente de una industria de procesado de sólidos, mediante la combinación de los procesos de Microfiltración y Ultrafiltración, con la finalidad de generar un agua con las características adecuadas para ser reutilizada dentro del proceso industrial cerámico. En los ensayos realizados se observó que la calidad del agua obtenida es adecuada para su utilización en el tratamiento, ya que la caracterización del filtrado obtenido muestra que no existe presencia de silicatos de zirconio en el agua; sin embargo, para optimizar este pretratamiento se realizaron ensayos con distintos protocolos de limpieza, llevando a cabo limpiezas periódicas en cada ensayo, y de esta manera prolongar el tiempo de vida media de la membrana de Microfiltración.



Este antecedente se asemeja al trabajo en desarrollo pues en ambos casos de plantea la necesidad de tratar cuerpos de agua que poseen agentes contaminantes que son dañinos tanto para el medio ambiente como para la salud de los seres vivos. La diferencia principal radica en el tipo de investigación pues ésta es del tipo doctoral lo que implica una mayor profundidad además también se distingue por el material que se desea remover así como también del método utilizado para tal fin.

Valencia, Virginia. (1.999). **Ampliación y mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Efluentes industriales de la empresa Owens-Illinois.** Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

El objetivo perseguido por éste proyecto es el de rediseñar los procesos y equipos de la planta de tratamiento de efluentes industriales de una empresa productora de vidrio, con el fin de suplir los requerimientos y necesidades actuales de capacidad y calidad del agua tratada que presenta la misma.

La semejanza que presenta ésta investigación con el presenta trabajo, se encuentra en los criterios de ingeniería básica de diseño que utilizaron para evaluar las distintas unidades que conforman la planta de tratamiento y de esta forma generar las alternativas necesarias para el buen funcionamiento de la misma. La diferencia entre los trabajos mencionados, radica principalmente en el tipo de empresa y el efluente que la misma genera.

Ortega, José y Vázquez, Nelly. (1.985). **Diseño de un sistema de tratamiento de aguas industriales servidas de la industria agraria.** Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

El objetivo perseguido con la realización de ésta investigación fue la selección y diseño de los equipos e instalaciones requeridos para el tratamiento de los residuos líquidos de una planta productora de glicerina y ácidos grasos basándose en desechos



industriales (Soapstock: residuo jabonoso originado en el proceso de refinación de aceites)

Este antecedente se asemeja al trabajo en desarrollo pues en ambos casos de plantea la remoción de agentes contaminantes de cuerpos de aguas de origen industrial. La diferencia radica en que éste antecedente plantea la creación de una planta y el trabajo presentado sólo la adecuación de una ya existente.

Fuentes, Y., Marvez, S. (2002). **Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa productora de tubos de acero al carbono.** Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Este trabajo tuvo como finalidad la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la cual se generan efluentes con características variables, producto de procesos de desengrase, decapado, fosfatizado y agua de enjuague en sus diferentes líneas de producción. Sobre la base de que la mayor problemática la representa y el hecho de que la planta sólo puede tratar un caudal de 3L/s de efluente, se concluyó en este trabajo que se debe aumentar su capacidad colocando un sedimentador adicional.

La similitud de esta referencia con el trabajo en desarrollo radica en que ambos tratan sobre una mejora del proceso de tratamiento de aguas residuales en empresas del tipo metalmecánica. La diferencia con esta nueva investigación está en que el proceso de tratamiento que se le da al efluente es distinto así como también la metodología a utilizar para el logro de los objetivos.

Guglielmetti, Daniel (2001). **Mejora de una planta de tratamiento de efluentes proveniente de una planta cartonera.** Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

El objetivo principal de este trabajo es el de mejorar el proceso de tratamiento de los efluentes industriales provenientes de una empresa cartonera. Los resultados y conclusiones obtenidas en esta investigación, corresponden al nuevo sistema de pretratamiento para efluentes que contienen almidón que ayudan a que el mismo pueda ser vertido en tambores; también plantea el uso del producto ULTRAFLOC A714 en una concentración de 2 ppm para una reducción de hasta un 75.92% en los costos de operación.

Este antecedente presenta similitud con la investigación a desarrollar ya que en ambos se plantean la mejora del proceso de tratamiento de aguas residuales en las cuales se cuentan con tratamientos tanto fisicoquímicos como biológicos estudiando la influencia del tipo de contaminantes presentes en el efluente. La diferencia entre ambas investigaciones reside en que el tipo de industria de la cual proviene el efluente es completamente distintas.

II. 2 BASES TEÓRICAS

El agua es destinada a múltiples usos, entre los que se pueden señalar: aguas para uso doméstico, aguas de riego y con fines pecuarios, aguas para uso industrial que de acuerdo a sus requerimientos puede ser potable o no, entre otros. Es fundamental controlar la calidad del agua, para lo cual es necesario poseer un conocimiento previo de sus características y de la naturaleza del agua residual, así como de las normas que rigen la calidad de los efluentes líquidos que se descargan en los cuerpos de agua, para así establecer un tratamiento adecuado. A continuación se describen de manera breve las características del agua, los principales métodos de tratamiento y demás conceptos bajo los cuales se argumenta esta investigación.

II.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS

Según lo descrito en el capítulo II del Decreto 883 de la Ley Orgánica del Ambiente, las aguas se clasifican en:

Tipo 1 Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.

Las aguas del tipo 1 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

Sub tipo 1A:

Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.

Sub tipo 1B:

Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.

Sub tipo 1C:

Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.

Tipo 2 Aguas destinadas a usos agropecuarios.

Las aguas del Tipo 2 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

Sub tipo 2A:

Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.

Sub tipo 2B:

Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.

Tipo 3 Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.

Tipo 4 Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.

Las aguas del Tipo 4 se desagregan en los siguientes subtipos:

Sub Tipo 4A: Aguas para el contacto humano total.

Sub Tipo 4B: Aguas para el contacto humano parcial.

Tipo 5 Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.

Tipo 6 Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.

Tipo 7 Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente [Decreto 883 de la Ley Orgánica del Ambiente].

II.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES

De acuerdo al tipo de industria se producen diferentes tipos de residuos tanto líquidos, como sólidos, se clasifican de acuerdo al carácter del efluente, tipo de agua residual, tipo de carga contaminante y con esta información es posible establecer un posible tratamiento a aplicar, a continuación se muestra la clasificación:

TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES

Carácter del Efluente	Tipo de Agua Residual	Tipo de Carga Contaminante	Posible Tratamiento a Aplicar
Inorgánico Dominante	Lavado de las canteras, industrias siderúrgicas, industrias químicas minerales (pigmentos, abonos), etc.	Material sólido en suspensión o de sales minerales o disueltas	Físico-químicos como la decantación, flotación y tratamientos químicos como neutralizaciones para corregir el pH.
	Industrias metalmecánica.	Iones CN^- , Cr^{+2} , Cr^{+4} , Cr^{+6} y sales de metales pesados: Cu, Ni, Pb, Hg	Tratamientos de oxidación, de precipitación o de intercambio iónico.
Orgánico Dominante	Mataderos, industria lechera, centrales azucareras, destilerías, cervecerías.	Desechos vegetales y animales, grasas, proteínas, etc.	Biológico, previamente pasada por tamices, decantadores y flotación. Tratamientos físico-químicos combinados con precipitación química.
Mixto	Industrias textiles, papelera, petroquímica, farmacéutica, y mecánicas.	Algunos de sus constituyentes son fácilmente biodegradables. Se constituyen en aceites solubles hidrocarburos, tensoactivos, colorantes y sólidos en suspensión.	Biológico, aportando fuentes de nitrógeno y fósforo. Es indispensable controlar las concentraciones en tóxicos e inhibidores

FUENTE: ORUE, 1984

II.2.3 CARACTERÍSTICAS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DE UN EFLUENTE

Las características del agua se clasifican en físicas, químicas y biológicas; las características físicas más importantes son: color, olor, temperatura, sólidos en todas sus formas (sedimentables, materia coloidal y materia disuelta) y la conductividad.

Las características químicas se dividen en orgánicas e inorgánicas; los parámetros DBO, DQO y grasas corresponden a las características orgánicas, los componentes inorgánicos son: Alcalinidad, cianuro, metales pesados, pH, oxígeno disuelto, nitrógeno y fósforo, las características biológicas no serán descritas, debido a que no son de interés en el desarrollo de esta investigación. A continuación se muestra en las tablas 2.2 y 2.3 las alteraciones de cada una de los parámetros anteriormente mencionados [Fundamental, 2004].

TABLA 2.2 ALTERACIONES FÍSICAS DEL AGUA

Alteraciones físicas	Características y contaminación que indica
Color	El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen; en general, no se puede establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.
Temperatura	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción.
Materiales en suspensión	Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación.
Espumas	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
Conductividad	El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C

FUENTE: FUNDAMENTAL, 2.004

TABLA 2.3 ALTERACIONES QUÍMICAS DEL AGUA (CONTINUACIÓN)

Alteraciones químicas	Contaminación que indica
pH	Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.
Oxígeno disuelto (OD)	Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	Es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido)
Nitrógeno total	Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal.
Cationes: Sodio, Calcio, Magnesio y Amonio	indica salinidad están relacionados con la dureza del agua contaminación con fertilizantes y heces
Compuestos orgánicos	Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc.) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos.

FUENTE: FUNDAMETAL, 2.004

II.2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

◆ SISTEMA DE TRATAMIENTO PREELIMINAR

Estos sistemas tienen por finalidad separar sustancias extrañas, amortiguar las descargas no controladas, separar los sólidos sedimentables inorgánicos y

homogenizar las características físico-químicas del efluente. Comprenden tratamientos netamente físicos, tales como: desbaste, homogenización, predecantado y desaceitado.

La razón de existencia del proceso de homogenización y regulación de caudal (igualación), es la de amortiguar variaciones de caudal causadas por descargas no controladas, mediante la eliminación de picos de caudal y contaminación, hasta conseguir que las variaciones sean mínimas. Una buena agitación garantiza que los sólidos se mantengan en suspensión.

Debido a que las grasas y aceites tienden a subir a la superficie, todo dispositivo que reduzca la velocidad de flujo y proporcione una superficie tranquila actúa como separador de grasas y aceites. Para remover el aceite/grasa acumulada de la superficie se utilizan entre otros métodos dispositivos mecanizados que permitan la recolección de los hidrocarburos y su posterior almacenamiento en recipientes, un ejemplo de ellos es el oil-Skimmer, de los cuales se tienen: los de banda, los de rebosadero, de cepillos, discos y tambor [Rivas, 1978].

◆ SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRIMARIO

Estos sistemas se aplican al agua residual luego del pretratamiento. En este punto, el agua residual contiene una serie de partículas en suspensión, sólidos orgánicos suspendidos y coloidales sedimentables por sí mismos o por coagulación-floculación y una demanda bioquímica de oxígeno considerable, Estos parámetros son reducidos por procesos de sedimentación físicos y/o físico-químicos (involucran la adición de ciertas dosis de químicos para promover o facilitar la separación).

El proceso de sedimentación con el uso de ayudantes químicos, para permitir la separación de una suspensión coloidal en condiciones de velocidad satisfactoria involucra dos acciones diferentes: la coagulación y floculación y la decantación de los lodos formados. [Rivas, 1978]

• Procesos de coagulación y floculación

Se atribuyen las fuerzas de repulsión causantes de desestabilización de los coloides, a la carga negativa que contienen las partículas coloidales. Para permitir la separación de una suspensión coloidal en condiciones de velocidad satisfactoria, por ejemplo, bajo la

influencia de la pesantez, resulta necesaria la aglomeración de los coloides de modo de formar partículas de tamaño mucho mayor. Esto supone la transformación de la suspensión a través de medios artificiales:

- Una desestabilización de la carga de las partículas por medio de reactivos químicos (coagulantes), que por medio de mecanismos de agregación o de adsorción, anulan las fuerzas repulsivas o actúan sobre la hidrofilia de las partículas coloidales.
- Una aglomeración de los coloides descargados, como resultado de diversas fuerzas de atracción entre partículas puestas en contacto. Primeramente por movimiento Browniano y luego por agitación mecánica exterior incrementándose la posibilidad de colisión, si las fuerzas de repulsión se reducen lo suficiente y si la capa de hidratación es lo suficientemente fina para que las fuerzas de Van der Waals logren una aglomeración progresiva de las partículas conduciendo a un tamaño suficiente del floculo para conseguir la decantación.

El empleo sistemático de sales minerales de cationes polivalentes como coagulantes, se debe a que la acción coagulante es función de la valencia del ión que posee una carga opuesta al de las partículas. Esta teoría explica, el por qué las sales de hierro y de aluminio trivalente han sido las más utilizadas en todos los tratamientos de coagulación del agua.

Estos coagulantes, gracias a la hidrólisis que experimentan, presentan el inconveniente de modificar las características físico-químicas del líquido separativo (pH,, conductividad). Por otro lado, estos agentes al ser empleados en dosis fuertes, producen un exceso de fangos (lodos). Por las razones anteriormente mencionadas, se recomienda el empleo de floculantes; ya sea productos de origen mineral (sílice activada) u orgánico (almidones), o los de uso actualmente generalizado, llamados comúnmente polielectrolitos (polímeros de masa molecular elevada). Existen diversas teorías que pretenden explicar el por qué del proceso de coagulación. Algunos afirman que la desestabilización puede efectuarse por un electrolito indiferente (no jónico), a través de la compresión de la doble carga eléctrica que rodea a la

partícula coloidal, bien sea por la neutralización de la carga sobre la partícula o por la formación de un puente entre dos partículas coloidales por una molécula polimérica. Otros afirman que la coagulación sólo se efectúa por la carga opuesta del ión con el coloide; aumentando la eficiencia del ión por su carga o valencia. [Degremont, 1979]

- **Mecanismo del proceso de floculación**

Existe una serie de tratados que intentan lograr explicar la ocurrencia de este proceso:

- **Unión de hidrógeno:** Las moléculas de agua (polares), se acomodan entre las partículas cargadas con el fin de proporcionar un mecanismo de puente, mejorando así las fuerzas de cohesión que mantienen unidas a las moléculas y formando los agregados.
- **Fuerzas de Van der Waals:** En las sustancias simples, la masa de una partícula ejerce atracción gravitacional sobre la masa de otra, ocasionando que al chocar de forma apropiada se junten formando grandes agregados a medida que se repite el proceso de colisión, llegando al asentamiento por haberse incrementado su masa. Estas fuerzas aumentan agregando sólidos finos (por ejemplo arcilla) al agua a tratar, ya que se incrementa la posibilidad de colisión. La eficiencia del proceso de floculación es función del número de colisiones y de la naturaleza de las mismas. Así, si una colisión es muy débil, las partículas no tienen la oportunidad de capturarse unas a otras, en cambio si la energía es muy grande el agregado de flóculos tenderá a romperse debido a esfuerzos cortantes.
- **Puentes químicos:** Este proceso asume que la superficie de la partícula se ve involucrada en una unión química, existiendo repartición de electrones entre las moléculas y átomos. [Dautant, 1992]

- **Floculantes empleados en tratamiento de efluentes líquidos**

El empleo de floculantes se ha convertido en una práctica común por la reducción considerable de las dimensiones del equipo y los costos de capital que se pueden lograr con dosis nominales de reactivos. En general, los floculantes dan por resultado sobreflujos más claros y subflujos con una concentración más elevada, para unidades

de sedimentación más pequeñas que las que se requerían para obtener el comportamiento mínimo deseado sin su uso.

Existe una gran cantidad de materiales como floculantes y su elección se realiza sobre la base de las propiedades físicas o químicas de los flóculos que se necesitan alterar, o en forma menos rigurosa de manera empírica basada en las características del agua a tratar.

- **Materiales oxidantes:** Se utilizan para minimizar las dificultades que se presentan en la clarificación o en la remoción del color originado por compuestos orgánicos. Los oxidantes más comúnmente empleados son el cloro, el ozono y el permanganato de potasio. Cuando su función fundamental sea ayudar a la coagulación, deben ser agregados antes de esta etapa.
- **Agentes absorbentes:** Se emplean cuando los flóculos son muy finos y no se asientan rápidamente, incrementándose la gravedad específica de los mismos. Por otro lado en aguas con baja turbiedad, la incorporación de estos agentes proporciona un incremento en las oportunidades de colisión de las partículas, resultando en una rápida formación del flóculo apropiado para el asentamiento.
- **Sílica activada:** Generalmente se usa con sales de aluminio como coagulante, en una dosis cuyo rango es del 7 al 11 por ciento de aluminio, e incorporada posterior a la sal. En el caso de que se agregue una sobre dosis de este floculante, el proceso puede verse entorpecido, a causa de dispersión. Adicionalmente presenta el beneficio de incrementar la rata de floculación, reducción de la dosis de coagulante, formación de flóculos más grandes y densos, y aparición de un filtrado mejorado.
- **Polímeros orgánicos:** Estas macromoléculas de origen natural o logrados por asociación de monómeros sintéticos, poseen en su gran mayoría cargas eléctricas o grupos ionizables. La eficacia de los primeros resulta relativamente pequeña, a diferencia de los sintéticos, con los que se han conseguido resultados notables.

En la figura 2.1 se muestra el mecanismo de coagulación y de floculación de manera ilustrada:

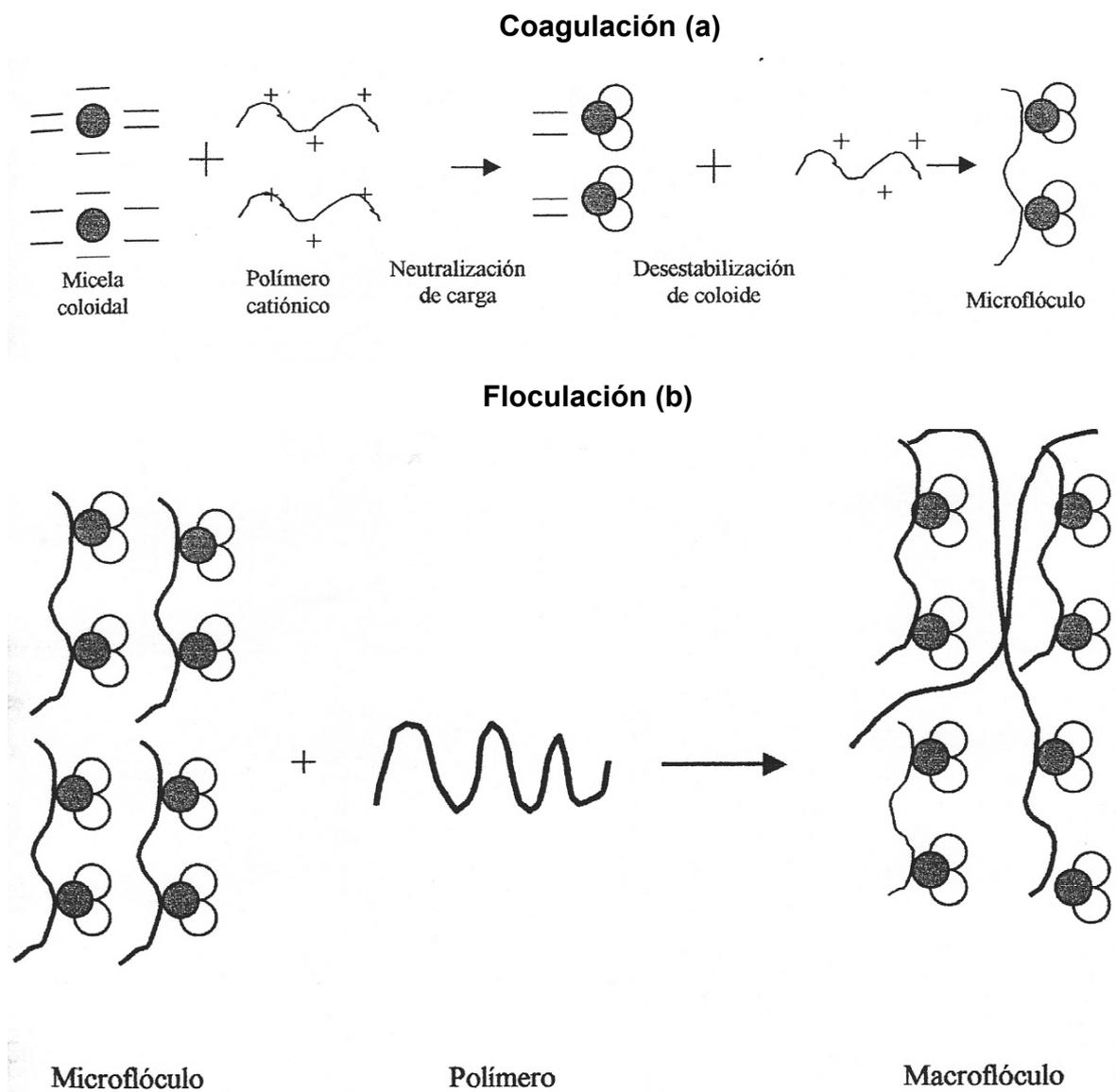


FIGURA 2.1 MECANISMOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Fuente: [Rivas, 1978]

- **Proceso de decantación**

Se persigue con este proceso, lograr depositar las partículas suspendidas, que poseen o han adquirido una densidad superior a la del líquido que las contenga; mediante la acción de la aceleración de gravedad. La rata de asentamiento de las partículas es afectada por el tamaño, forma y densidad de las partículas, así como por las características del líquido a través del cual se efectúa el asentamiento.

Se distinguen dos tipos de materias separables por decantación: Las granulares, que sedimentan unas independientes de otras, con una velocidad de caída constante y las partículas más o menos floculadas, que resultan de una aglomeración natural o provocada de las materias coloidales en suspensión.

- **Estructura de los decantadores**

En la práctica no existe un decantador ideal; ya sea porque se producen remolinos en el seno del líquido, el viento puede crear ondas en la superficie, o porque se producen corrientes de convección debido a diferencias locales de temperatura y de la densidad. Todos estos factores atentan en contra del rendimiento de la decantación. Es preciso conseguir, en lo posible, una circulación laminar y estable, caracterizada por los números de Reynolds y Froude.

El número de Reynolds (Re), calculado según la fórmula $Re = v * r/u$, debe ser pequeño (300.000), donde; v es la velocidad de circulación del agua, r es el radio hidráulico de la sección y u es la viscosidad cinemática del agua a 20 °C.

El número de Froude (Fr) es útil para apreciar la estabilidad de un proceso circulatorio cuando el flujo está influenciado por la gravedad y las fuerzas de inercia; $Fr = v/(r * g)^{1/2}$, en donde v y r tienen los mismos valores que para el caso anterior y g corresponde a la aceleración de gravedad.

Cuanto más estable es la circulación, más uniforme es la distribución de las velocidades en toda la sección del depósito y menor el rendimiento hidráulico. Una circulación estable se caracteriza por un número de Froude elevado.

En la práctica, pueden definirse las relaciones H/L o H/R siendo H la altura de agua en los decantadores rectangulares de longitud L o circulares de radio R . Fijando un tiempo de permanencia de 2 horas, Schmidt-Bregas dan para los decantadores

rectangulares $1/20 > H/JL > 1/3$ 5, y para los decantadores circulares: $1/6 > H/R > 1/8$. [Garvín, 1995]

- **Remoción de fósforo**

El principal proceso para la remoción del fósforo es la precipitación química, aún cuando los métodos biológicos (lagunas de estabilización y lodos activados), logran por bioprecipitación porcentajes de remoción de fósforo remanente de un 75 a 80%. La remoción de fósforo puro puede mejorarse si se adiciona aluminato sódico al aireador del proceso de lodos activados con lo que se obtienen eficiencias del orden del 90%.

◆ SISTEMAS DE TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento primario, remueve gran parte de la materia en suspensión, pero aún queda el resto de la materia orgánica, suspendida o disuelta, la cual puede ser descargada únicamente en volúmenes muy grandes que diluyan su efecto contaminante. Puede incluir procesos biológicos y químicos. El proceso secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistemas de burbujeo o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene muchas menos impurezas.

Entre los procesos de tratamientos biológicos más comunes para el tratamiento de aguas residuales se tienen que son tres los más usados, los anaeróbicos y los aeróbicos:

- **Procesos Aeróbicos**

En el tratamiento aeróbico de las aguas residuales se incrementa fuertemente el aporte de oxígeno por riego de superficies sólidas, por agitación o agitación y aireación sumergida simultaneas. El crecimiento de los microorganismos y su actividad

degradativa crecen proporcionalmente a la tasa de aireación. Las sustancias orgánicas e inorgánicas acompañantes productoras de enturbiamiento son el punto de partida para el desarrollo de colonias mixtas de bacterias y hongos de las aguas residuales, los flóculos que, con una intensidad de agitación decreciente, pueden alcanzar un diámetro de unos mm dividiéndose o hundiéndose después. La formación de flóculos se ve posibilitada por sustancias mucilaginosas extracelulares y también por las microfibrillas de la pared bacteriana que unen las bacterias unas con otras. El 40 – 50% de las sustancias orgánicas disueltas se incorporan a la biomasa bacteriana y el 50 – 60% de las mismas se degrada.

La acción degradativa o depuradora de los microorganismos en un proceso se mide por el porcentaje de disminución de la DBO en las aguas residuales tratadas. Dicha disminución depende de la capacidad de aireación del proceso, del tipo de residuos y de la carga de contaminantes de las aguas residuales y se expresa así mismo en unidades de DBO.

El número de bacterias de los fangos activados asciende a muchos miles de millones por ml, entre ellas aparece regularmente la bacteria mucilaginosa *Zooglea ramigera*, que forma grandes colonias con numerosas células encerradas en una gruesa cubierta mucilaginosa común, las células individuales libres se mueven con ayuda de flagelos polares. Entre las bacterias de los flóculos predominan las representantes de géneros con metabolismo aerobio-oxidativo como *Zooglea*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Acinetobacter*, *Micrococcus* y *Flavobacterium*. Pero también se presentan bacterias anaerobias facultativas, que son fermentativas en ausencia de sustratos oxigenados, de los géneros *Aeromonas*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Streptococcus* y distintas especies de *Bacillus*. Todas las bacterias contribuyen con las cápsulas de mucílago y con las microfibrillas al crecimiento colonial y a la formación de los flóculos.

En las aguas residuales con una composición heterogénea, la microflora se reparte equitativamente entre muchos grupos bacterianos. En la selección de bacterias y en la circulación y formación de flóculos juegan un importante papel los numerosos protozoos

existentes, la mayoría de ellos ciliados coloniales y pedunculados de los géneros Vorticela, Epystilis y Carchesium, aunque también puedan nadar libremente como los Colpidium que aparecen a la par de ellos, alimentándose de las bacterias de vida libre que se encuentran tanto sobre la superficie como fuera de las colonias. Su función es esencial en la consecución de unas aguas claras y bien depuradas. La salida de los fangos activados sintéticos libres de ciliados se ve contaminada y enturbiada por la presencia de bacterias aisladas. Se realiza una inoculación de ciliados que crecen rápidamente, favoreciendo con su actividad depredadora el crecimiento y la circulación de las bacterias de los fangos, con lo que posibilitan un efluente más limpio. Además en los fangos activados aparecen regularmente hongos edáficos y levaduras, siendo las más frecuentes las especies de Geotrichum, Trichosporum, Penicillium, Cladosporium, Alternaria, Candida y Cephalosporium.

Tras la depuración biológica, las aguas residuales contienen compuestos orgánicos, fosfatos y nitratos disueltos que solo se degradarán ya lentamente. Los nitratos se forman por oxidación del amonio desprendido en la degradación de compuestos orgánicos nitrogenados. Esta es una tarea de las bacterias Nitrificantes, uno de cuyos grupos está representado en las aguas residuales principalmente por Nitrosomonas y Nitrosospira, que únicamente llevan a cabo la reacción de oxidación del amonio a nitrito para obtener energía metabólica, mientras que un segundo grupo de bacterias, que aparece siempre junto al ya citado y que está representado por Nitrobacter, oxida el nitrito a nitrato y obtiene energía gracias exclusivamente a este proceso:

Oxidación del amonio:



Oxidación del nitrito:



Otros microorganismos que también intervienen en el tratamiento aerobio de aguas residuales son: Citrobacter, Serratia, mohos y levaduras que actúan más de componentes acompañantes que de degradantes y algunas algas como Anabaena que convierte los poliuretanos en H_2 ; Chrorella los alginatos los convierte en glicolato; Dulaniella los alginatos en glicerol; Nostoc el agar el H_2 ; Algas como el Volvox, Tabellaria, Anacistis y Anabaena; las algas que obstruyen los filtros son Anacistis, Chrorella, Anabaena y Tabellaria.

- **Procesos Anaeróbicos**

El proceso anaeróbico depende de reacciones de transferencia de H_2 Inter-especies como:

1. Digestión inicial de las sustancias macromoleculares por Proteasas, polisacaridasas y lipasas extracelulares hasta sustancias solubles.
2. Fermentación de los materiales solubles a ácidos grasos.
3. Fermentación de los ácidos grasos a acetato, CO_2 e H_2 .
4. Conversión de H_2 más CO_2 y acetato en CH_4 (metano) por las bacterias metanogénicas.

Las bacterias celulolíticas rompen las células en celulosa, celobiosa y glucosa libre; la glucosa es fermentada por anaerobios en varios productos de fermentación: acetato, propionato, butirato, H_2 y CO_2 .

Las bacterias metanogénicas, homoacetogénicas o reductoras de sulfatos, consumen inmediatamente cualquier H_2 producido en procesos fermentativos primarios. Los organismos claves en la conversión de sustancias orgánicas complejas en metano, son bacterias productoras de H_2 y oxidantes de ácidos grasos, por ejemplo Syntrophomonas y Syntrophobacter, las primeras oxidan los ácidos grasos produciendo acetato y CO_2 y las últimas se especializan en la oxidación de propionato y genera CO_2 y H_2 . En muchos ambientes anaeróbicos los precursores inmediatos del metano son el H_2 y CO_2

por parte de las bacterias metanogénicas: *Metanosphaera*, *Stadtmanae*, *Metanopinillum*, *Metanogenium*, *Metanosarcina*, *Metanosaeta* y *Metanococcus*.

- **Biodegradabilidad de efluentes industriales**

Los procesos biológicos en general no consumen casi reactivos, no generan gases ni lodos nocivos, la propia producción de lodos puede reducirse a un mínimo y éste puede utilizarse en otros procesos productivos. Para un amplio espectro de efluentes industriales, los procesos biológicos no se toman en cuenta o se desechan, porque el origen del efluente hace pensar en que no será biodegradable, o porque realizado un ensayo estándar de demanda biológica de oxígeno, éste da un valor pobre.

La experiencia ha demostrado que en muchos de estos casos es posible aplicar un tratamiento biológico, generalmente aerobio y por lodos activados, si se dispone del lodo adecuado para biodegradar los compuestos que contienen el efluente. Se puede decir que la biodegradabilidad de un compuesto no es una propiedad intrínseca del mismo, sino que depende esencialmente de la población microbiana a la que éste se enfrenta.

En numerosas industrias no varían sólo las cantidades de los compuestos contaminantes, sino también los propios compuestos presentes en las aguas. Un estudio que pretenda determinar la biodegradabilidad del efluente general estableciendo la de cada uno de los componentes del efluente, no sólo requeriría de tiempo y grandes esfuerzos analíticos, sino que también corre el riesgo de quedar desfasado respecto a la realidad.

TABLA 2.4 CRITERIO DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS

DBO/DQO	Tipo de Efluente	Tipo de Tratamiento
0.1-0.4	Poco Biodegradable	Físicoquímico
0.4-0.6	Biodegradable	Físicoquímico- Biológico
> 0.6	Biodegradable	Biológico (lodos Activados)

FUENTE: FUNDAMETAL, 2.004

◆ SISTEMAS DE TRATAMIENTO TERCARIOS

Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos

• Tratamientos de desinfección

Este tratamiento consiste en la destrucción selectiva no total de los organismos y bacterias. La desinfección no debe confundirse con la esterilización, en donde se destruye y/o inactiva absolutamente a todos los microorganismos, incluyendo bacterias, esporas, virus, algas, etc. En general un buen desinfectante debe tener las siguientes características:

- Destruir gran parte de los organismos patógenos presentes en el agua, sin importar tipo ni concentración.
- No debe originar mal sabor, olor o comunicarle color o toxicidad al agua.
- Períodos de contacto relativamente cortos.
- Bajo Costo, fácil manejo y disponibilidad.
- Fácil detección de su concentración y efecto residual en el agua.

• Destrucción bacteriana por desinfección

La destrucción de los microorganismos es proporcional a la concentración del desinfectante y al tiempo de contacto (tiempo de reacción). De acuerdo con la Ley de Chick, el índice de mortalidad de los microorganismos es constante, aún cuando la velocidad de muerte puede aumentar o disminuir en función del tiempo. Cualquier disminución puede deberse a variaciones en la resistividad de las células, reducción en la concentración del desinfectante o la presencia de interferencias. Además de las características químicas del agua, la temperatura y el pH ejercen una marcada influencia sobre el proceso de desinfección.

La Ley de Chick es representada por una ecuación de velocidad de 1^{er} orden:

$$\frac{-\partial N}{\partial t} = K * N$$

donde:

$\frac{-\partial N}{\partial t}$: Tasa de destrucción ó muerte en función del tiempo.

K: Constante de velocidad característica del organismo y del tipo de desinfectante usado.

N: Es el número de organismos sobrevivientes por unidad de volumen a un tiempo dado.

Integrando y reordenando algebraicamente se tiene: $N = N_0 * e^{-K * t}$ usando logaritmo

decimal se tiene: $t = \frac{2,3}{K} * \log\left(\frac{N}{N_0}\right)$

El gráfico de $\log(N/N_0)$ en función del tiempo t, es una línea recta.

Análogamente, la ecuación que describe las desviaciones en la velocidad de muerte de

los organismos es la siguiente: $Ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -K * t^m$

donde:

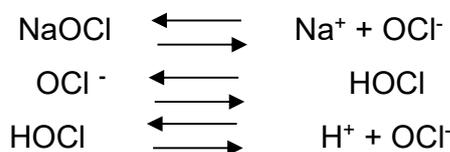
m: Constante obtenida del gráfico (N/N₀) en función del tiempo en papel logarítmico.

[Valencia, 1998]

- **Medios de desinfección**

Existen medios de desinfección diferentes al cloro, tales como: radiaciones ultravioleta, iones metálicos, álcalis y ácidos, uso del calor, ozono y los comunes oxidantes químicos (halógenos). De estos, el cloro es uno de los desinfectantes más usados, generalmente en forma de sales del ácido hipocloroso, hipoclorito o simplemente en forma gaseosa.

Los hipocloritos se disocian completamente en soluciones acuosas diluidas según las reacciones:



La actividad desinfectante de la cloración, resulta del ácido hipocloroso no ionizado HOCl, y en mucho menor grado por los iones hipoclorito, OCl⁻. Cuando el proceso de cloración se representa gráficamente, se observa un punto de quiebre o discontinuidad en la curva, la posición de este dependerá del contenido de amoníaco del agua y corresponderá al menor punto de cloro residual (libre o combinada).

En la figura 2.2, el punto A corresponde al punto de oxidación de la materia orgánica y las sustancias fácilmente oxidables. El cloro se reduce a ión cloruro. El intervalo A-B, corresponde al proceso de formación de cloraminas por reacción del cloruro con el amoníaco. Entre el punto B y el punto de quiebre, algunas de las cloraminas se convierten en tricloruro de nitrógeno, mientras que las restantes se oxidarán a nitroso y nitrógeno. La acción del cloro más allá del punto de quiebre, resulta en un aumento directamente proporcional del valor de cloro libre disponible. Se recomienda dosificar cloro hasta obtener un valor residual que garantice la desinfección del agua emitida a los diferentes canales de recibimiento.

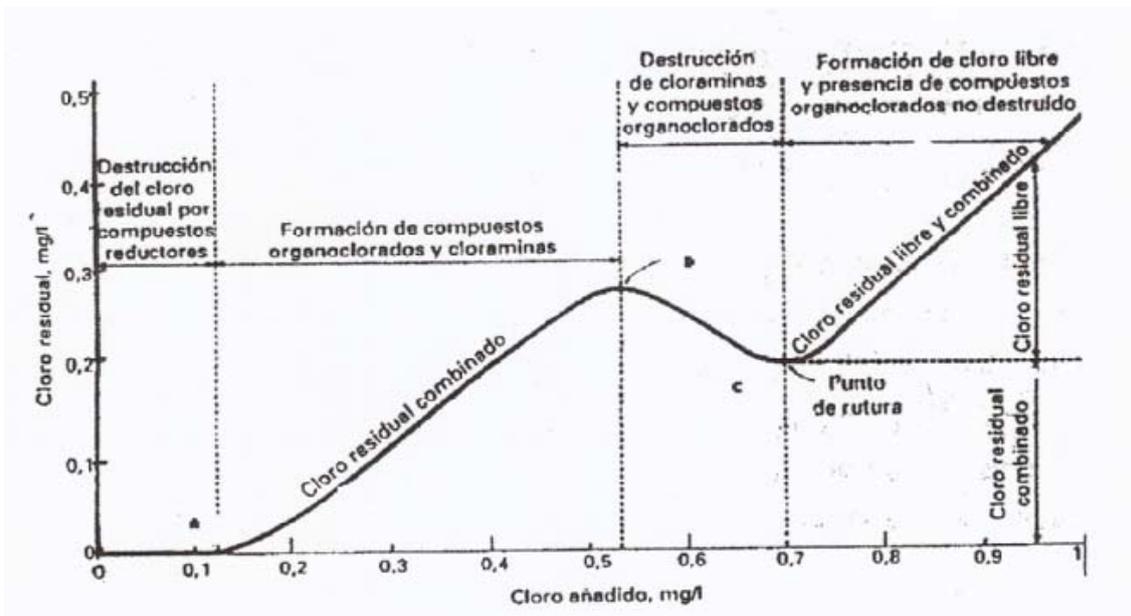


FIGURA 2.2 CURVA DE DEMANDA DE CLORO Y PUNTO DE QUIEBRE EN EL PROCESO

Fuente: Valencia, 1998

◆ TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

Los cuerpos contaminantes, y sus productos de transformación, retirados de la fase líquida en cualquier tratamiento de agua, independientemente de la naturaleza, se

reúnen finalmente en suspensiones más o menos concentradas, denominadas fangos (lodos). La característica común de estos fangos, es que constituyen un residuo extremadamente líquido, de escaso valor, algunos de ellos son químicamente inertes, pero los que provienen de tratamientos biológicos son fermentables y a veces nauseabundos.

Los fangos necesitan tratamientos de: estabilización, espesamiento, deshidratación seguida o no de secado y de incineración, o combinación con uno o varios de estos métodos, antes de su vertido al medio natural (de acuerdo a las regulaciones ambientales del sitio).

- **Filtración a presión**

A pesar del carácter discontinuo de su operación y su elevado costo de inversión; esta técnica se utiliza cada vez más con mayor frecuencia. Las razones se explican a continuación:

Necesidad de obtener tortas de gran sequedad para permitir la auto combustión de los fangos en su incineración, una descarga más cómoda, una limitación de los gastos de transporte de los fangos deshidratados,

Mecanización cada vez mayor de los aparatos, hasta el punto que se necesita un mínimo de mano de obra para las operaciones de descarga de las tortas o de lavado de las telas.

II.2.5 HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

La evolución del concepto de calidad aplicado a la industria, y ahora a los servicios, muestra claramente que se ha pasado de una etapa, en donde la calidad era aplicada totalmente al control realizado al final de las líneas de producción, a otra donde aplicamos calidad total a todo dentro de la organización. Por ende, ya se habla de calidad de vida en el trabajo, calidad de vida en los servicios y calidad ambiental.

El concepto de calidad hoy en día, es aplicado en el ámbito industrial, como el logro de hacer las cosas bien la primera vez. Y se aplica control de calidad sobre las

operaciones desde el diseño. Hasta que se obtiene el producto final e inclusive se habla de la calidad en la atención al cliente.

El camino que nos lleva hacia la Calidad Total crea una nueva cultura, establece y mantiene un liderazgo, desarrolla al personal y lo hace trabajar en equipo, además de enfocar los esfuerzos de calidad total hacia el cliente y a planificar cada uno de los pasos para lograr la excelencia en sus operaciones.

El hacer esto exige vencer obstáculos que se irán presentando a lo largo del camino. Estos obstáculos traducidos en problemas se deben resolver conforme se presentan evitando con esto las variaciones del proceso. Para esto es necesario basarse en hechos y no dejarse guiar solamente por el sentido común, la experiencia o la audacia. Basarse en estos tres elementos puede ocasionar que al momento de obtener un resultado contrario al esperado nadie quiera asumir responsabilidades.

De allí la importancia de basarse en hechos reales y objetivos, además de que surge la necesidad de aplicar herramientas de solución de problemas adecuadas y de fácil comprensión.

Las herramientas y técnicas cualitativas y no cuantitativas son las siguientes:

1. Recolección de datos.
2. Lluvia/Tormenta de ideas (Brainstorming).
3. Diagrama de Ishikawa.
4. Matriz de relación.

La experiencia de los especialistas en la aplicación de estas herramientas señala que bien utilizadas y aplicadas, con la firme idea de estandarizar la solución de problemas, los equipos pueden ser capaces de resolver hasta el 95% de los problemas.

1. RECOLECCIÓN DE DATOS

1.1 CONCEPTO

Es una recolección de datos para reunir y clasificar las informaciones según determinadas categorías de un evento o problema que se desee estudiar. Es importante recalcar que este instrumento se utiliza tanto para la identificación y análisis de problemas como de causas.

1.2 USO

Hace fácil la recopilación de datos y su realización de forma que puedan ser usadas fácilmente y ser analizadas automáticamente. Una vez establecido el fenómeno que se requiere estudiar e identificadas las categorías que lo caracterizan, se registran los datos en una hoja indicando sus principales características observables.

Una vez que se ha fijado las razones para recopilar los datos, es importante que se analice las siguientes cuestiones:

- La información es cuantitativa o cualitativa.
- Cómo se recogerán los datos y en que tipo de documentos se hará.
- Cómo se utilizará la información recopilada.
- Cómo se analizará.
- Quién se encargará de recoger los datos.
- Con qué frecuencia se va a analizar.
- Dónde se va a efectuar.

1.3 OTROS NOMBRES

- Hoja de recogida de datos
- Hoja de registro
- Verificación
- Chequeo o Cotejo

1.4 PROCEDIMIENTO

1. Identificar el elemento de seguimiento
2. Definir el alcance de los datos a recoger.
3. Fijar la periodicidad de los datos a recolectar.
4. Diseñar el formato de la hoja de recogida de datos, de acuerdo a la cantidad de información a escoger, dejando espacio para totalizar los datos, que permita conocer: las fechas de inicio y termino, las probables interrupciones, las personas que recoge la información, la fuente etc.

2. LLUVIA DE IDEAS

2.1 CONCEPTO

Técnica que consiste en dar oportunidad, a todos los miembros de un grupo reunido, de opinar o sugerir sobre un determinado asunto que se estudia, ya sea un problema, un plan de mejoramiento u otra cosa, y así se aprovecha la capacidad creativa de los participantes.

2.2 USO

Se pueden tener dos situaciones ante la solución de un problema:

1. Que la solución sea tan evidente que sólo tengamos que dar los pasos necesarios para implementarla, y
2. Que no tengamos idea de cuáles pueden ser las causas, ni las soluciones.

Es aquí donde la sesión de tormenta de ideas es de gran utilidad. Cuando se requiere preseleccionar las mejores ideas.

2.3 OTROS NOMBRES

- Brain Storming
- Tormenta de ideas

2.4 PROCEDIMIENTO

1. Nombrar a un moderador del ejercicio.
2. Cada miembro del equipo tiene derecho a emitir una sola idea por cada turno de emisión de ideas.
3. No se deben repetir las ideas.
4. No se critican las ideas.
5. El ejercicio termina cuando ya no existan nuevas ideas.
6. Terminada la recepción de las ideas, se les agrupa y preselecciona conforma a los criterios que predefina el equipo.

3. DIAGRAMA DE ISHIKAWA

3.1 CONCEPTO

Técnica de análisis de causa y efectos para la solución de problemas, relaciona un efecto con las posibles causas que lo provocan.

3.2 USO

Se utiliza para cuando se necesite encontrar las causas raíces de un problema. Simplifica enormemente el análisis y mejora la solución de cada problema, ayuda a

visualizarlos mejor y a hacerlos más entendibles, toda vez que agrupa el problema, o situación a analizar y las causas y subcausas que contribuyen a este problema o situación.

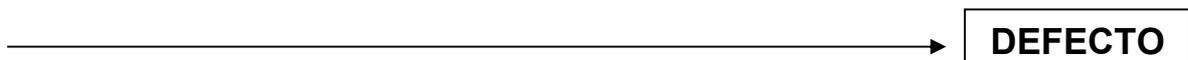
3.3 OTROS NOMBRES

- Diagrama de espina de pescado
- Diagrama Causa-Efecto

3.4 PROCEDIMIENTO

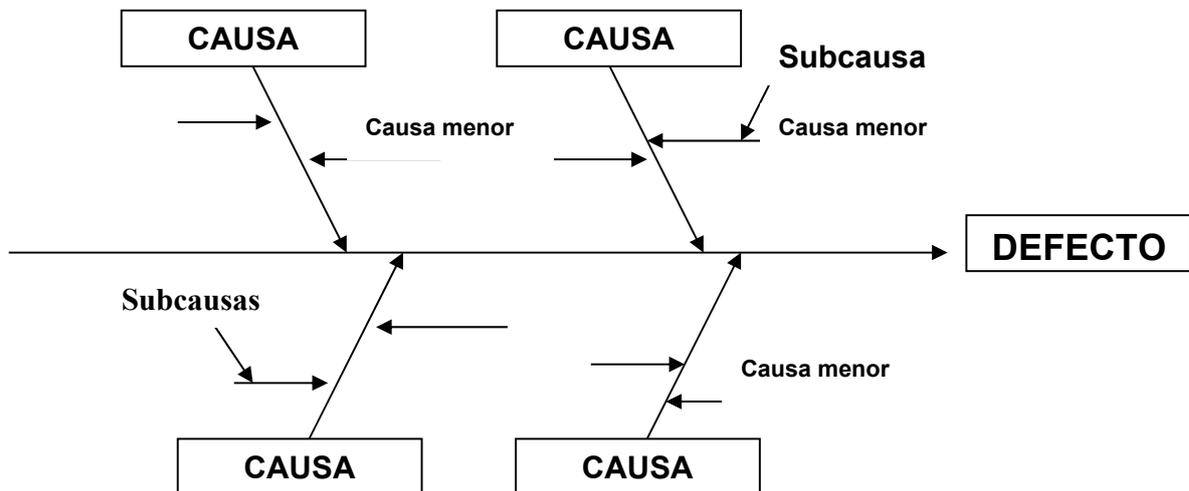
1. Ponerse de acuerdo en la definición del efecto o problema
2. Trazar una flecha y escribir el “efecto” del lado derecho

FIGURA 2.3
CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO (PASO 1)



3. Identificar las causas principales a través de flechas secundarias que terminan en la flecha principal
4. Identificar las causas secundarias a través de flechas que terminan en las flechas secundarias, así como las causas terciarias que afectan a las secundarias
5. Asignar la importancia de cada factor
6. Definir los principales conjuntos de probables causas: materiales, equipos, métodos de trabajo, mano de obra, medio ambiente (4 M's)
7. Marcar los factores importantes que tienen incidencia significativa sobre el problema
8. Registrar cualquier información que pueda ser de utilidad

FIGURA 2.4
CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO (PASO 2)



5. MATRIZ DE RELACIÓN

5.1 CONCEPTO

Gráfico de filas y columnas que permite priorizar alternativas de solución, en función de la ponderación de criterios que afectan a dichas alternativas.

5.2 USO

- Cuando se requiere tomar decisiones más objetivas.
- Cuando se requiere tomar decisiones con base a criterios múltiples.

5.3 OTROS NOMBRES

- Matriz de priorización
- Matriz de selección

5.4 PROCEDIMIENTO

1. Definir las alternativas que van a ser jerarquizadas
2. Definir los criterios de evaluación
3. Definir el peso de cada uno de los criterios
4. Construir la matriz

5. Definir la escala de cada criterio
6. Valorar cada alternativa con cada criterio (usando la escala definida anteriormente)
7. Multiplicar el valor obtenido en el lado izquierdo de las casillas, por el peso de cada criterio y anotarlo a la derecha de cada casilla
8. Sumar todas las casillas del lado derecho y anotar el resultado en la casilla Total
9. Ordenar las alternativas de mayor a menor. (Kune, 1993)

TABLA 2.5
EJEMPLO DE MATRIZ DE SELECCIÓN

SOLUCIONES	Criterios				TOTAL
	10	40	20	30	
Envío de solicitud por	3	2	1	1	
Envío de solicitud vía Faz o E -mail	3	2	3	2	
Envío de solicitud vía correo	3	1	3	1	

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Los procesos de tratamiento que utiliza la planta de tratamiento de efluentes líquidos de la empresa DANA VEN div. EJES Y CARDANES para el acondicionamiento de los mismos, están basados en la separación de aceites y grasas libres, corrección del pH, separación de lodos, eliminación de fósforo, biodegradación y desinfección. El proceso de acondicionamiento se divide en los siguientes tipos de tratamiento:

- Tratamiento preliminar
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

A continuación se describirán cada uno de los tratamientos con la ayuda de la figura 3.1 (ver página siguiente) que representa el diagrama de flujo del proceso utilizado para el tratamiento de las aguas residuales de la empresa.

III.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR

Antes del tratamiento propiamente dicho, que se aplica a las aguas residuales en función de la serie de factores que deben tomarse en consideración para la disposición de los mismos; es necesario aplicarle al residuo un tratamiento preliminar, con el objeto de proteger las instalaciones (y su funcionamiento) con miras a eliminar o reducir sensiblemente, las condiciones indeseables relacionadas mayormente, con la apariencia estética de estas plantas de acondicionamiento. Para este tratamiento preliminar se cuenta con las siguientes unidades.

III.1.1 Trampa de grasas y aceites

La finalidad perseguida en esta unidad es la remoción de aceites y grasas libres, las cuales son generadas por las divisiones beneficiadas. Las grasas libres se logran remover mediante una separación gravimétrica, causada por la diferencia de densidad

entre ellas y el agua de aporte propiamente dicha; y por otro lado los aceites inmiscibles son recolectados mediante un dispositivo mecanizado; Oil-Skinmer (motor y banda transportadora).

Esta operación se realiza en un tanque principal (TGA-01), que contiene en su parte interna, láminas de acero inoxidable, que permiten la separación de aceites y grasas libres del efluente. Desde este tanque, el efluente libre de grasas y aceites es bombeado a la unidad de igualación o concentrado, mediante una bomba sumergible (B-01) que está instalada, bajo un sistema de control de nivel de líquido.

III.1.2 Unidad de igualación y concentración

La igualación se refiere a la homogeneización del líquido residual para igualar las variaciones de pH, concentración y compensar variaciones de caudal. El propósito de esta operación, es obtener líquido con características semejantes en el tiempo y evitar la inestabilidad en la operación de la planta.

Esta operación se realiza en un tanque (T-01) provisto de un mezclador sumergible (M-01), donde se efectuará la mezcla del efluente, el cual recibe el contenido de las aguas pre-tratadas provenientes del tanque principal (TGA-01) de la trampa de grasas, un indicador de pH y un Oil Skinmer que sirve para remover la grasa y aceites e la flor del líquido.

Con la intención de no crear sobrecarga temporal en el sistema de trampa de grasas, el efluente de las distintas plantas es transferido hacia al tanque de concentrado (T-02) y desde éste se transfiere gradualmente hacia el tanque de igualación para su adecuado tratamiento. Estos tanques son subterráneos y elaborados en concreto armado. Estos tanques están provistos de bombas centrífugas (B-02) y (B-03) respectivamente. Una bomba opera en el tanque de concentrado para alimentar el tanque (T-01) y la otra es la encargada de llevar el efluente a la unidad de coagulación.

III.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

Las características de los receptores y la descarga del tratamiento preliminar son tales que, de acuerdo a los criterios de disposición de las aguas a los canales de recibimiento, es necesario aplicar una determinada intensidad de tratamiento a los

líquidos residuales que se descargan, a fin de lograr una reducción más significativa de los parámetros que los afectan; entre otros: sólidos orgánicos y coloidales, metales pesados, sólidos suspendidos que no han sido removido previamente demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que acusan esos materiales presentes, etc. Esta reducción es necesaria ya que puede inhibir, apreciablemente, la actividad biológica en los tratamientos secundarios. La remoción de ciertos materiales inorgánicos solubles pueden lograrse al agregar reactivos adecuados para convertir las impurezas solubles en precipitados insolubles que pasen así a la fase de floculación y se puedan remover por sedimentación. El sistema de tratamiento primario, es básicamente un tratamiento físico-químico de precipitación, con la finalidad de clarificar el líquido residual con ayuda de químicos. Ya existe un sistema, el cual está diseñado para manejar 5 L/s del efluente homogeneizado. Para este tratamiento primario se requiere de las siguientes unidades:

III.2.1 Unidad de coagulación

Esta operación se lleva a cabo en el tanque (T-03) de la planta, en donde el efluente homogeneizado es mezclado mediante una agitación rápida con un agente químico, como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, en dosis fijas, (proveniente del tanque de almacenamiento mediante una bomba, lo cual proporciona un ion polivalente (Al^{+3}) que genera la desestabilización de las emulsiones de aceites presentes para formar los coágulos que son rebosados por gravedad hacia la unidad de floculación.

Este tanque se encuentra en un soporte elevado de base cuadrada. Está elaborado en hierro galvanizado y provisto de un agitador mecánico. Por otra parte la ubicación del tanque permite, que los efluentes lleguen por gravedad a las unidades siguientes.

III.2.2 Unidad de floculación

Esta unidad (T-04) tiene por función, agrupar los coloides desestabilizados, mediante agitación muy lenta y adición de un polímero floculante de alto peso molecular (proveniente del tanque de almacenamiento, mediante una bomba dosificadora), promoviendo suaves choques entre los coloides, en un tiempo de residencia adecuado, con la intención de formar flóculos de mayor tamaño (Figura 2.1 (b) del capítulo 2), que por acción de la gravedad precipitarán, separándose así del agua residual en las siguientes unidades (tanque sedimentador primario). También a esta mezcla lenta es dosificada cal hidratada (proveniente del tanque de almacenamiento, mediante una

bomba dosificadora) para ajustar el pH a niveles de (8 y 9) unidades. Este tanque está ubicado de la misma manera que el tanque de mezcla rápida, y está provisto de un agitador con motor y un sensor de pH (A-pH).

III.2.3 Unidad de sedimentación primaria

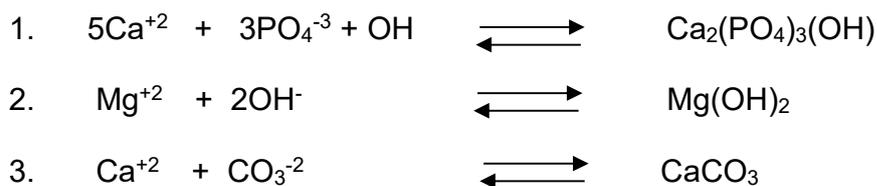
El objeto de esta unidad es la decantación del efluente, mediante la sedimentación de los sólidos insolubles en el agua, gracias al asentamiento gravitacional. Esta operación se realiza en los tanques (TS-01) y (TS-02), los cuales reciben el agua por diferencia de nivel de la unidad de floculación y por rebose de la unidad de precipitación de fósforo (T-05) respectivamente, proceso que será expuesto con detalles en la unidad siguiente. La separación de los flóculos formados en las etapas anteriores, presenta un área de clarificación suficientemente grande, que permite el descenso de los mismos hacia el fondo cónico de la Unidad en donde se concentran por efecto de la fuerza de gravedad, para así ser drenados frecuentemente al tanque de lodos (T-07), mientras que el agua tratada que sale por la parte Superior del tanque es transferida a las subsecuentes etapas de tratamiento.

Estos tanques son superficiales, elaborados en hierro galvanizado y ubicados de manera tal, que los efluentes fluyen por gravedad. Cada tanque de sedimentación está provisto de válvulas (V-01) y (V-02) para drenar los lodos generados hacia el tanque (T-07).

III.2.4 Unidad de precipitación de fósforo

En esta unidad (T-05) se procede a la eliminación de fósforo en forma de cristales insolubles de hidroxiapatita ($\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$). Esto se logra por la adición de cal hidratada y un polímero que actúan como agentes adyuvantes de la floculación, proveniente de los tanques de almacenamiento.

Con el uso de cal, tanto el calcio como el hidróxido reaccionan con el ortofosfato para formar la hidroxiapatita, las reacciones que tienen lugar en la eliminación del fósforo son las siguientes:



Al utilizar cal hidratada se observa la generación de iones hidróxido lo cual provoca aumento en el pH del medio, situándose entre 11 y 12 unidades. Esto se aprecia mediante un sensor de pH, haciendo necesaria la corrección de pH del efluente final luego de la adición de éste.

Tal como se mostró en la unidad de sedimentación primaria, el efluente generado en la unidad de precipitación de fósforo es enviado a un tanque de sedimentación primaria (TS-02) donde se concentran los flóculos, luego el agua tratada es transferida por gravedad hacia la unidad de recarbonatación. El tanque está provisto de un agitador con motor y un sensor de pH.

III.2.5 Unidad de recarbonatación

Esta operación, que tiene lugar en el tanque (T-06) se refiere a la corrección del pH del efluente que proviene de la unidad de precipitación de fósforo (T-05) y del tanque sedimentador primario (TS.02), el cual tiene un carácter básico (pH comprendido entre 11 y 12). En esta unidad se procede a la adición de dióxido de carbono (CO_2) gaseoso, mediante tres difusores que son alimentados por un tanque presurizado (TP-10), para ajustar el pH a niveles requeridos (6 - 7,5). Esta operación es controlada por un sensor de pH.

Mediante la recarbonatación, el exceso de cal Ca(OH)_2 , se ve reducida por la formación de carbonato de calcio CaCO_3 . Luego de ajustado el pH a niveles requeridos, el efluente pasa al siguiente tratamiento.

III.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Este tratamiento consiste en mezclar el agua residual con una suspensión de microorganismos, encargados de degradar la materia orgánica compleja a simple, estabilizándola, al mismo tiempo que reducen los compuestos inorgánicos como el nitrógeno y el fósforo. Para este tratamiento secundario se requiere de un reactor biológico y un sedimentador secundario.

Esta operación se realiza mediante el tratamiento de lodos activados con un sistema de aireación extendida. Este proceso consta de un par de tanques gemelos (R-01 y R-02) aireados y un par de sedimentadores secundarios (T-1 1) para los lodos. En

los tanques reactores se combinan altas concentraciones de materia orgánica con una elevada carga volumétrica de microorganismos, los cuales promueven la biofloculación de la materia orgánica presente en el agua residual y posteriormente es biodegradado por los microorganismos presentes. El nitrógeno orgánico presente en el agua residual, sirve como nutriente del proceso y es oxidado bioquímicamente a nitratos y nitritos. El fósforo es utilizado por los microorganismos como nutriente para la formación de pared celular, por lo tanto, el efluente experimentará una reducción en la cantidad de material biodegradable.

El mezclado es un factor muy importante dentro del proceso, esto se logra mediante la inyección de oxígeno en exceso, por el uso de 24 aireadores, oxidándose de esta manera en poco tiempo una buena parte de la materia orgánica.

En el sedimentador secundario, se retienen y separan los flóculos formados en los tanques reactores. Adicionalmente, el sistema recircula una parte del lodo allí separado, hacia los reactores biológicos y la otra parte se desechan hacia el tanque de lodos (T-07).

III.4 TRATAMIENTO TERCIARIO

Llamados tratamientos especiales, su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no puedan ser removidos por los tratamientos convencionales, Su empleo es prácticamente obligatorio en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas.

III.4.1 Unidad de cloración

Para la planta actualmente instalada se utiliza un tratamiento de desinfección, el cual consiste en la destrucción de los organismos coliformes y bacterias, basados en la fuerte capacidad de oxidación del cloro que destruye o inhibe el crecimiento de estos organismos y adicionalmente la oxidación de sustancias que producen color y olor. En este tanque (T-12) se aplica al efluente industrial una solución de hipoclorito (proveniente del tanque de almacenamiento, mediante una bomba dosificadora) para lo cual, el agua residual debe permanecer detenida en dicho tanque por un tiempo

mínimo, con lo que se logra depurar aproximadamente el 99,9% de su contenido bacteriano.

III.5 TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

La materia concentrada obtenida de los tratamientos anteriores, debe recibir un tratamiento que posibilite su separación del sistema de tratamiento, y así, crear las condiciones propicias para mantener la continuidad del proceso.

III.5.1 Tanque de lodos

Esta unidad tiene como objetivo almacenar los lodos generados en el tratamiento físico-químico (proveniente de los tanques TS-01 y TS-02) y en el tratamiento biológico (proveniente del sedimentador secundario T-11), para su posterior deshidratación en el filtro prensa (FP-01).

III.5.2 Filtro prensa

Esta unidad ejecuta la operación de deshidratación de lodos generados, aumentando la consistencia del mismo hasta un 40%, dependiendo de la drenabilidad del mismo. El proceso se realiza por efecto de la acción mecánica del filtro y de la bomba que lo alimenta, reteniendo el sólido en el interior de las placas, las que finalizado el ciclo se abren para la extracción del mismo. El lodo obtenido es fácilmente manejable y se deposita en contenedores para su disposición final. El agua eliminada es drenada hacia el tanque (T-01).

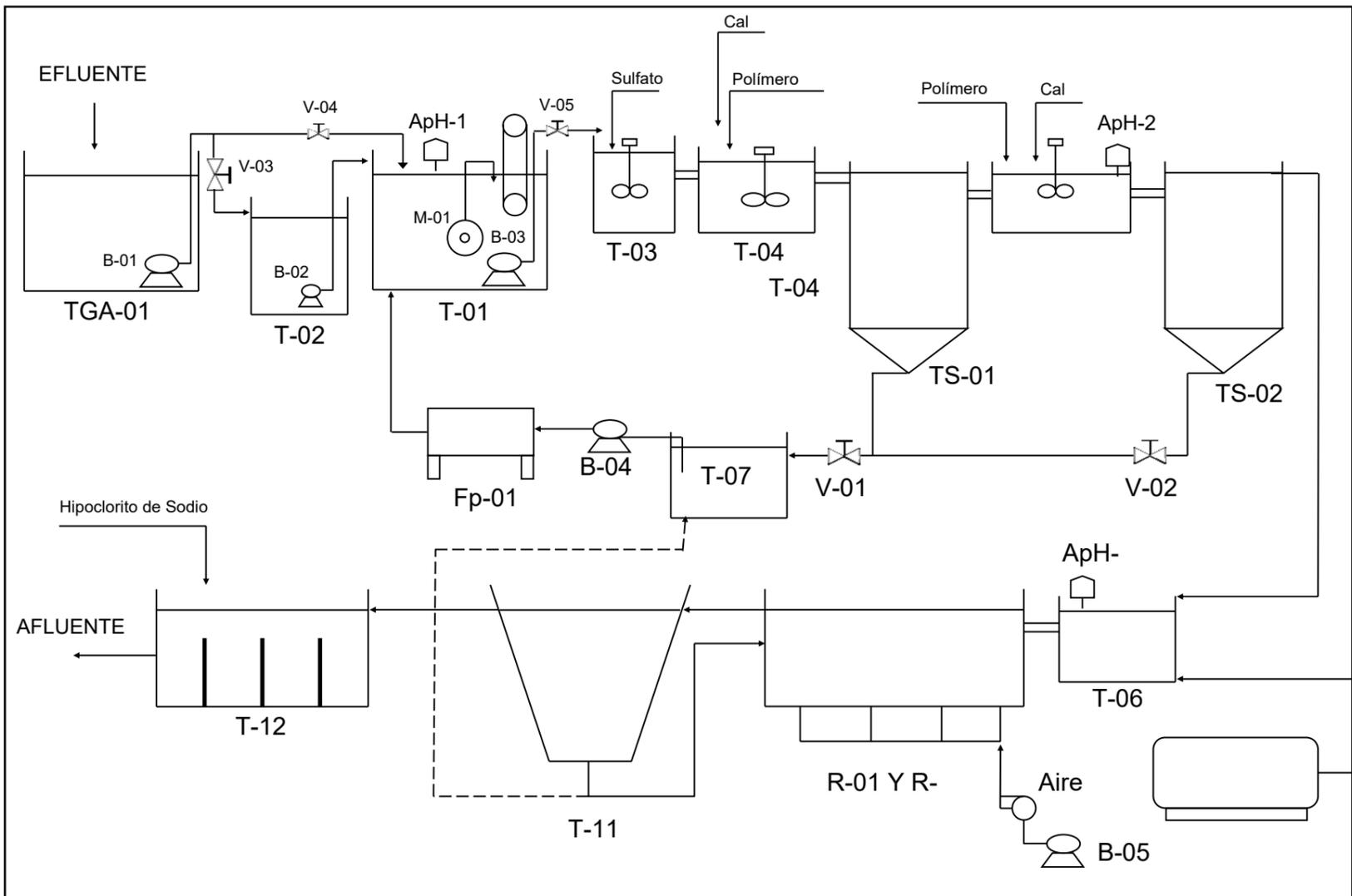


FIGURA 3.1. DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN DE LA P.T.A.R.I. DE LA EMPRESA DANAVEN SUBDIVISIÓN EJES Y CARDANES

CAPÍTULO IV MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describen de manera detallada los pasos que fueron necesarios cumplir para lograr alcanzar los objetivos específicos que buscan lograr el objetivo principal del presente estudio, para ello se especifican la actividades llevadas realizadas en cada uno de los objetivos específicos así como también las herramientas metodológicas usadas para tal fin.

IV.1 Determinación de las condiciones de operación en cada una de las etapas de la planta de tratamiento

Para llevar a cabo este objetivo se realizaron las actividades siguientes:

- *Reconocimiento de la planta así como el proceso de tratamiento que se le da al agua dentro de la misma;* para ello se realizaron visitas guiadas con el personal que labora en la planta de tratamiento así como de los encargados del departamento de ambiente de la empresa en cada una de las visitas fueron realizadas en un lapso de dos semanas.

- *Comprensión detallada de cada una de las etapas del proceso. Se reconocieron las diferentes etapas del proceso,* en cada una de ellas se observaron con detalle cada maquinaria, materias primas, así como también la función que cada una de ellas cumplía dentro de la planta, para lograr el entendimiento global de las acciones llevadas en el tratamiento de las aguas residuales.

Identificación de los puntos más adecuados para la toma de muestras para su posterior análisis físico-químico. Conjuntamente con el laboratorio contratado por la empresa para dicho análisis, el personal que labora en la planta y los encargados del departamento de ambiente de la empresa, se discutieron acerca de cuáles deberían ser los puntos más adecuados para la toma de tales muestras; para ello se analizaron las etapas más críticas en las cuales el agua a tratar necesita ser monitoreada para analizar el avance del tratamiento y así determinar si en la etapa anterior se cumplió con un procedimiento efectivo, siendo 4 los puntos de muestreo fijados: entrada y salida

del tratamiento físico-químico, dentro del reactor biológico y a la salida de la planta de tratamiento.

- *Toma de muestras:* Tanto la captación y técnicas de preservación de muestras fueron realizadas por parte del laboratorio que se encargaría de su posterior análisis, para ello los mismos siguieron las pautas del “Manual de Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas de Desecho” de la A.P.H.A., 20va. Edición.

- *Identificación de los parámetros de las muestras tomadas:* Luego de realizar la toma de muestras, las mismas fueron llevadas al laboratorio Tac C.A. para su posterior análisis en sus instalaciones, más tarde ellos emitirían por escrito los resultados de los análisis llevados.

- *Comparación de los resultados obtenidos con los reportados en los parámetros de diseño así como también de los reportados en las leyes correspondientes:* Para realizar estas comparaciones es necesario establecer los valores de los parámetros contra los cuales se discriminarán los valores emitidos, para ello se cuentan con dos decretos donde se especifican dichos parámetros: el 3219 sobre las Normas sobre la Clasificación y Control de la Calidad de las Aguas en la Cuenca del Lago de Valencia y el 883, se necesita hacer más estrictos los valores a ajustar, pues el propósito de el agua tratada así lo demanda, para ello se tomaran los valores mas pequeños permitidos que aparezcan en ambas leyes para tomarlos como patrones y así lograr mayor calidad en el agua tratada. Una vez definidos estos valores se contraponen con los reportados en la caracterización emitida por el laboratorio, y se definen cuales parámetros se encuentran fuera de los rangos permitidos, y así especificar cuales serán las etapas que se deberán tomar en cuenta para someterlas o no a modificaciones.

IV.2 Determinación de las etapas poco eficientes del proceso de tratamiento.

El orden de la metodología usada para cumplir con este objetivo específico es el siguiente:

- *Identificación de todas las posibles etapas así como los equipos y variables que no estén operando de manera efectiva:* Para lograr identificar las posibles etapas del proceso que están operando de manera limitada, se utilizó la información de eficiencias proporcionadas por el laboratorio contratado para tal fin, se analizaron los valores de los porcentajes reportados para cada parámetro en cada etapa y según estuvieran los

primeros dentro o no de el rango permitido, se procedió a estudiar de manera mas detallada la segunda y así generar hipótesis de cuales podrían ser las variables y/o equipos que estuviesen funcionando de manera incorrecta o limitada. Además se utilizaron los comentarios emitidos durante las entrevistas y posteriores tormentas de ideas realizadas con el personal de la compañía los cuales tienen un contacto más prolongado con el proceso y por tanto saben cuales variables son más factibles a analizar en cuanto a su influencia en el proceso.

- *Desarrollo de diagramas de causa efecto:* Para el desarrollo del mismo, se fijo como el efecto a analizar que los parámetros físico-químicos a la salida de la P.T.A.R.I se encontraran fuera de las especificaciones contempladas en las leyes ambientales pertinentes, posteriormente se ordenaron las causas posibles según el esquema de las 6 emes: metodología, materiales, mano de obra, maquinaria, medio ambiente y medición; para cada una de ellas se enumeraron todas las posibles fuentes que pudieran generar en cada caso el efecto bajo estudio, así se estructura el diagrama de manera tal que las causas apunten hacia el efecto que las acompañan.

- *Estudio cualitativo de cada una de las posibles causas involucradas en cada una de las ramas del diagrama causa-efecto:* Una vez desarrollado el diagrama causa efecto, se procedió a descartar cada una de las causas probables o no que se encontraban en cada una de las ramas del mismo, para decidir cuales son o no causas del problema estudiado se utilizó los resultados obtenidos de la caracterización de la planta de tratamiento, lo descrito en la parte teórica de cada etapa, la inspecciones realizadas y las entrevistas al personal de la misma.

- *Selección de las causas del problema estudiado:* Para ello primero se tomaron en cuenta las causas señaladas en las entrevistas, se compararon con lo observado durante la inspección y finalmente se verificaron con los resultados de la caracterización y las bases teóricas pertinentes a esa etapa en estudio, así solo si se verificaban que eran causa real del problema y se señalaron como tal.

IV.3 Propuestas de alternativas para la mejora de la P.T.A.R.I.:

Los pasos seguidos para desarrollar este objetivo son los siguientes:

- *Generación de alternativas para la mejora de la P.T.A.R.I.:* Se estudiaron las causas del problema bajo estudio identificadas a través del diagrama de causa efecto construido, y se verificó la posibilidad de modificar dichas causas de manera tal manera que cause un efecto correctivo en los parámetros que dicha etapa involucra, para ello fue necesario el rediseño de algunas maquinarias con sus respectivos métodos de funcionamiento, para las modificaciones se tomó como referencia lo mostrado por Rivas Mijares en su publicación: Tratamiento de Aguas residuales, así como también lo establecido por la W.P.C.F. (Manual of Practice #8); usando una hoja de cálculo, se procedió a programar los modelos matemáticos dispuestos para el rediseño de los equipos, variando ciertas medidas una y otra vez hasta lograr cumplir con los requerimientos buscado, al mismo tiempo que las restricciones impuestas por las ecuaciones utilizadas.

Para la corrección de las causas encontradas también fue necesario el uso de información acerca de un rediseño hecho a un equipo en un trabajo especial de grado anterior, el cual nunca se implementó pero en vista que se detectó la necesidad del uso del mismo, se procedió a tomar textualmente las magnitudes expuestas en dicha tesis de grado. También se estudió la posibilidad de adicionar una etapa de tratamiento terciaria, previa a la salida de la planta para corregir parámetros que no pudieron ser corregidos con las propuestas hechas, para ello se estudiaron todas las posibles tratamientos disponibles y se escogió el más adecuado al proceso.

Por último, se procedió a agrupar los cambios propuestos anteriormente de manera tal de proponer 3 alternativas definitivas, para ello se debe cumplir que las correcciones que integran cada una de las 3 alternativas deben ser tal que se corrijan la mayor cantidad posible de los parámetros que se desean mejorar.

- *Descripción detallada de cada una de las alternativas propuestas:* Una vez generadas las alternativas, se procede a detallar de manera minuciosa cada una de ellas, para ello se realiza una representación gráfica de cada uno de los cambios propuestos, además de colocar las especificaciones técnicas que ellas involucran, se representa gráficamente, y se explica como ayudará a proceso de tratamiento la implementación de la misma.

IV.4 Evaluación de las alternativas concebidas con el propósito de seleccionar de la alternativa ambiental, técnica y económicamente más conveniente:

El desarrollo de este objetivo involucró los siguientes pasos:

- *Uso de la matriz de selección para cada una de las propuestas de mejora.* Para el uso de una matriz de selección, es necesario determinar antes los aspectos a evaluar en cada una de las filas y columnas de la misma, para ello se toman en cuenta los tres aspectos que se desea cumpla la alternativa seleccionada, como son el impacto ambiental que causará la propuesta, la complejidad y eficiencia técnica y los costos involucrados en la misma. Los aspectos técnicos y ambientales están íntimamente relacionados, pues al tratarse de una planta de tratamiento cualquier eficiencia o deficiencia en la misma afectará de manera significativa al medio ambiente que la rodea; una vez analizado lo antes expuesto, se establecen los parámetros a evaluar, con sus respectivos porcentajes que indican la importancia de cada uno con respecto al resto, en la tabla 3.1 se muestran los mismos de manera detallada.

Para la escogencia de los parámetros así como los porcentajes de cada uno de ellos, se consultó al departamento de calidad de la empresa, los cuales establecieron cuales parámetros deberían ser los que mayor porcentaje tuvieran, dejando a criterio propio los de los demás, pero sin propasar la ponderación de los ellos consideraron más relevantes. Como se observa en la tabla 4.1, los parámetros con mayor ponderación son inversión inicial, eficiencia, tiempo de construcción e implementación y consumo de materiales, parámetros de alta relevancia para la empresa ya que representan la parte en la cual se invierte dinero para que la propuesta a evaluar se implemente, la inversión inicial por supuesto es la que en sentido monetario tiene mayor relevancia porque supone la movilización de capital que se dejaría de invertir en la empresa, la eficiencia debido a que de ella depende de la calidad del agua a obtener y por ende se cumple con los decretos ambientales para ser usada como agua de riego, el tiempo de construcción e implementación ya que debido a que la interrupción del proceso de tratamiento implica la acumulación del efluente, por tanto se requiere el traslado del mismo o a la planta de tratamiento de otra subdivisión, o pagar para que sea tratado fuera de la planta por una empresa contratada para tal fin, y el consumo de materiales, pues el aumento del consumo de los mismo requiere un aumento en la

cantidad de dinero dispuesto para el funcionamiento de la planta. Variables de menor valor son: espacio físico, ya que la planta se encuentra fuera de las instalaciones principal del área de operaciones de la empresa; la facilidad de operación, ya que se cuenta con personal entrenado en la planta de tratamiento que es capaz de manejar la propuesta a implementar, el mantenimiento, ya que ninguna propuesta involucra un cambio significativo de manera tal que involucre una alta demanda de mantenimiento, y la cantidad de desechos generados debido a que las propuestas no aumentan de manera significativa el aumento de los mismos.

Una vez establecido los parámetros a evaluar y los porcentajes de los mismos, se procede a rellenar la matriz de selección, para ello se utilizó el formato contemplado como la tabla 4.2, en el cual se pondera para cada parámetro cada alternativa, pero el valor a colocar en cada casilla es la multiplicación del porcentaje de cada parámetro por puntaje escogido según sea el caso.

- *Selección de la alternativa con mayor ponderación:* Una vez ponderadas cada una de las casillas de la matriz de selección y totalizadas las columnas de cada alternativa, se escoge como la propuesta seleccionada a aquella que posea el mayor de valor en la casilla de totales correspondiente

TABLA 4.1 PONDERACIÓN PARCIAL DE CADA UNO DE LOS CRITERIOS EMPLEADOS PARA EL USO DE LA MATRIZ DE SELECCIÓN

CRITERIO	PORCENTAJE	PUNTAJE
Inversión Inicial	15	10 puntos: Inversión alta
		20 puntos: Inversión media
		30 puntos: Inversión baja
Espacio Físico	5	10 puntos: Gran espacio
		20 puntos: Moderado
		30 puntos: Reducido
Mantenimiento	10	10 puntos: Complejo
		20 puntos: Moderado
		30 puntos: Sencillo
Eficiencia	20	10 puntos: Baja
		20 puntos: Media
		30 puntos: Alta
Facilidad de Operación	5	10 puntos: Difícil
		20 puntos: Moderada
		30 puntos: Fácil
Tiempo de construcción e implementación.	15	10 puntos: Largo
		20 puntos: Moderado
		30 puntos: Corto
Mano de obra requerida para su construcción.	10	10 puntos: Alta
		20 puntos: Moderada
		30 puntos: Baja
Consumo de materiales	15	10 puntos: Alto
		20 puntos: Medio
		30 puntos: Bajo
Cantidad de desechos generados	5	10 puntos: Alto
		20 puntos: Medio
		30 puntos: Bajo

TABLA 4.2 MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LA ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA AJUSTAR LOS PARÁMETROS A LA SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACUERDO CON LOS DECRETOS AMBIENTALES ACTUALES

Alternativas Criterios	1	2	3
	%C * P	%C * P	%C * P
Totales			

IV.5 Estimación de la relación beneficio/costo de la propuesta seleccionada, con la finalidad de determinar la factibilidad de su implementación:

Para realizar la factibilidad económica del proyecto aquí presentado, se usa una relación del tipo beneficio/costo, debido a que el proyecto presentado está relacionado con el área ambiental por lo tanto los beneficios que se estarían presentando no se podrían cuantificar, debido a que se pudiera estar poniendo en riesgo o no la vidas de algunos animales, plantas e incluso personas, además, no se estan presentando ganancias sino solamente un ahorro, por tales razones se procede de la siguiente manera para lograr el objetivo propuesto.

- *Estimación del costo de implementación de la propuesta:* Para lograr estimar los costos involucrados para la implementación de la propuesta se necesitaron varias fuentes, con la ayuda de Internet, se cotizaron los precios correspondientes a los nuevos tanques que se necesitan para el tratamiento físico-químico, así como también el del cono Imhoff necesario para el control de la concentración de las bacterias en el

reactor biológico, para la cotización de la nueva trampa de grasas fue necesario consultar a la empresa encargada en realizar el proyecto para pedir una estimación del mismo. Luego una vez conocidos todos los gastos necesarios para la implementación de la propuesta, se estima un tiempo de vida del proyecto a 10 años, y así se obtiene el equivalente anual del mismo.

- *Cálculo de ahorro del costo de implementación de la propuesta:* El ahorro percibido está representado por la cantidad de agua para riego de áreas verdes que se recuperaría una vez ajustados los parámetros del agua a la salida de la planta, la cual se podría usar para tal fin en lugar de usar agua proveniente para hidrocentro lo cual incurre en un gasto innecesario debido a que se cuenta con un planta de tratamiento que si la cual funcionara de manera efectiva podría acondicionar el efluente a la entrada de la misma para ser usado como agua de riego. Para el cálculo cuantitativo de éste ahorro, se calcula la cantidad de litros por día de agua que sale de la planta de tratamiento la puede ser usada, luego con ese dígito y con el precio que le cuesta a la empresa cada litro de agua proveniente de la calle, se calcula la cantidad de dinero por mes que se ahorra por usar el agua tratada, el cual representa el ahorro que se percibirá por año.

- *Estimación de la relación beneficio/costo de la propuesta seleccionada:* Para esta estimación se divide el total de los beneficios percibidos, ente el total de los costos necesarios para la implementación de la propuesta, dicha relación se requiere que sea ≥ 1 para que se considere factible la aplicación de la propuesta seleccionada. En el trabajo realizado, esta relación siempre cumplirá con la relación antes mostrada debido a que los beneficios obtenidos en cuanto a el aspecto ambiental son incalculables, por ello siempre serán mucho mayores a cualquier costo necesario para su implementación; sin embargo, como la implementación de la propuesta no solo trae beneficios desde el punto de vista ambiental sino que también se obtendría un ahorro de dinero si se usa el agua tratada como agua de riego, por lo tanto se calculará una relación beneficio/costo usando dicho ahorro como los beneficios cosechados para comprobar que si no solo teniendo en cuenta el impacto ambiental se podría decir que el proyecto es económicamente factible.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este segmento del estudio se contemplan todos los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, así como también la comprensión detallada de cada uno de ellos basándose en los lineamientos teóricos que se encuentran en los capítulos anteriores.

V.1 Determinación de las condiciones de operación en cada una de las etapas de la planta de tratamiento.

Para la toma de muestras del efluente necesarias para la caracterización de la planta de tratamiento se necesitan establecer los puntos más indicados donde hacer el muestreo, después de analizar cada una de las etapas del proceso y estudiar el efecto de cada una de ellas en el proceso global se llegó a la conclusión de que las etapas críticas del mismo son dos: el tratamiento físico-químico y el biológico, y que además debían ser 4 los puntos donde se deberían tomar las muestras; el primero es a la entrada de la etapa de tratamiento físico-químico, más exactamente en el caudal de salida de la tubería que lleva el agua desde el tanque de igualación hacia el de coagulación; la razón es que se necesita saber las características del agua y su caudal justo antes de entrar a esta etapa en donde se prepara el efluente para retirarle la carga orgánica, comparando estos valores con los establecidos en el diseño original de la planta de tratamiento se podrá prever que tan sobrecargado o no se encontrará esta etapa.

El segundo se toma a la salida de dicha etapa, justo a la salida del tanque de floculación, así se puede medir la eficiencia de la etapa de tratamiento físico-químico, pues si éste no funciona de manera efectiva, el proceso de digestión de la carga orgánica llevada a cabo en el reactor biológico no se podrá llevar a cabo convenientemente, además de conocer el caudal de salida de dicha etapa, necesario para una posible modificación del tanque donde se lleva a cabo.

Dentro del reactor biológico, ya que es necesario medir los parámetros que verifican las condiciones más favorables para que las bacterias a cabalidad el proceso de reducción de la carga orgánica en el reactor.

Y por ultimo, a la salida de la planta de tratamiento, lugar más importante pues es donde se verifica el buen funcionamiento o no del sistema global, midiéndose allí los parámetros que se desean regular en el efluente de agua tratado para así poder verterlo sin afectar al medio ambiente.

Una vez recolectadas las muestras correspondientes, el laboratorio Tac C.A. emitió los resultados siguientes:

TABLA 5.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO REALIZADOS A LAS DIFERENTES MUESTRAS TOMADAS EN LAS DIFERENTES PARTES DE LA P.T.A.I.R.

Parámetro	Unidad	Código de Muestra				Código (*)
		E-06-06-050	E-06-06-051	E-06-06-052	E-06-06-053	
Color	Unid. Pt / Co	1000	30	150	--	2120-B
Sólidos Totales	mg/l	3395	3090	1465	--	2540-B
Sólidos Disue. Totales	mg/l	3008	2718	1377	--	2540-C
Sólidos Susp. Totales	mg/l	387	372	88	11370	2540-D
Sólidos Totales Fijos	mg/l	880	2235	1145	--	2540-E
Sólidos Susp. Fijos	mg/l	34	30012	8160	8160	2540-E
Sólidos Tot. Volátiles	mg/l	2515	855	320	--	2540-E
Sólidos Susp. Volátiles	mg/l	353	72	76	3210	2540-E
Sólidos Sedimentables	mg/l	--	---	<0,1	--	2540-F
Sólidos Flotantes	mg/l	--	--	--	--	2540-F
Demanda D.O.	mg/l	1100	452	210	--	5210-B
Demanda Q.O.	mg/l	6205	2349	551	--	5220-B
A & G Totales	mg/l	1360	47	35,2	--	5520 B ó C
Fósforo Total	mg/l	14	6,68	2,32	--	4500-P-D
Nitrógeno Total	mg/l	115,8	108	56	--	4500-N-B
Cromo Total	mg/l	0,08	--	0,07	--	3111-B
Cobre	mg/l	0,16	--	0,03	--	3111-B
Hierro	mg/l	8,0	--	0,22	--	3111-B
Plomo	mg/l	0,09	--	0,06	--	3111-B
Níquel	mg/l	0,14	--	0,09	--	3111-B
Zinc	mg/l	5	--	0,38	--	3111-B

Fuente: Laboratorio TAC C.A., 2006

(*)Codificación según los Métodos Estándar APHA, 20va Edición.

Luego se comparan los valores obtenidos a la salida de la planta de tratamiento con los mínimos exigidos entre las dos normas ambientales bajo las cuales se

compararán los valores anteriores: la primera es el decreto 3219 de las Normas sobre la Clasificación y Control de la Calidad de las Aguas en la Cuenca del Lago de Valencia para las aguas que se vierten en los canales que van al Lago de Valencia ya que no toda el agua se utilizaría para riego por ser esta mayor que la necesitada para tal fin, por tanto el excedente es necesario verterlo al lago de Valencia y por tanto es necesario que cumpla con el decreto antes mencionado y así no contaminar tan importante masa de agua dulce.

El segundo es el decreto ambiental 883, el cual condiciona los parámetros físico-químicos del efluente según la clasificación del mismo, en nuestro caso se refiere a “Agua destinada a usos agropecuarios” lo cual la hace del tipo 1, y del subtipo 2B ya que es un “Aguas para el riego de cualquier otro cultivo distinto al de consumo humano y para uso pecuario”, para decidir cual de los dos valores reportados para cada parámetro usar como valor patrón contra el cual comparar, se usará el valor más pequeño reportado en cada caso, asegurando así que el mismo cumplirá con ambos decretos ya que se puede estar por debajo de estos valores pero nunca por encima. La tabla comparativa entre los valores reportados en los decretos antes nombrados y los obtenidos en la caracterización se muestran en la tabla 5.2.

Al comparar dicha tabla se observa que la concentración de los Sólidos Suspendidos, DBO_5 , DQO, A&G Totales, Fósforo, Nitrógeno, Cromo y Plomo se encuentran por encima de los valores mínimos permitidos, razón por la cual amerita la ejecución de una acción correctiva para ajustar dichos valores y poder seguir operando sin atentar en contra del medio ambiente. Es importante destacar además que los niveles de Sólidos Suspendidos y Aceites & Grasas tanto a la entrada, como a la salida de la etapa Físico-Químico son altos, lo cual implica que esta etapa no se está controlando adecuadamente y conlleva a la aplicación de una mayor carga sobre el sistema biológico. Así mismo la relación DBO_5 / DQO de este vertido es de 0,19; lo que implica que el vertido no es fácilmente biodegradable y por consiguiente no se logre su adecuado tratamiento en la etapa biológica. Se afirma entonces que en la actualidad la planta de tratamiento se encuentra trabajando con 8 parámetros fuera de los mínimos valores permitidos, de los cuales los 6 relacionados con las cargas biológicas del

efluente se encuentran muy por encima de lo deseado, y los otros dos restantes (metales pesados), de una manera marginal.

TABLA 5.2 RESUMEN COMPARATIVO ENTRE LOS VALORES OBTENIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LA P.T.A.R.I. Y LOS DECRETOS AMBIENTALES 3219 Y 883

Parámetros	Unidad	Valores Obtenidos a la Salida Planta de Tratamiento	Valores mínimos reglamentados por M.A.R.N.
Color	Unid. Pt / Co	150	500*
pH Mezcla	Adim.	7,72	6,00 - 9,00*
Sólidos susp. Totales	mg/l	88	80*
DOB ₅	mg/l	210	60*
DQO	mg/l	551	350*
A&G Totales	mg/l	32,2	20*
Fósforo	mg/l	2,32	1,0*
Nitrógeno	mg/l	56,0	10*
Cromo Total	mg/l	0,07	0,05**
Cobre	mg/l	0,03	0,2**
Hierro	mg/l	0,22	1,0**
Níquel	mg/l	0,09	0,5**
Zinc	mg/l	0,38	5,0**
Plomo	mg/l	0,06	0,05**
Temperatura	°C	28,6	+ de 3° del cuerpo receptor*

Fuente: Laboratorio TAC C.A., 2006

* Valores reportados en el decreto 3219.

** Valores reportados en el decreto 883.

V.2 Determinación de las etapas poco eficientes del proceso de tratamiento.

Para establecer que tan desviados se encuentran los parámetros más relevantes a ser corregidos, el laboratorio proporciona las eficiencias del tratamiento físico-químico, biológico y de la planta, los resultados se encuentran en la siguiente tabla:

TABLA 5.3 EFICIENCIA DE LAS DISTINTAS ETAPAS DEL PROCESO LLEVADO A CABO EN LA P.T.A.R.I.

Parámetros	Eficiencia del Tratamiento Físico-Químico	Eficiencia del Tratamiento Biológico	Eficiencia Global de la Planta
Color	99,70	--	98,50
Sólidos Suspendidos	3,88	76,34	77,26
DOB ₅	58,91	53,54	80,91
DQO	62,14	76,54	91,12
A&G Totales	96,54	25,11	97,41
Fósforo	52,29	65,27	83,43
Nitrógeno	6,74	48,15	51,64

Fuente: Laboratorio TAC C.A., 2006

De donde se observa que la menor eficiencia se encuentra en la eliminación de sólidos suspendidos y de nitrógeno en el tratamiento físico-químico, por lo cual se termina de afirmar que el tratamiento físico-químico presenta irregularidades bastante agudas, pues el objetivo principal del mismo es la remoción de sólidos suspendidos. Así mismo se afirma que la menor efectividad global de la planta es en la eliminación de nitrógeno, razón por la cuál se observa la presencia de espuma en el agua a la salida de la planta.

Aún cuando la eficiencia en la eliminación de DOB₅ y DQO son de 80,91 y 91, 12 % respectivamente, dichos valores se encuentran fuera de los mínimos establecidos por las leyes y decretos ambientales, por lo tanto las alternativas para la optimización de la planta de tratamiento deben estar enfocadas entre otras cosas, a aumentar la eficiencia en la remoción de estos dos parámetros. También se observan al cromo y al plomo

ligeramente fuera de los rangos permitidos, estos metales pesados se eliminan en la primera etapa de coagulación usando cal hidratada por tanto se cree que la posible razón de esta situación está asociada a esta etapa. El otro parámetro fuera del rango es el fósforo en el efluente, y según las eficiencias mostradas en la tabla 5.3 se puede apreciar que la etapa menos eficiente de las estudiadas es la del tratamiento físico-químico, y aún cuando sabemos que es en el tanque de remoción de fósforo el proceso donde se lleva a cabo el desplazamiento del elemento en mayor proporción, es importante contar con una elevada eficiencia en cada una de los pasos anteriores y posteriores a este para que la concentración del parámetro antes nombrado sean las buscadas.

Para lograr identificar las causas más significativas del problema bajo estudio sin descartar ninguna de las posibles fuentes, se desarrolló el diagrama de causa-efecto mostrado en la figura 5.1, del cual se tiene el siguiente análisis:

Materiales:

Polímero floculante, sulfato de aluminio, hidróxido de calcio e hipoclorito: el uso de los mismo data de la misma fabricación de la planta, por tanto su escogencia fue parte de un exhaustivo estudio por parte de los diseñadores, además se almacenan de manera tal que se asegura que los mismo conserven sus propiedades, por tal razón se descartan éstos como una posible causa.

Aire: El aire utilizado en el proceso de biodigestión es tomado del medio ambiente, por tanto la calidad del mismo se considera adecuada tomando en cuenta el propósito para el cual se utiliza, por tal razón no se considera una causa probable.

Medio Ambiente:

Todas las posibles causas asociadas al medio ambiente se descartan ya que la temperatura y presión atmosféricas son más o menos constantes y no influyen de manera significativa en los parámetros bajo estudio, y las lluvias que se pudieran presentar a lo largo del año no alteran ninguno de los procesos llevados a cabo en las etapas de tratamiento.

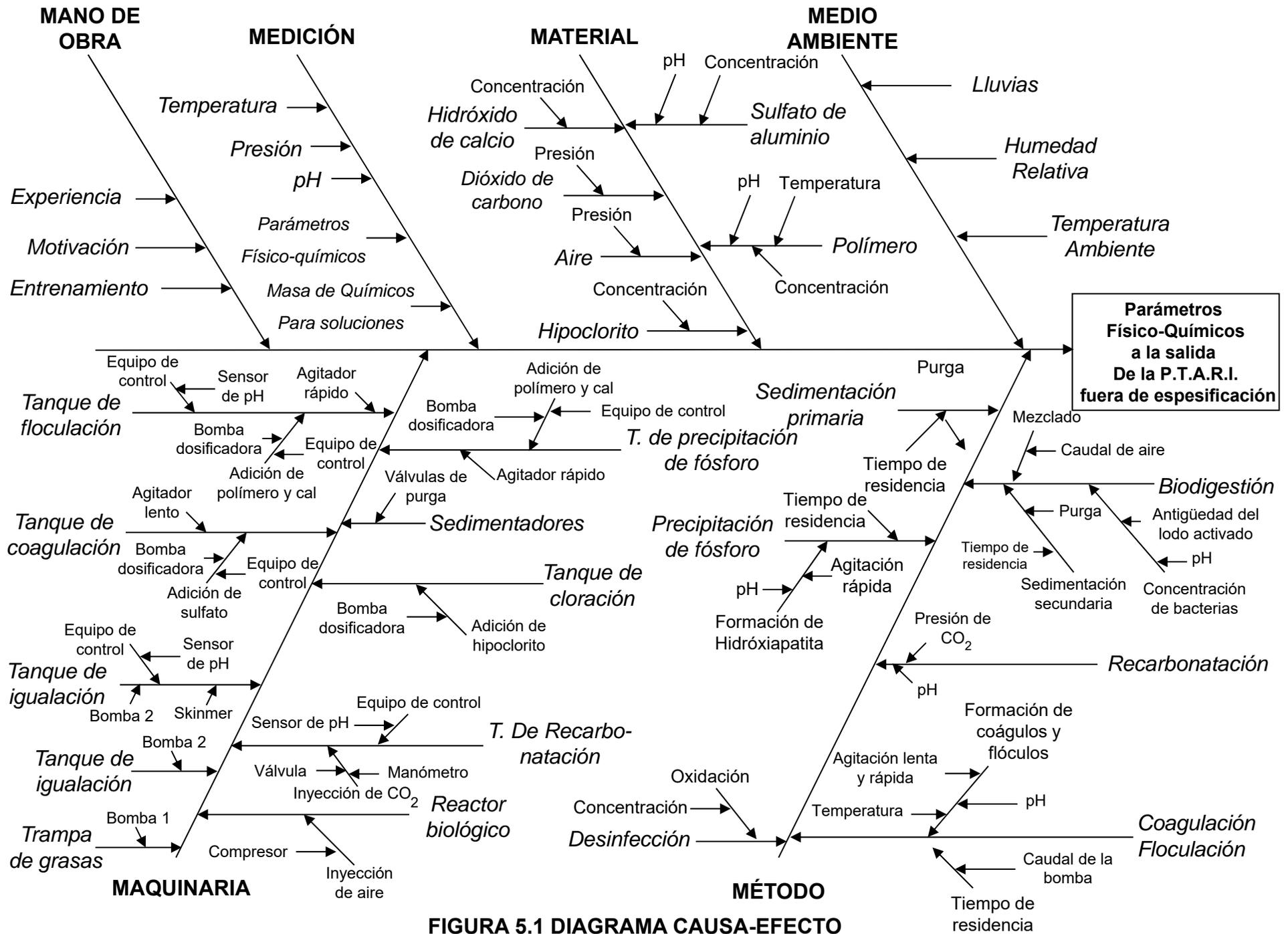


FIGURA 5.1 DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

Mano de obra:

Las personas que laboran tanto directa como indirectamente en la planta de tratamiento, son personas con amplia experiencia y conocimientos del proceso, además gozan de un salario acorde con su trabajo que motiva la correcta realización del mismo, por tal razón no se toman como una causa del problema analizado.

Maquinaria:

Trampa de grasa: son una de las maquinarias que evidencian mayor deficiencia en toda la planta, las mismas no separan de manera efectiva las grasas y aceites del efluente, pues el efluente que entra a la misma y el que llega al tanque de igualación son del mismo color, negro oscuro, prueba de que las A&G no son retenidas en dichas trampas, las mismas si serán consideradas como causa del problema bajo estudio ya que el alto contenido de material orgánico contenidos en las A&G hacen elevar de manera significativa el DOB₅ y DQO del efluente.

Tanques de igualación y concentración: ambos tanques son de un tamaño tal que logran primero mezclar el efluente y posteriormente separar la fase orgánica de la acuosa de manera bastante eficiente, pues el agua que llega a la siguiente etapa es de un color claro, por tal razón ambos se descartan como posible causa probable.

Tanque de coagulación-floculación: como se evidencia en la tabla 5.3, la eficiencia en el proceso llevado a cabo en estos tanques es baja en lo que respecta a la función principal de los mismos, la cual es remover los sólidos suspendidos. El tamaño de los tanques mencionados afecta de manera significativa su eficiencia ya que el tiempo de residencia en los mismos determina la cantidad de sólidos suspendidos a remover, por esto ambos tanques serán considerados como causa del problema estudiado.

Tanque de precipitación de fósforo: como se aprecia en la tabla 5.2, el nivel de fósforo a la salida de la planta es mayor al mínimo deseado para cumplir con los niveles especificados en el decreto 3219, siendo este tanque destinado exclusivamente para tal fin, es necesario tomarlo como una causa a estudiar.

Tanque de cloración: cuando se revisó este tanque no se observó ningún desperfecto, además no se aprecia abundancia de bacterias a la salida de la planta, por esto no se considerará el mismo como una posible causa a analizar.

Reactor biológico y tanque de recarbonatación: cuando se revisaron ambos tanques, no se evidenció desperfecto alguno, el tamaño y disposición de los mismos eran los adecuados, por eso no se tomarán como fuente del problema estudiado, el único problema encontrado fue un soplador que suministra aire a uno de los reactores biológicos, el cual se encontraba dañado, por tanto es la única maquinaria de esta etapa que requiere modificación.

Método:

De las seis posibles causas de esta rama, solo se consideraran como causa del problema planteado tres de ellas, la primera el tratamiento físico-químico ya que los niveles de sólidos en el agua así como de algunos metales pesados son muy altos, la segunda es la etapa de precipitación de fósforo, ya que los niveles del mismo son muy altos a la salida de la planta de tratamiento; y por último el proceso de tratamiento biológico, ya que los niveles de materia orgánica se encuentran muy elevados. Por tal razón los valores de DOB_5 y DQO se encuentran muy por encima de los mínimos deseados; las demás posibles causas se descartan porque no hay evidencia de poca eficiencia en los métodos involucrados.

Medición:

Todos los equipos de medición como son: manómetros, rotámetros e indicadores de pH reciben periódicamente revisión y mantenimiento, y las mediciones de masa de los productos químicos para preparar las soluciones se realizan con balanzas cuyas apreciaciones no afectan de manera significativa las concentraciones de dichas soluciones, por tal razón se pueden descartar todas como una causa del problema estudiado.

V.3 Propuestas de alternativas para la mejora de la P.T.A.R.I.

Una vez analizado el diagrama de causa efecto construido, y localizadas las causas del problema bajo estudio (parámetros a la salida de la planta fuera de especificaciones), se procede al rediseño de las maquinarias-metodología que presentan fallas; a continuación se presentan los rediseños propuestos:

Rediseño de la trampa de grasas:

Actualmente la trampa de grasa que se encuentra en las instalaciones de la planta de tratamiento no cumple la función para la cual fue creada, como es la de separar las grasas y aceites del efluente, en su lugar, la misma sirve solo como una especie de tanque de igualación, ya que los vertidos hechos en ella no experimentan separación de fases que permitan la remoción de la capa orgánica de la acuosa, como es lo deseado. La deficiencia de esta etapa, es la principal causa de que los parámetros bajo estudio se encuentren por encima de los límites deseados ya que la planta de tratamiento no está diseñada para trabajar en cada una de sus etapas con las grandes cantidades de grasas y aceites que actualmente están entrando, la solución del mismo debe ser inmediata para asegurar que las etapas siguientes funcionen adecuadamente.

Sabiendo la necesidad urgente que requiere la solución del problema, la empresa contrató una compañía dedicada a la solución de este tipo de trabajos para que realizara una propuesta de una mejora en las instalaciones de la actual trampa de grasas y aceites, dicha propuesta no ha sido implementada aún. Aunque la información de los detalles de la propuesta no pueden ser expuestos en el presente trabajo de grado debido a que la empresa no permite su divulgación, se realizó una revisión del mismo y se examinó el contenido del informe presentado para llegar a la conclusión de que es el más adecuado para solventar el inconveniente de la trampa de grasas que actualmente se presenta, ya que propone una solución que si bien requiere de una inversión inicial moderada, resolvería la complicación sufrida ya que contempla la completa remodelación y modernización de las instalaciones de manera de adaptarla a los caudales y niveles de elevada carga orgánica en forma de grasas y/o aceites que el efluente presenta.

Como se comentó anteriormente, no se está permitido exponer datos específicos de la proposición de mejora, pero a grandes rasgos la misma consiste en la construcción de una "Estación Principal de Bombeo y Regulación de Flujos" la cual es la primera cámara receptora de efluente industrial crudo, y consiste de un tanque de concreto de aproximadamente 20 m³, adicionalmente a la entrada del mismo se plantea la construcción de una cesta enrejada para remoción de sólidos de gran tamaño. Posterior

al tanque antes nombrado se plantea la instalación de un par de bombas horizontales y una serie de tuberías, válvulas y medidores de flujos para llevar el efluente hacia la Unidad de Separación Gravimétrica de Aceites y Grasas API, la cual consistente de un tanque de concreto armado semienterrado dotado de cámaras, tabiques y elementos de control que permiten el tratamiento efectivo de los aceites y grasas libres mediante la separación gravimétrica conforme a los estándares del Instituto Americano del Petróleo (API), la misma se encuentra provista además de una unidad desnatadora (Oil Skinmer) para la eliminación de grasas y aceites del líquido.

Sabiendo que la empresa cuenta con todas las especificaciones necesarias para la aplicación de la propuesta antes descrita, se recomienda su instalación y puesta en funcionamiento, ya que la misma daría respuesta al problema que se está presentando.

Rediseño del tanque de coagulación:

El tanque coagulación fue otra de las causas encontradas como promotor de la alteración de alguno de los parámetros que se encuentran fuera de especificaciones, por tal razón amerita remodelar el mismo para asegurar que pueda lograr llevar los valores de dichos parámetros a los deseados; a continuación se especifica las consideraciones hechas para tal fin.

Cuando se realizó el diseño de planta el máximo caudal a la entrada del tratamiento físico-químico era de 3,7 L/s y se utilizó como caudal de diseño 5 L/s, sobredimensionando el tanque como precaución por si llegara a aumentar dicho caudal a futuro, como se observa en la tabla C1 del apéndice C. Actualmente el mismo es de 3,83 L/s, así para seguir con esa proporción se toma como el nuevo caudal de diseño el mismo valor de 5 L/s. El tiempo de retención requerido para la floculación usado para el diseño de la planta fue de 60s, el Manual de Tratamiento de Aguas de Rivas Mijares (1.978) indica que dicho periodo se debe encontrar entre (30-120)s, para los cálculos realizados se tomó un tiempo de retención de 120 s, ya que si se observa el caudal a la entrada del tratamiento físico-químico cuando se diseñó la planta de tratamiento y el que actualmente se maneja, son muy similares, por tal razón precisa aumentar el tiempo de retención dentro del tanque a 120 s para lograr un proceso más eficiente ya que los valores de las concentraciones de coagulantes usados actualmente son los óptimos ya que derivan de pruebas de jarra hechas para el efluente que actualmente es

tratado. Llevando al doble el tiempo de retención se aumenta el volumen requerido en el tanque al doble de su capacidad, aumentando al doble también el tiempo de interacción entre el sulfato de aluminio y el efluente y asegurar una mayor remoción de emulsiones de aceites y grasas. En el apéndice B se detallan las especificaciones del tanque y el agitador propuesto.

Rediseño del tanque de floculación:

Para el rediseño de este tanque al igual que en el anterior, se tomó un caudal de diseño igual que el tomado cuando se diseñó originalmente el mismo, siendo dicho valor 5 L/s, así mismo al igual que en el caso anterior se requiere de un mayor tiempo de residencia para aumentar el contacto entre la cal, el polímero y los coágulos y por ende aumentar la aglomeración de los últimos y aumentar también los flóculos a formar, dicho tiempo de residencia se aumento a 600 s, siendo este valor recomendado por Rivas Mijares (1.978). En el apéndice B se detallan paso a paso cada una de las especificaciones requeridas tanto para el tanque como para la agitación necesaria.

Rediseño del tanque de precipitación de fósforo:

Este tanque posee una agitación lenta al igual que el de floculación, por tal razón los modelos matemáticos utilizados para diseñar el primero, son los mismos que los usados para el segundo, así el tiempo de residencia propuesto es de 1200 s, el doble del valor original, y un caudal de 5 L/s, se procedió a dimensionar dicho tanque así como también el agitador mecánico para mezcla lenta, los detalles de los mismos se encuentran en el apéndice B.

Adecuación del sistema de tratamiento secundario:

Se pudiera proponer al igual que en los casos anteriores aumentar el tamaño del tanque de recarbonatación y el de los reactores gemelos en los cuales se elimina la carga orgánica del efluente por medio de digestión con bacterias aeróbicas, pero aumentar el tamaño de estos no sería la solución mas adecuada, ya que la baja eficiencia de esta etapa se debe a que le está entrando una carga orgánica superior para la que fue diseñado, además al revisar detalladamente las instalaciones de las mismas se evidenció que el soplador #2 se encuentra dañado, esto se comprueba en el bajo contenido de de oxígeno disuelto impidiendo que las bacterias lleven a cabo el proceso de oxidación biológica de la materia orgánica; en su lugar, se propone mejorar

el tratamiento con CO_2 y la manera en que se controla la calidad del lodo activado de los reactores biológicos. En el caso del tanque de recarbonatación, se dispone de un sensor de pH, que fue instalado cuando se construyó la planta de tratamiento ya que la misma funcionaba de manera automatizada, y dicho sensor se utilizaba para regular la presión de CO_2 que entra al tanque, actualmente esa presión es fija, sin importar si el pH de entrada y salida del tanque están variando en el tiempo o no. En la planta se cuenta con un terminal donde se conecta el sensor y se puede leer de manera manual el pH, siendo así la manera como actualmente se mide dicho valor. Teniendo en cuenta lo anterior se propone el formato CTR-01, el cual se muestra en el apéndice E, en donde se indica cada cuanto tiempo y a que hora exacta se debe monitorear el pH del tanque y así tomar una acción de aumentar o disminuir la presión de CO_2 inyectado hasta lograr obtener el pH que entre dentro del rango permitido.

Una vez realizada la corrección de pH de la etapa previa a los reactores, se asegura que las condiciones serán las idóneas para que los microorganismos del lodo activado actúen de manera eficiente y asegure una disminución de los parámetros deseados (DBO_5 , DQO, N, P, etc.), pero para que dicho lodo tenga la cantidad requeridas de bacterias, se necesita que el mismo sea reemplazado cuando el nivel o volumen del mismo no sea suficiente para tratar la cantidad de materia orgánica contenida en el efluente, para ello se propone la adquisición de un cono Imhoff (Figura 5.2), herramienta utilizada para medir los niveles de lodo en el reactor, el uso del mismo va acompañado del formato CLA-01, creado para tal fin, en donde se registra las medidas hechas cada día justo antes del final de la jornada de trabajo en la planta de tratamiento, además de si amerita la toma de alguna acción o no dependiendo de si los valores leídos se encuentran dentro del rango preestablecido.

Instalación de un filtro de arena y carbón activado a la salida de la cámara de cloración:

La instalación de un filtro de arena y carbón activado (Figura 5.3) se propone ya que el mismo es de gran utilidad cuando se desea disminuir los sólidos suspendidos del agua, así como también la adsorción de compuestos orgánicos no biodegradables, algunos metales pesados y de olores del cuerpo de agua a tratar, lo cual es conveniente ya que el agua tratada se desea usar para el riego de áreas verdes y es

**FIGURA 5.2 CONO IMHOFF**

necesario que dicho líquido no posea olores desagradables. Adicionalmente el carbón activado también reduce los niveles de cloro en el agua, los cuales de encontrarse altos, podrían dañar la grama haciendo que las mismas se marchiten o mueran. La instalación de este filtro, involucra una inversión inicial de moderada a alta, pues el costo del mismo es elevado además debe ser instalado junto con un sistema de bombeo con suficiente fuerza para hacer pasar el agua a través del mismo; también se debe realizar un mantenimiento periódico ya que los sólidos retenidos se irán acumulando y obstruyéndolo, el carbón activado necesita ser recargado cada cierto tiempo pues el mismo pierde sus propiedades con el tiempo.

**FIGURA 5.3 FILTRO DE ARENA Y CARBÓN ACTIVADO**

Alternativas propuestas:

Alternativa #1:

Consiste en desarrollar el diseño propuesto de la trampa de grasas, el rediseño de los tanques de coagulación y de floculación, y la adecuación del sistema de tratamiento secundario.

Alternativa #2:

Consiste en el rediseño de los tanques de coagulación y de floculación, el de precipitación de fósforo, la adecuación del sistema de tratamiento secundario y por ultimo la instalación del filtro de arena y carbón activado a la salida de la cámara de cloración.

Alternativa #3:

La última de las proposiciones consta de la realización de la nueva trampa de grasas propuesta, el rediseño del tanque de precipitación de fósforo, la adecuación del sistema de tratamiento secundario y por ultimo la instalación del filtro de arena y carbón activado a la salida de la cámara de cloración.

V.4 Evaluación de las alternativas concebidas con el propósito de seleccionar de la alternativa ambiental, técnica y económicamente más conveniente:

Para la selección de la alternativa más adecuada para la solución del problema bajo estudio, se usó una matriz de selección, en la cual se pondera cada una de las alternativas antes nombradas, para ello como se muestra en la tabla 4.1, se seleccionaron los criterios a evaluar de cada una de las propuestas así como el puntaje que cada una tiene dependiendo de que tan buena o no sean las mismas con respecto al parámetro con las que se les está evaluando. La tabla siguiente muestra las ponderaciones asignadas para cada casilla:

TABLA 5.4
PONDERACIONES DE CADA CRITERIO EVALUADO EN LAS ALTERNATIVAS
PARA AJUSTAR LOS PARÁMETROS DE LA P.T.A.R.I.

Propuestas Crterios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Inversión Inicial	20	30	10
Espacio Físico	30	20	20
Mantenimiento	30	30	20
Eficiencia	30	10	30
Facilidad de Operación	30	20	20
Tiempo de construcción e implementación	10	30	10
Mano de obra requerida para su construcción	20	30	20
Consumo de materiales	30	10	20
Cantidad de desechos generados	20	20	10

Como se observa en la tabla anterior, para la propuesta 2 se tiene la mayor ponderación correspondiente a la inversión inicial necesaria, pues la misma no contempla la obra de mayor inversión, la construcción de la nueva trampa de gasas, pues la construcción de la misma requiere además de la destrucción de la trampa actual y traslado de desperdicios, así como al igual q todos los cambios necesarios, la interrupción del proceso de tratamiento; en segundo lugar se encuentra la propuesta 1 y en ultima la propuesta 3, esto debido a que la primera a diferencia de la tercera no incluye la incorporación de un filtro de arena y carbón activado así como del sistema de bombeo asociado al mismo, lo que abarata la propuesta en cuanto a la inversión inicial.

En cuanto a lo que respecta del espacio disponible para la implementación de cada propuesta, las propuesta 1 se pondera como bajo el espacio que dicha propuesta requiere, la misma contempla el aumento del volumen de los tanques de floculación y el de coagulación pero el espacio que los mismos necesiten ocupar no es relevante, pues

los mismo están por encima del suelo elevados a lo alto, por tal razón no están limitados por ninguna otra estructura, también se contempla la construcción de una nueva trampa de grasa pero la misma se edificaría donde se encuentra la actual, por tanto no requiere de un espacio extra para su construcción; por su parte la propuesta 2 requiere de espacio moderado para el aumento de tamaño de 3 tanques, pues aún cuando los mismos al igual que en la propuesta 1 no están limitados por otras construcciones, esto requiere de disponer de un área para tal fin; lo que si requiere de un nuevo espacio para su colocación es el filtro de arena y carbón activado, pues el mismo se debería colocar a la salida del tratamiento de cloración, en el cual el área disponible es un poco más restringido pues se encontraría en el mismo plano donde se encuentran la mayor cantidad de estructuras por tanto resulta un poco complicado su disposición. Con la propuesta 3 se tiene un caso muy similar, pues la trampa de grasa y el tanque propuesto no tienen limitaciones, pero si el filtro, por lo tanto se pondera igual que la segunda.

La propuesta 1 requiere de mantenimiento sencillo, ya que la única modificación sugerida que requiere de mantenimiento continuo es la trampa de grasa, pues de la misma se debe retirar periódicamente la grasa y aceite que se ha ido acumulando, los cuales requieren de una disposición final adecuada, adicionalmente se requiere de mantenimiento preventivo de cada uno de los tanques rediseñados pero dicho mantenimiento se supone es algo ya realizado a los tanques que actualmente existen. La propuesta 2 requiere también de un mantenimiento sencillo, pues el filtro de arena y carbón activado requieren de constante retrolavado de su carga para evitar la acumulación de bacterias dentro del mismo, además se necesita recargan el carbón activado cada vez que el mismo agote su capacidad de adsorber sustancias específicas anejas al efluente. El mantenimiento que requiere la propuesta 3 se califica de moderado, debido a que en la misma se combinas los dos mencionados anteriormente.

La calificación de alta eficiencia otorgada a la alternativa 1, se debe a que la misma una vez implementada seria capaz de regular la mayor cantidad o su totalidad de los parámetros que se encuentran fuera de especificación. Al rediseñar la trampa de grasa, se regula el paso de grasas y aceites a las siguientes etapas, disminuyendo el contenido de las mismas a la salida de la planta, pero además se regula al cantidad de

materia orgánica que entra al tratamiento primario y secundario, el efecto que causa en el primero es que el mismo es capaz de remover los sólidos suspendidos efectivamente ya que la cantidad de los mismo disminuiría de manera significativa, mientras que el efecto en el segundo es que los valores de DBO₅ y DQO; el aumento del tamaño de los tanques de coagulación y de floculación, asegura que la disminución de sólidos suspendidos sea óptima así como también la eliminación más efectiva de los metales pesados que se encuentran, aunque por poco, fuera de norma; el uso de los formatos CTR-01 y CLA-01 ayudan a regular el pH del efluente a la entrada del tratamiento biológico y el nivel de lodo en los tanques respectivamente, con lo que aumenta la eficiencia del tratamiento secundario, ayudando a corregir los niveles de DBO₅ y DQO así como también los de nitrógeno y fósforo. Con respecto a la segunda alternativa, se corrigen los niveles de sólidos suspendidos y de fósforo, al aumentar los tamaños de los tanques de coagulación floculación y de precipitación de fósforo respectivamente. Con la adecuación del sistema secundario se disminuyen los niveles de DBO₅, DQO y nitrógeno, pero no de manera eficiente, ya que aún persistirían las grasas y aceites en estas etapas lo que hace mayor la carga orgánica a tratar, y con la instalación del filtro de arena y carbón activado se disminuye efectivamente los sólidos suspendidos que no se eliminaron durante todas las etapas del tratamiento así como algunos metales pesados como el plomo y el mercurio, pero no el cromo el cual es uno de los metales pesados que se encontró ligeramente alto. Por lo antes expuesto, se califica como de baja eficiencia a esta alternativa.

La alternativa 3 es capaz de ajustar la misma cantidad de parámetros a corregir que la propuesta 1, excepto por el nivel de cromo, ya que la manera de la misma de ajustar los niveles de metales pesados se realiza por medio del filtro de carbón activado, pero el mismo no es capaz de eliminar el metal pesado antes nombrado, pero como se observa en la tabla 5.2, los niveles del mismo son aceptables, ya que están marginalmente alejados del mínimo requerido por el decreto 883.

En lo que respecta a la facilidad de operación, la propuesta 1 tiene una ponderación de 30, comparada con los 20 de las propuestas 2 y3, esto se debe a que las segundas a diferencia de la primera incluyen un filtro de arena y carbón activado, el cual requiere de la necesidad de estar continuamente haciéndoles retrolavados para

evitar la acumulación de sólidos y bacterias en los mismos, sin embargo, ninguna propuesta fue calificada como de difícil operación ya que ninguna de las alternativas propuestas requieren de la necesidad de conocimientos complejos para su operación adecuada.

El tiempo necesario para la ejecución de la obra es crítico ya que todas las propuestas involucran la interrupción del proceso de tratamiento. Teniendo en cuenta lo antes expuesto, debido a que la alternativa 2 no contempla la construcción de la trampa de grasa en donde se encuentra la actual, sino solo el cambio de algunos tanques en las instalaciones de la planta de tratamiento, la misma no requiere de una cantidad de tiempo elevada, por lo tanto se le dió la calificación más alta. Por la misma razón las otras alternativas fueron clasificadas con bajo puntaje, pues se requiere de al menos una semana para la demolición, disposición de escombros y construcción de la nueva trampa de grasa.

La mano de obra requerida para implementación de la propuesta 2 es la mejor ponderada debido a que la misma sólo implica la contratación de mano de personal para la remoción de los tanques de coagulación, floculación y de precipitación de fósforo, así como para la instalación de los nuevos, además los mismos se encargarían de instalar el filtro de arena y carbón activado como también es sistema de bombeo requerido por el filtro. Las propuestas 1 y 3 en cambio, requieren de la contratación de personal con conocimientos en la construcción de tanques de grasas, además para la propuesta 1 se necesita personal para la instalación de los nuevos tanques y para la 3 no sólo para los tanques sino para la instalación del filtro de arena y carbón activado como del sistema de bombeo del mismo, por esta razón se califican de moderada ambas propuestas.

El consumo de materiales necesarios para la implementación y sostenimiento de cada propuesta es uno de los parámetros más importantes a tomar en cuenta para la selección de la alternativa a implementar, debido a los costos que el mismo involucra, la propuesta mejor ponderada es la 1, debido a el funcionamiento de la misma no involucra el consumo de grandes cantidades de materias primas con respecto a las usadas en la actualidad, debido a que de todas las modificaciones propuestas, solo el aumento del volumen de los tanque de coagulación y de floculación involucran un

incremento de las materias primas utilizadas; por su parte la propuesta 2 se estima tiene un consumo de materiales alto debido a el numero de tanques que la misma involucran (3) por lo tanto aumenta la cantidad de químicos usados, así como también por contemplar la utilización del filtro de arena y carbón activado, el cual requiere la sustitución continua del carbón activado del filtro debido a que el mismo pierde sus propiedades con el uso. Por su parte la propuesta 3 se considera de consumo medio, pues aún cuando requiere la instalación del filtro de arena y carbón activado, solo estipula el aumento del volumen de un solo tanque, el de precipitación de fósforo.

En cuanto a la cantidad de desechos generados, las propuestas 1 y 2 son las mejores ponderadas, debido a que se estima que se producen cantidades consideradas moderadas y similares en cantidad debido a que aún cuando en la primera se aumenta la cantidad de aceites y grasas recolectadas con la instalación de una trampa de grasas más eficiente y los sólidos decantados en el primer sedimentador, la segunda produce una cantidad similar de desechos debido a que no sólo se aumenta los sólidos en los dos sedimentadores primarios, sino que también se suman los desechos producidos cada vez que se le realiza el retrolavado a los tanques del filtro de arena y carbón activado para eliminar las acumulaciones de materia que en los mismos se van depositando continuamente.

Como se aprecia en la tabla 5.5, la alternativa con mayor puntaje (24) y por lo tanto la escogida como la propuesta a implementar es la alternativa 1, la cual solo difiere en 2,5 unidades de la alternativa 2, la cual totaliza 21,5, dicha propuesta tuvo varios puntos a favor con respecto a la primera como los fueron la inversión inicial y el tiempo de implementación, esto debido a la construcción de una nueva trampa de grasa que la primera propuesta contempla, pero la primera sobresale por tener una eficiencia superior y consumo de materiales más bajo. La propuesta 3 aún cuando tuvo los mismos puntos fuertes que la primera, solo totalizó 18,5 unidades debido a que en parámetros de alto porcentaje, obtuvo una mínima calificación.

Es importante señalar que dentro de la estructura de las propuesta se omitieron varias recomendaciones necesarias para lograr que la planta de tratamiento funcione eficaz y eficientemente, la razón es que sin importar cual de las propuestas se escogiera, es

necesario la implementación de dichas recomendaciones, por tanto no serian de utilidad una vez que dichas propuestas se sometieran al proceso de elección que se realizaron

TABLA 5.5 MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LA ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA AJUSTAR LOS PARÁMETROS A LA SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACUERDO CON LOS DECRETOS AMBIENTALES ACTUALES

Propuestas Criterios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Inversión Inicial	$0,15 \times 20 = 3,0$	$0,15 \times 30 = 4,5$	$0,15 \times 10 = 1,5$
Espacio Físico	$0,05 \times 30 = 1,5$	$0,05 \times 20 = 1,0$	$0,05 \times 20 = 1,0$
Mantenimiento	$0,10 \times 30 = 3,0$	$0,10 \times 30 = 3,0$	$0,10 \times 20 = 2,0$
Eficiencia	$0,20 \times 30 = 6,0$	$0,20 \times 10 = 2,0$	$0,20 \times 30 = 6,0$
Facilidad de Operación	$0,05 \times 30 = 1,5$	$0,05 \times 20 = 1,0$	$0,05 \times 20 = 1,0$
Tiempo de construcción e implementación	$0,15 \times 10 = 1,5$	$0,15 \times 30 = 4,5$	$0,15 \times 10 = 1,5$
Mano de obra requerida para su construcción	$0,10 \times 20 = 2,0$	$0,10 \times 30 = 3,0$	$0,10 \times 20 = 2,0$
Consumo de materiales	$0,15 \times 30 = 4,5$	$0,15 \times 10 = 1,5$	$0,15 \times 20 = 3,0$
Cantidad de desechos generados	$0,05 \times 20 = 1,0$	$0,05 \times 20 = 1,0$	$0,05 \times 10 = 0,5$
Totales	24,0	21,5	18,5

con la ayuda de la matriz de selección debido a que las mismas no sirven para discriminar una alternativa de la otra pues tienen el mismo nivel de importancia, sin embargo la adecuación del sistema secundario si se contempló dentro de las propuestas aún cuando este dentro de estas recomendaciones antes mencionadas, pues la misma es necesaria en cada propuesta ya que es la requerida para lograr regular alguno de los parámetros más críticos que se encuentran fuera de especificaciones como lo son el DBO₅, DQO y los niveles de nitrógeno, ya que en cada alternativa propuesta se buscaba corregir la mayor cantidad de parámetros de los que

se encuentran por encima de los niveles deseados y sin la incorporación de esta sugerencia no se lograría desarrollar eficazmente las alternativas a evaluar.

V.5 Estimación de la relación beneficio/costo de la propuesta seleccionada, con la finalidad de determinar la factibilidad de su implementación:

La implementación del proyecto que hasta ahora se ha presentado tiene desde el punto de vista económico dos características muy relevantes:

La primera es que la implementación o no del mismo tiene una incidencia ambiental con respecto al medio que lo rodea, por tal razón las ganancias que se pudieran percibir son la mejora o no de la calidad de las aguas de los canales que desembocan en el Lago de Valencia, lo que a su vez traería como consecuencia la posibilidad o no de poner en riesgo el equilibrio ecológico de la zona además de las vidas de los distintos seres vivos que en ella residen, incluyendo la de los humanos, que dependen de esta importante cuenca hidrográfica, por tal razón no es posible cuantificar este beneficio, lo que hace que un trabajo que mejore la calidad de las aguas que se vierten en dichos canales sería viable sin importar los costos por concepto de inversión inicial, manteniendo, etc., que el mismo implique.

La segunda deriva del hecho de que por el propósito que persigue el presente trabajo, como es la de buscar usar el agua tratada como agua de riego de áreas verdes, se podría generar alguna ganancia comercializado el agua limpia que se obtiene, pero ni en este trabajo ni en los planes que tiene la empresa para la planta de tratamiento, se pretende comercializar dicha agua, por tanto solo se estaría generando un “ahorro” de dinero por concepto de agua que se deja de comprar a la empresa encargada de la distribución del vital líquido en la zona industrial (Hidrocentro), en su lugar se usaría la recuperada en la planta de tratamiento.

Por las razones antes expuestas, en el estudio económico de este objetivo solo contempla una relación beneficio/costo que soporte la implementación del mismo, aún cuando según lo expuesto anteriormente el mismo no lo necesita.

Para la estimación beneficio/costo, es necesario evaluar por separado todos los beneficios percibidos y los costos involucrados por separados:

BENEFICIOS:

Como se especifica el apéndice B sección B.4.1 donde se encuentran los cálculos típicos involucrados, el total de los beneficios cuantificables suma un total de *US \$ 3586,128* anuales.

COSTOS:

En el apéndice B sección B.4.2 se encuentran los cálculos realizados para la totalización de los costos involucrados para la implementación de la propuesta así como las fuentes de tales cotizaciones, los mismos suman: *3085,441 US \$/año*, para un tiempo de vida útil del proyecto de 10 años.

RELACIÓN BENEFICIO/COSTO

Como se aprecia en el apéndice B sección B.4.3, esta relación resultó ser de 1,16, lo que quiere decir que el proyecto bajo estudio es económicamente factible.

Adicionalmente, con los resultados antes obtenidos, se puede estimar el tiempo en el cual la inversión hecha para la implementación de la propuesta es recuperado a través del ahorro percibido: El total de la inversión suma *US \$ 30854,41*, y el total de dinero ahorrado por año es de *3586,128 US \$/año*, por lo tanto dividiendo la primera cantidad ente la segunda, se obtiene que el tiempo que se tarda en pagar la inversión inicial es de 8 años y 7 meses, quedando el resto de la vida útil del proyecto (1 año y 3 meses), el ahorro acumulado se puede utilizar como parte de la inversión para reponer de nuevo los equipos instalados.

CONCLUSIONES

- ⊕ La planta de tratamiento actualmente no está funcionando de manera adecuada.
 - ⊕ Las etapas correspondientes al tratamiento físico-químico son menos eficientes en la eliminación de Sólidos Suspendedos y Nitrógeno.
 - ⊕ Una remodelación de los tanques de coagulación y de floculación es necesaria para bajar la cantidad de sólidos suspendidos y de metales pesados a la salida de la planta de tratamiento.
 - ⊕ La trampa de grasas que actualmente existe debe ser cambiada.
 - ⊕ La instalación de un filtro de arena y carbón activado es una alternativa muy costosa y que requiere alto mantenimiento.
 - ⊕ La alternativa 1 es la que ofrece una mejor opción técnica, ambiental y económicamente más conveniente.
 - ⊕ El costo total de inversión de la propuesta es de *US \$ 30854,41*.
 - ⊕ La propuesta genera beneficios intangibles para el lago de Valencia y los seres vivos que habitan en su cuenca.
 - ⊕ La propuesta genera un ahorro de *US \$ 3586,128* anuales.
 - ⊕ La relación beneficio/costo del proyecto es de 1,16.
 - ⊕ Se necesitan de 8 años y 7 meses para que los ahorros generados alcancen a costear el valor de los costos de inversión.
-

RECOMENDACIONES

- ✦ Implementar a la brevedad posible la propuesta generada en este trabajo.
- ✦ Reparar el soplador # 2 dañado del reactor biológico.
- ✦ Evitar la entrada de aguas negras del área del comedor a la planta de tratamiento porque presentan exceso de grasa.
- ✦ Programar prensado de lodo diario y más de una vez por día para evitar la acumulación del mismo dentro del tanque de lodo.
- ✦ Extraer lodos adheridos en las paredes de los sedimentadores secundarios del tratamiento biológico, para mejorar la eficiencia de decantación de lodos biológicos, se recomienda el uso de un hidrojet para tal fin.
- ✦ Cambiar todos los indicadores de pH debido al deterioro que los mismos presentan.
- ✦ Reparar, colocar fondo y pintura epóxica en las zonas de los tanques donde se evidencia corrosión avanzada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Degrémont. (1979). Manual técnico del agua. 4ta. Edición española. Bilbao, España.
2. Asolees R., Bain, D. & Soria M. (2.000). Selección de programas para proteger circuitos de refrigeración. Ingeniería Química.
3. Dautant, R. y Lorenzo, O. (1.992). Tratamiento físico-químico de las aguas residuales y el manejo de lodos por procesos biológicos. Universidad de Carabobo, Facultad de ingeniería.
4. Gaceta oficial de la República de Venezuela, N° 5.021. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Venezuela, 11 de Octubre de 1995.
5. Gaceta oficial de la República de Venezuela, N° 5.305. Normas para la clasificación y control de vertidos líquidos en la Cuenca del Lago de Valencia, decreto 3219. Venezuela, 1 de Febrero de 1999.
6. Garvín, A y Ibarz, A. (1.999) Diseño de sedimentadores por zonas. Revista Ingeniería Química.
7. Giugni, L., Ettedgui, C., Gonzalez I. y Guerra V. (2007). Evaluación de proyectos de inversión. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Industrial. Venezuela.
8. Kune H. (1.993). Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad. Bogotá: Editorial Norma.
9. Metcalf E. (1.996). Ingeniería de aguas residuales. 3ra. Edición. Tomo I, II y III México: McGraw-Hill.
10. Orue, M. (1.984). Manual de tratamientos de agua. Dpto. de Procesos Químicos. Mención de tecnología y diseño.
11. Perry R. (1.996). Manual del ingeniero químico .6ta. Edición. México: McGraw-Hill.
12. Rivas, M. (1.978). Tratamiento de aguas residuales. (2a. ed.). Ediciones Vega. España.

13. Valencia, V. (1.999). Ampliación y mejoramiento de la planta de tratamiento de efluentes industriales de la empresa OWENS-ILLINOIS. Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería. Venezuela: Universidad de Carabobo.
14. Silva J. (2.001). Transporte de momento para ingenieros químicos. Trabajo de ascenso. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería. Venezuela.
15. Water Environment Federation (WEF) y American Society of Civil Engineers. (1.963). Design of municipal wastewater treatment plant. Manual practice N°8. Editorial Lancaster. Estados Unidos de América.
16. Water Pollution Control Federation (WPCF) y American Society of Civil Engineers. (1.977). Wastewater treatment plant. Manual practice N°8. Editorial Lancaster. Estados Unidos de América.

Paginas Web Consultadas:

17. Corporación Acuatic Eco-Systems. (2007, Julio 10). [Página Web en línea]. Disponible: <http://www.aquaticeco.com> [Consulta: 2007. julio 15]
18. Sitio en línea para la cotización de equipos según F.O.B. Gulfcoast USA. (2007, Julio 10). [Página Web en línea]. Disponible: <http://www.machets.com> [Consulta: 2007. julio 15]
19. Ruiz Jiménez, Miguel; F. Cueto Jiménez; J. Bueno Sabio; Roldan Ruiz. “Las aguas residuales”. Consultado el día 12 de agosto de 2.006 de la World Wide Web: <http://www.vnet.ve>.



APÉNDICE A

En esta sección se encuentran todas las ecuaciones y modelos matemáticos así como el significado y las unidades de cada una de las variables que las mismas involucradas, necesarias para lograr cumplir con los objetivos planteados.

A.1 REDISEÑO DEL TANQUE DE COAGULACIÓN (MEZCLA DE AGITACIÓN RÁPIDA)

- **Volumen del tanque**

$$V = Q_{m\acute{a}x} \cdot t_r \quad , \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.1})$$

Donde:

V : Volumen del tanque, m^3 .

$Q_{m\acute{a}x}$: Caudal máximo de entrada al tanque, m^3/s .

t_r : Tiempo de residencia, s.

- **Área del tanque:**

$$A = \frac{V}{h_a} \quad , \quad (\text{Perry, 1996}) \quad (\text{A.2})$$

Donde:

A : Área del tanque, m^2 .

h_a : Altura del tanque, m.

- **Diámetro del tanque:**

$$D_t = \sqrt{A} \quad , \quad (\text{Perry, 1996}) \quad (\text{A.3})$$

Donde:

D_t : Diámetro del tanque, m.

A.1.1 REDISEÑO DEL AGITADOR DE MEZCLA RÁPIDA

- **Diámetro de giro del impulsor.**

$$D_i = \frac{D_t}{3} \quad , \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.4})$$

Donde:

D_i : Diámetro del impulsor, m.

- **Ancho del tabique principal**

$$\omega = 0,1 \cdot D_i \quad , \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.5})$$

ω : Ancho del tabique principal, m.

- **Altura de la paleta.**

$$t = 0,25 \cdot D_i, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.6})$$

Donde:

t : Altura de la paleta, m.

- **Ancho de la paleta.**

$$t' = 1,30 \cdot \text{sen}(\alpha), \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.7})$$

Donde:

t' : Ancho de la paleta, m.

α : Angulo de inclinación de la paleta, rad.

- **Altura del impulsor.**

$$h_i = 1,30 \cdot D_i, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.8})$$

Donde:

h_i : Altura del impulsor, m.

- **Número de revoluciones del agitador.**

$$\eta = \frac{\mu_{\text{agua}} \cdot N_R}{Dt^2 \cdot \rho_{\text{agua}}}, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.9})$$

Donde:

η : Número de revoluciones, r.p.m.

μ_{agua} : Viscosidad del agua, g/cm³.

N_R : Número de Reynolds, adim.

ρ_{agua} : Densidad del agua, g/cm³.

- **Potencia requerida**

$$P = \frac{K \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot \mu_{\text{agua}}^3 \cdot D_i^5}{g}, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.10})$$

Donde:

P : Potencia requerida, HP.

K : Factor de fricción del impulsor, adim. (Depende de la forma del impulsor, tamaño y número de paletas).

g : Constante de la gravedad (9,8 m/s).

- **Potencia suministrada.**

$$P_s = \frac{P}{0,7}, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.11})$$

Donde:

P_s : Potencia suministrada, HP.

- **Gradiente de velocidad**

$$G = \sqrt{\frac{P_s \cdot g}{\mu_{\text{agua}} \cdot V}}, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.12})$$

Donde:

G : Gradiente de velocidad, s^{-1} .

A.2 REDISEÑO DEL TANQUE DE FLOCULACIÓN (MEZCLA DE AGITACIÓN LENTA)

A.2.1 REDISEÑO DEL AGITADOR DE MEZCLA LENTA

- **Producto del gradiente de velocidad.**

$$P_{GT} = G \cdot t_r, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.13})$$

Donde:

P_{GT} : Producto del gradiente de velocidad, adim.

- **Velocidad relativa de las paletas.**

$$v_r = 0,75 \cdot v, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.14})$$

Donde:

v : Velocidad real de las paletas, m/s.

v_r : Velocidad relativa de las paletas, m/s.

- **Viscosidad cinemática.**

$$\nu = \frac{\mu_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}}}, \quad (\text{Perry, 1996}) \quad (\text{A.15})$$

Donde:

ν : Viscosidad cinemática del fluido, m^2/s .

- **Área de las paletas.**

$$A_p = \frac{2 \cdot G^2 \cdot \nu \cdot V}{C_d \cdot \nu_r^3}, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.16})$$

Donde:

A_p : Área de las paletas, m².

C_d : Coeficiente de arrastre, adim.

- **Altura de la paleta.**

$$h_p = 0,6 \cdot D_i, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.17})$$

Donde:

h_p : Altura de la paleta, m.

- **Longitud de las paletas (4 paletas).**

$$L_p = \frac{A_p}{4 \cdot h_p}, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.18})$$

Donde:

L_p : Longitud de las paletas, m.

- **Diámetro de las paletas.**

$$D_p = \frac{V \cdot 60}{\eta \cdot \pi}, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.19})$$

- **Potencia suministrada.**

$$P_s = \frac{C_d \cdot W \cdot A_p \cdot \nu_r^3}{2 \cdot g \cdot 0.7}, \quad (\text{RIVAS MIJARES, 1978}) \quad (\text{A.20})$$

Donde:

W : Peso del agua, 1000 kg/m³.

A.3 REDISEÑO DEL TANQUE DE FPRECIPITACIÓN DE FÓSFORO (MEZCLA DE AGITACIÓN LENTA)

Para este cálculo se utilizó exactamente el mismo modelo matemático que para el rediseño del tanque de coagulación, esto por utilizar una agitación con mezcla rápida.

A.4 ESTIMACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO:

- **Relación beneficio/costo:**

$$R_{B-C} = \frac{BP}{CP} \quad (\text{GIUNI DE ALVARADO, 2007}) \quad (\text{A.21})$$

Donde:

R_{B-C} : Relación beneficio/costo de la propuesta, Adim.

BP : Beneficios percibidos por la implementación de la propuesta, \$/año.

CP : Costos involucrados en la implementación de la propuesta, \$/año.

Para que el proyecto se considere económicamente viable, se debe cumplir la relación siguiente:

$$R_{B-C} \geq 1$$

- **Beneficios percibidos:**

$$BP = \sum \text{Beneficios} \quad (\text{GIUNI DE ALVARADO, 2007}) \quad (\text{A.22})$$

- **Costo de la implementación de la propuesta.**

$$CP = \sum (\text{Costo equipos} + \text{Costos de instalación}) \quad (\text{GIUNI DE ALVARADO, 2007}) \quad (\text{A.23})$$



APÉNDICE B

En esta sección se encontrarán todos los cálculos típicos realizados para la obtención de los rediseños propuestos

B.1 REDISEÑO DEL TANQUE DE COAGULACIÓN (MEZCLA DE AGITACIÓN RÁPIDA)

- **Volumen del tanque.**

Fijando un tiempo de retención de 120s valor máximo recomendado por Rivas Mijares y sustituyendo en la ecuación A.1, se tiene:

$$V = 0,005 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 120\text{s} = 0,6 \text{ m}^3$$

- **Área del tanque:**

Para una altura del tanque fijada en 1m y sustituyendo en la ecuación A.2, se tiene:

$$A = \frac{0,6 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} = 0,6 \text{ m}^2$$

Para realizar los cálculos siguientes es necesario hacer la suposición de que el tanque a diseñar es de forma cilíndrica en lugar de uno cúbico, para ello se aproxima el diámetro del tanque como uno de los lados del mismo ya que la sección transversal real es cuadrada:

Por tal razón se asume el diámetro del tanque igual a uno de los lados del mismo.

- **Diámetro del tanque:**

Sustituyendo en la ecuación A.3, se tiene:

$$D_t = \sqrt{0,6 \text{ m}^2} = 0,77 \text{ m}$$

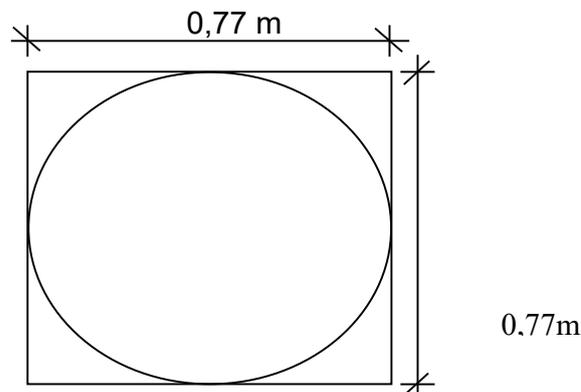


FIGURA B.1 MEDIDAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TANQUE DE COAGULACIÓN DISEÑADO

Para verificar que la altura del tanque asumida es la correcta se verifica que $h_a > D_t$, como $h_a = 1\text{m}$ y $D_t = 0,77\text{m}$, entonces se cumple la relación y se verifica que la altura del tanque asumida es correcta.

A continuación se detalla de manera gráfica las dimensiones del tanque:

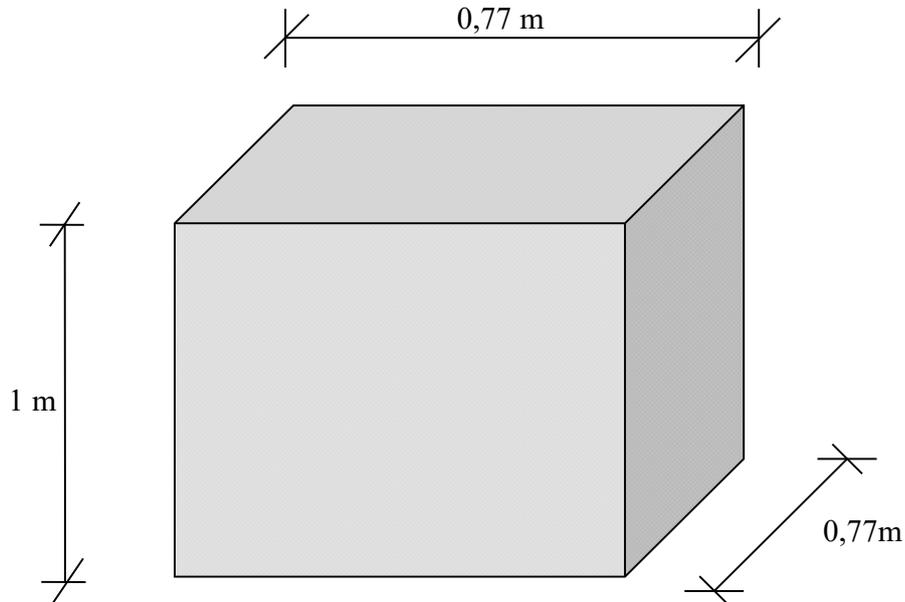


FIGURA B.2 DIMENSIONES DEL TANQUE DE COAGULACIÓN DISEÑADO

B.1.1 REDISEÑO DEL AGITADOR DE MEZCLA RÁPIDA

- **Diámetro de giro del impulsor.**

Sustituyendo en la ecuación A.4, se tiene:

$$D_i = \frac{0,77 \text{ m}}{3} = 0,26 \text{ m}$$

- **Ancho del tabique principal**

Sustituyendo en la ecuación A.5, se tiene:

$$\omega = 0,1 \cdot 0,26 \text{ m} = 0,026 \text{ m}$$

- **Altura de la paleta.**

Sustituyendo en la ecuación A.6, se tiene:

$$t = 0,25 \cdot 0,26 \text{ m} = 0,065 \text{ m}$$

- **Ancho de la paleta.**

Fijando $\alpha = 45^\circ$ (valor recomendado, Rivas Mijares) y sustituyendo en la ecuación A.7, se tiene:

$$t' = 1,30 \cdot \text{sen}(45^\circ) = 0,055 \text{ m}$$

- **Altura del impulsor.**

Sustituyendo en la ecuación A.8, se tiene:

$$h_i = 1,30 \cdot 0,6 \text{ m} = 0,336 \text{ m}$$

- **Número de revoluciones del agitador.**

De la tabla C.1, apéndice C, para una temperatura de 29°C para el agua se tiene:

$$\mu_{\text{agua}} = 0,8196 \times 10^{-2} \text{ g/cm} \cdot \text{s}$$

$$\rho_{\text{agua}} = 0,99595 \text{ g/cm}^3$$

El número de Reynolds debe de ser mayor de 10^4 , ya que el régimen en la coagulación es turbulento, por tanto para los cálculos necesarios se asume un $N_R = 300.000$

Sustituyendo en la ecuación A.9, se tiene:

$$\eta = \frac{0,8196 \cdot 10^{-2} \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} \cdot 300000}{(0,477 \text{ m})^2 \cdot 0,99595 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 3,70 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 222,19 \text{ r.p.m.}$$

- **Potencia requerida**

De la figura C.2, apéndice C, usando la curva #6, se tiene que para un $N_R = 300.000$, el valor de K correspondiente es de 2,0 (valores de diseño).

Sustituyendo en la ecuación A.10, se tiene:

$$P = \frac{2,0 \cdot 0,99595 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \left(3,70 \frac{\text{rev}}{\text{s}}\right)^3 \cdot (26 \text{ cm})^3}{980 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}} = 1184524,6 \frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$P = 11,845 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 0,154 \text{ HP}$$

- **Potencia suministrada.**

Sustituyendo en la ecuación A.11, se tiene:

$$P_s = \frac{0,154 \text{ HP}}{0,7} = 0,220 \text{ HP}, \quad \text{se sugiere usar } 1/4 \text{ HP}$$

- **Gradiente de velocidad**

Para verificar los datos anteriores, el gradiente de velocidad en la unidad se debe encontrar entre $(250 - 1500)s^{-1}$ para la condición de mezcla rápida (WPCF, 1963).

Sustituyendo en la ecuación A.12, se tiene:

$$G = \sqrt{\frac{11,845 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{8,196 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \cdot 0,6 \text{ m}^3}} = 581,006 \text{ s}^{-1},$$

Como el valor de G se encuentra dentro del rango antes mencionado, se verifican los cálculos realizados anteriormente.

B.2 REDISEÑO DEL TANQUE DE FLOCULACIÓN (MEZCLA DE AGITACIÓN LENTA)

- **Volumen del tanque.**

Fijando un tiempo de retención de 600s valor máximo recomendado por Rivas Mijares y sustituyendo en la ecuación A.1, se tiene:

$$V = 0,005 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 600 \text{ s} = 3,0 \text{ m}^3$$

- **Área del tanque:**

Para una altura del tanque fijada en 1m y sustituyendo en la ecuación A.2, se tiene:

$$A = \frac{3,0 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}} = 2,0 \text{ m}^2$$

Para el Cálculo del diámetro del tanque se parte de la misma suposición hecha para el tanque de coagulación.

- **Diámetro del tanque:**

Sustituyendo en la ecuación A.3, se tiene:

$$D_t = \sqrt{2,0 \text{ m}^2} = 1,41 \text{ m}$$

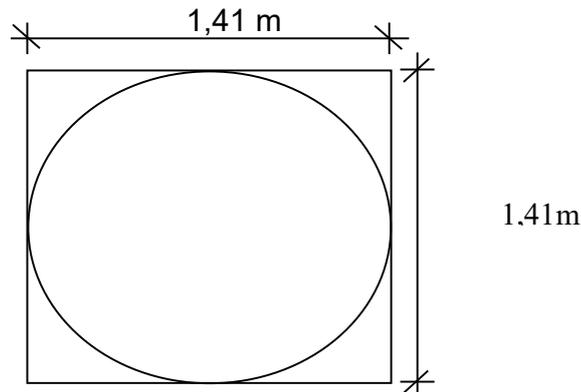


FIGURA B.3 MEDIDAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TANQUE DE FLOCULACIÓN DISEÑADO

Para verificar que la altura del tanque asumida es la correcta se verifica que $h_a > D_i$, como $h_a = 1,5m$ y $D_i = 1,41m$, entonces se cumple la relación y se verifica que la altura del tanque asumida es correcta.

A continuación se detalla de manera gráfica las dimensiones del tanque:

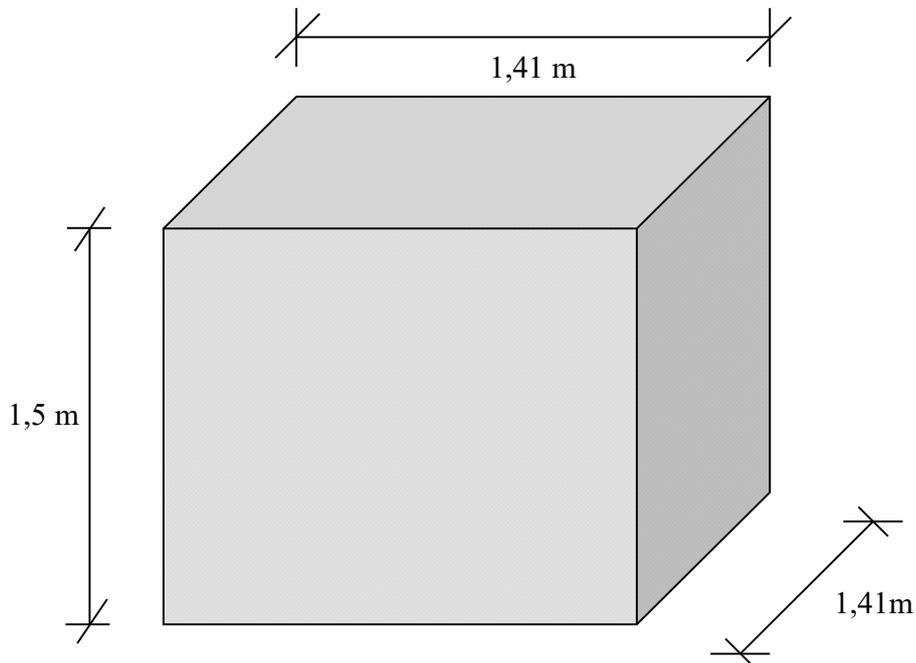


FIGURA B.4 DIMENSIONES DEL TANQUE DE FLOCULACIÓN DISEÑADO

B.2.1 REDISEÑO DEL AGITADOR DE MEZCLA LENTA

- **Producto del gradiente de velocidad.**

Para el cálculo del producto del gradiente de velocidad se necesita el valor de G , el rango establecido por la WEF para mezcla rápida esta ente $(20 - 80) s^{-1}$. Para la remoción de metales pesados se seleccionará un valor de $G = 60 s^{-1}$. El producto del gradiente de velocidad con el tiempo de retención, debe de estar entre el rango establecido por la WEF entre $10^4 - 10^5$. Para ello se aplica el modelo matemático A.13:

$$P_{GT} = 60 s^{-1} \cdot 600 s = 36000$$

Como se cumple el rango, se pueden calcular las dimensiones de las paletas con los datos asumidos anteriormente.

- **Velocidad relativa de las paletas.**

Para el calcular la velocidad relativa de las paletas, se debe primero estimar la velocidad real de las mismas, la WEF indica que dicho valor debe encontrarse entre $(0,3 - 0,9) m/s$. Para el cálculo se asume un valor de $0,5 m/s$, así sustituyendo dicho valor en la ecuación A.14 se tiene:

$$v_r = 0,75 \cdot 0,5 \frac{m}{s} = 0,375 \frac{m}{s}$$

- **Viscosidad cinemática.**

Sustituyendo en la ecuación A.15, se tiene:

$$\nu = \frac{0,8196 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}}{995,95 \frac{kg}{m^3}} = 8,229 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

- **Área de las paletas.**

Para el cálculo del área de las paletas, se fija el coeficiente de arrastre en $C_d = 0,8$, valor intermedio del rango recomendado por la WEF recomendado, $(1,6 - 2,0)$.

Sustituyendo valores en la ecuación A.16, se tiene:

$$A_p = \frac{2 \cdot (60 s^{-1})^2 \cdot 8,229 \frac{m^2}{s} \cdot 3,0 m^3}{0,8 \cdot \left(0,375 \frac{m}{s}\right)^3} = 0,187 m^2$$

- **Altura de la paleta.**

Sustituyendo valores en la ecuación A.17, se tiene:

$$h_p = 0,6 \cdot 1,41 \text{ m} = 0,849 \text{ m}$$

- **Longitud de las paletas (4 paletas).**

Sustituyendo valores en la ecuación A.18, se tiene:

$$L_p = \frac{0,187 \text{ m}^2}{4 \cdot 0,849 \text{ m}} = 0,055 \text{ m}$$

- **Diámetro de las paletas.**

Para este cálculo se fija el valor de η en 15 r.p.m., según la WEF. Sustituyendo valores en la ecuación A.19, se tiene:

$$D_p = \frac{0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 60}{15 \text{ r.p.m.} \cdot \pi} = 0,637 \text{ m}$$

- **Potencia suministrada.**

Sustituyendo valores en la ecuación A.20, se tiene:

$$P_s = \frac{0,8 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,187 \text{ m}^2 \cdot \left(0,375 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,7} = 1,29 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} * 0,013 \frac{\text{HP}}{\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}}$$

$$P_s = 0,017 \text{ HP}, \text{ se sugiere usar } 1/4 \text{ HP}$$

B.3 REDISEÑO DEL TANQUE DE FPRECIPITACIÓN DE FÓSFORO (MEZCLA DE AGITACIÓN LENTA)

- **Volumen del tanque.**

Fijando un tiempo de retención de 1200s valor máximo recomendado por Rivas Mijares y sustituyendo en la ecuación A.1, se tiene:

$$V = 0,005 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 1200 \text{ s} = 6,0 \text{ m}^3$$

- **Área del tanque:**

Para una altura del tanque fijada en 2m y sustituyendo en la ecuación A.2, se tiene:

$$A = \frac{6,0 \text{ m}^3}{2,0 \text{ m}} = 3,0 \text{ m}^2$$

Para el Cálculo del diámetro del tanque se parte de la misma suposición hecha para el tanque de coagulación.

- **Diámetro del tanque:**

Sustituyendo en la ecuación A.3, se tiene:

$$D_t = \sqrt{3,0 \text{ m}^2} = 1,73 \text{ m}$$

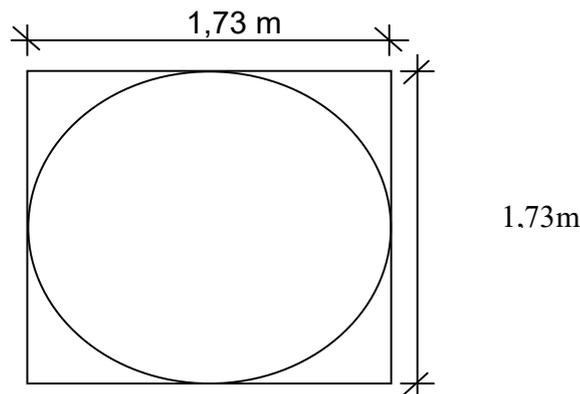


FIGURA B.5 MEDIDAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TANQUE DE PRECIPITACIÓN DE FÓSFORO DISEÑADO

Para verificar que la altura del tanque asumida es la correcta se verifica que $h_a > D_t$, como $h_a = 2,0 \text{ m}$ y $D_t = 1,73 \text{ m}$, entonces se cumple la relación y se verifica que la altura del tanque asumida es correcta.

A continuación se detalla de manera gráfica las dimensiones del tanque:

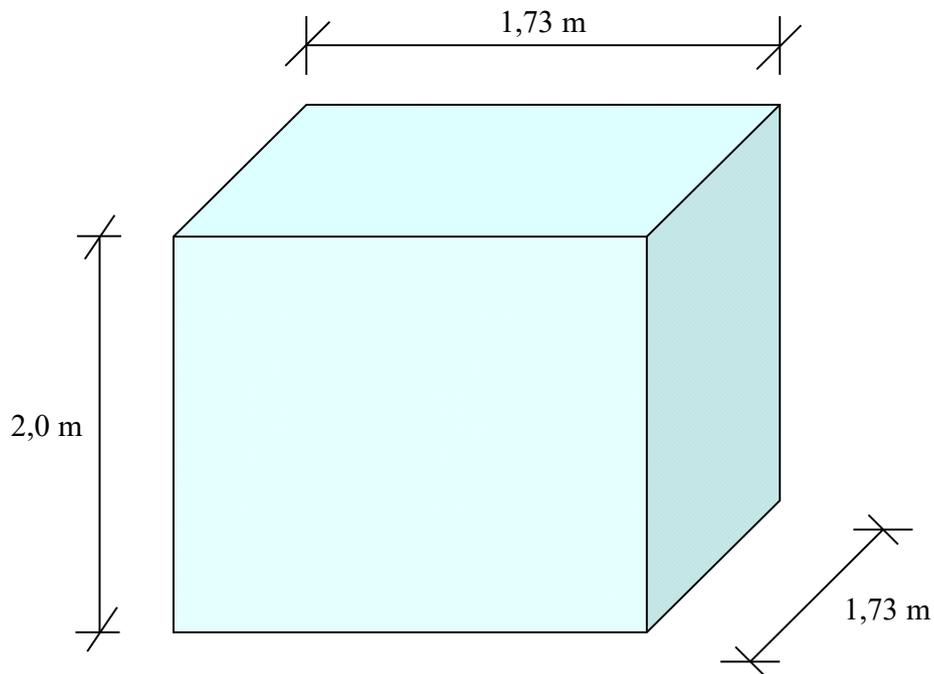


FIGURA B.6 DIMENSIONES DEL TANQUE DE TANQUE DE PRECIPITACIÓN DE FÓSFORO DISEÑADO

B.3.1 REDISEÑO DEL AGITADOR DE MEZCLA LENTA

- **Producto del gradiente de velocidad.**

Para el cálculo del producto del gradiente de velocidad se necesita el valor de G , el rango establecido por la WEF para mezcla rápida esta ente $(20 - 80) s^{-1}$. Para los cálculos se seleccionará un valor de $G = 60 s^{-1}$. El producto del gradiente de velocidad con el tiempo de retención, debe de estar entre el rango establecido por la WEF entre $10^4 - 10^5$. Para ello se aplica el modelo matemático A.13:

$$P_{GT} = 60 s^{-1} \cdot 1200 s = 72000$$

Como se cumple el rango, se pueden calcular las dimensiones de las paletas con los datos asumidos anteriormente.

- **Velocidad relativa de las paletas.**

Para el calcular la velocidad relativa de las paletas, se debe primero estimar la velocidad real de las mismas, la WEF indica que dicho valor debe encontrarse entre

(0,3 – 0,9) m/s. Para el cálculo se asume un valor de 0,6 m/s, así sustituyendo dicho valor en la ecuación A.14 se tiene:

$$v_r = 0,75 \cdot 0,6 \frac{m}{s} = 0,450 \frac{m}{s}$$

- **Viscosidad cinemática.**

Sustituyendo en la ecuación A.15, se tiene:

$$\nu = \frac{0,8196 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}}{995,95 \frac{kg}{m^3}} = 8,229 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

- **Área de las paletas.**

Para el cálculo del área de las paletas, se fija el coeficiente de arrastre en $C_d = 1,8$, valor intermedio del rango recomendado por la WEF recomendado, (1,6 – 2,0).

Sustituyendo valores en la ecuación A.16, se tiene:

$$A_p = \frac{2 \cdot (60 \text{ s}^{-1})^2 \cdot 8,229 \frac{m^2}{s} \cdot 6,0 m^3}{1,8 \cdot \left(0,450 \frac{m}{s}\right)^3} = 0,217 m^2$$

- **Altura de la paleta.**

Sustituyendo valores en la ecuación A.17, se tiene:

$$h_p = 0,6 \cdot 1,73 m = 1,039 m$$

- **Longitud de las paletas (4 paletas).**

Sustituyendo valores en la ecuación A.18, se tiene:

$$L_p = \frac{0,217 m^2}{4 \cdot 1,039 m} = 0,052 m$$

- **Diámetro de las paletas.**

Para este cálculo se fija el valor de η en 15 r.p.m., según la WEF. Sustituyendo valores en la ecuación A.19, se tiene:

$$D_p = \frac{0,6 \frac{m}{s} \cdot 60}{15 \text{ r.p.m.} \cdot \pi} = 0,764 m$$

- **Potencia suministrada.**

Sustituyendo valores en la ecuación A.20, se tiene:

$$P_s = \frac{0,8 \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,217 m^2 \cdot \left(0,450 \frac{m}{s}\right)^3}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,7} = 12,55 \frac{kg \cdot m}{s} * 0,013 \frac{HP}{\frac{kg \cdot m}{s}}$$

$$P_s = 0,034 HP, \text{ se sugiere usar } 1/4 HP$$

B.4 ESTIMACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO:

B.4.1 Beneficios percibidos:

Como se evidencia en la ecuación A.22, para la estimación de los beneficios percibidos, es necesario hacer una sumatoria de cada uno de los beneficios individuales, en el caso de este trabajo, sólo se percibe un solo beneficio cuantificable y es en forma de ahorro de dinero que se dejaría de gastar por concepto de compra de agua potable destinada al uso de riego de áreas verdes de la empresa, debido a que se usará en su lugar el agua tratada que sale de la planta de tratamiento.

Para dicho cálculo se necesita saber el caudal de agua tratada a la salida de la planta, luego dicho valor representa la cantidad de agua de la que se dispone por día para usar como agua de riego:

$$Q_{Salida} = 3,82 \frac{L}{s} * 3600 \frac{s}{h} * 8 \frac{h}{día} = 110016 \frac{L}{día} * \frac{1m^3}{1000 L} * 20 \frac{día}{mes} = 2200,32 \frac{m^3}{mes}$$

La cantidad obtenida es mucho mayor a la cantidad de agua usada diariamente para el riego de áreas verdes de la empresa, y aún cuando el excedente podría ser usado dentro de la empresa para otros usos como por ejemplo el lavado de pisos, escapa del alcance de este trabajo, por tal razón, se hará el cálculo solamente con el estimado de la cantidad de agua usada, dicho valor representa aproximadamente un 5% del total del agua usada en la empresa, en total usado promedio mensual es de 6568 m^3/mes por tanto el promedio mensual de agua usada para riego de áreas verdes es de:

$$6568 \frac{m^3}{mes} * 0,05 = 328,4 \frac{m^2}{mes}$$

El precio del agua que se compra actualmente es de 1954 Bs/m³, para un valor actual de la tasa de cambio de 2150,00 Bs por cada \$ se tiene que el valor actual por m³ de agua es de 0,91 \$/m³, por lo tanto el total anual invertido por concepto de agua para riego de áreas verdes es de:

$$BP = 328,4 \frac{m^3}{mes} * 0,91 \frac{\$}{m^3} = 298,844 \frac{\$}{mes} * 12 \frac{mes}{año} = 3586,128 \frac{\$}{año}$$

Por lo tanto el total de los beneficios que pueden ser cuantificados es de 3586,128 US \$/año, ya que los beneficios reflejados en cualquier ser vivo y al medio ambiente por concepto de la disminución de las concentraciones de sustancias que se arrojaban al lago de Valencia, son incuantificables.

B.4.2 Costo de la implementación de la propuesta.

Según la ecuación A.23, el costo de la implementación de la propuesta seleccionada esta dado por la suma de cada uno de los costos de los equipos involucrados en la misma y el montaje de los mismos, a continuación se presenta una lista con la cotización de los mismos:

- ◆ Trampa de grasa (derrumbe de la actual, remoción de escombros, material para construcción de la nueva trampa de grasas, equipos y mano de obra): US \$ 23255,81.*
- ◆ Tanque de coagulación: US \$ 2100.**
- ◆ Tanque de floculación: US \$ 5200.**
- ◆ Mano de obra para remoción e instalación de los tanques: US \$ 232,6.***
- ◆ Cono Imhoff: US \$ 42.****
- ◆ Soporte de cono Imhoff: US \$ 24.****

Por lo tanto se tiene que:

$$CP = (23255,81 + 2100 + 5200 + 232,6 + 42 + 24) US \$$$
$$CP = 30854,41 US \$$$

Para un proyecto de este tipo, se estima un tiempo de vida de 10 años, por lo tanto se tiene que:

$$CP = \frac{30854,41 \text{US \$}}{10 \text{ años}} = 3085,441 \frac{\text{US \$}}{\text{año}}$$

B.4.3 Relación beneficio/costo:

Sustituyendo en la ecuación A.21 se tiene:

$$R_{B-C} = \frac{3586,128 \frac{\text{US \$}}{\text{año}}}{3085,441 \frac{\text{US \$}}{\text{año}}} = 1,16$$

Nota: Las fuentes de las cotizaciones se resume a continuación:

*: Valor suministrado por la empresa encargada de hacer la propuesta de una nueva trampa de grasas.

** : Valor tomado de la referencia bibliográfica #18.

***: Estimación por horas-hombres requeridas para una semana de trabajo.

****: Valores tomados de la referencia bibliográfica #17.



APÉNDICE C

A continuación se presentan las tablas de propiedades físicas del agua, así como también la gráfica del coeficiente característico de los impulsores mecánicos

C.1 TABLAS DE PROPIEDADES:**TABLA C.1 PROPIEDADES DEL AGUA LÍQUIDA**

Temperatura T(°C)	Viscosidad μ (cP)	Densidad ρ(kg/m³)
0	1,794	999,99
5	1,519	999,987
10	1,310	999,73
15	1,140	999,13
20	1,005	998,23
25	0,894	997,07
30	0,801	995,67
35	0,723	994,06
40	0,656	992,24
45	0,599	990,25
50	0,549	988,07
60	0,470	983,24
70	0,406	977,81
80	0,357	971,83
90	0,317	965,34

Fuente: Mc. Cabe, 1991.

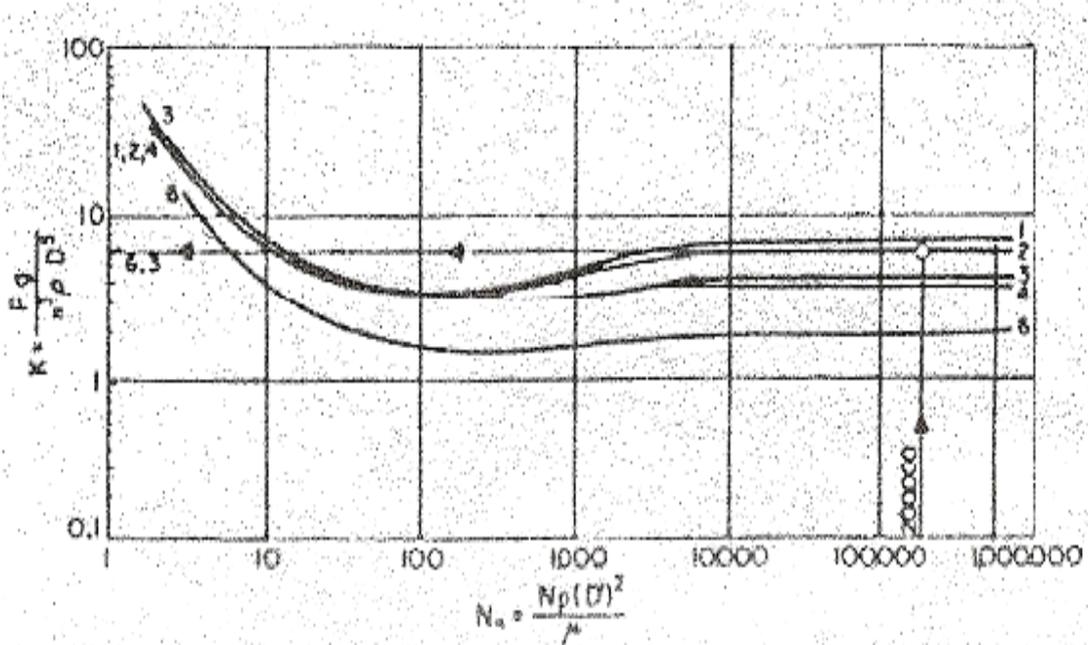


FIGURA C.1 COEFICIENTE CARACTERÍSTICO DE IMPULSORES

Fuente: Rivas, 1978



APÉNDICE D

En las páginas siguientes se presentan algunos resultados obtenidos de la caracterización de la planta de tratamiento y que son usados para el rediseño de algunos equipos así como también para soportar algunas de las discusiones realizadas así como las constancias de dichos resultados.

TABLA D.1
RESUMEN DE LAS MEDICIONES DE CAUDAL REALIZADAS A LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Fecha	Lapso de medición	Tiempo de medición (h)	Caudal bombeo (L/s)			Tiempo de bombeo (h)	Volumen acumulado lapso (m ³)
			Máx.	Mín.	Prom.		
Entrada al Físico-Químico							
21/06/06	09:45 am a 03:45 pm	6,00	3,83	0,00	3,23	6,00	66,91
Salida de la Planta.							
21/06/06	09:45 am a 03:45 pm	6,00	4,14	0,00	3,82	6,00	79,03

Fuente: Laboratorio TAC C.A., 2006

TABLA D.2
CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE DENTRO DEL REACTOR BIOLÓGICO

Característica	Valor
pH (adim.)	7,59 - 7,78
Temperatura (°C)	28,0 - 29,2
O.D. (mg/L)	0,4 – 0,6
VLS (mg/L)	910 – 930
SST (mg/L)	11370
SSV (mg/L)	32310
Aspecto	Color marrón claro con espuma y sin mal olor

Fuente: Laboratorio TAC C.A., 2006

TABLA D.3
DATOS DEL MUESTREO REALIZADO NECESARIOS PARA LA
CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Fecha	Tipo de muestreo	Lugar de captación	Número de muestra	Volumen de muestra	Intervalo de captación	Número de sub-muestra
21/06/06	Agua servida industrial (sin tratamiento)	Entrada al Físico-Químico	E-06-06-050	9,28 L	c/15 min (TcVv)	22
	Agua servida industrial en tratamiento	Salida del Físico-Químico	E-06-06-051	9,28 L	c/15 min (TcVv)	22
	Agua servida industrial tratada	Salida de la planta de tratamiento	E-06-06-052	8,40 L	c/15 min (TcVv)	22
	Agua servida industrial en tratamiento	Reactor biológico	E-06-06-053	1,02 L	c/60 min (TcVv)	06

Fuente: Laboratorio TAC C.A., 2006



Registro MARN Aguas N° 02-011
Registro MARN Sólidos N° LDP 02-011

REPORTE PARA ANÁLISIS DE EFLUENTES

EMPRESA: C.A. DANAVEN DIVISIONES TRACTION TECHNOLOGIES Y STRUCTURAL SOLUTION	FECHA: 25/07/06
DIRECCIÓN: VALENCIA, EDO. CARABOBO	

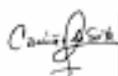
I.- Datos sobre las muestras:

CÓDIGO DE MUESTRA	E-06-06-050	E-06-06-051	E-06-06-052	E-06-06-053
SITIO DE MUESTREO	ENTRADA FÍSICO QUÍMICO	SALIDA FÍSICO QUÍMICO	SALIDA PLANTA	REACTOR BIOLÓGICO
FECHA DE MUESTREO	21/06/06	21/06/06	21/06/06	21/06/06
HORA DE MUESTREO	09:45 AM 03:45 PM	09:45 AM 03:45 PM	09:45 AM 03:45 PM	09:45 AM 03:45 PM

II.- Análisis durante la captación de las muestras:

PARÁMETROS	UNIDAD	CÓDIGO DE MUESTRA				CÓDIGO (*)
		E-06-06-050	E-06-06-051	E-06-06-052	E-06-06-053	
RANGO pH	Adim	6.28-6.43	11.00-11.59	7.58-7.87	7.59-7.78	4500-H-B
pH MEZCLA	Adim	6.36	11.33	7.72	7.66	4500-H-B
TEMP. MÁXIMA	°C	29.4	29.8	29.1	29.2	2550-B
TEMP. MÍNIMA	°C	29.0	27.2	28.2	28.0	2550-B
TEMP. MEDIA	°C	29.2	28.7	28.6	28.5	2550-B
OXÍGENO DISUELT	mg/l	---	---	1.8-2.8	0.4-0.6	4500-O-G
CLORO RESIDUAL	mg/l	---	---	---	---	4500-Cl-G
VLS	ml/l	---	---	---	910-930	2710-C

Codificación según los Métodos Estándar APHA, 20na Edición.



Ratificado por
Supervisor de Laboratorio



Aprobado por
Garante de Apoyo Técnico

Emisión: Abril 01 / Vigencia: Enero 02 / # Revisión: 1

FO-011-009

FIGURA D.1 CONSTANCIAS DE LOS RESULTADOS EMITIDOS POR EL LABORATORIO ENCARGADO DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA

Fuente: Laboratorio TAC C.A., 2006



Registro MARN Aguas N° 02-011
Registro MARN Sólidos N° LDP 02-011

CONTINUACIÓN

III.- Resultados de los Análisis:

PARÁMETROS	UNIDAD	CÓDIGO DE MUESTRA				CÓDIGO (*)
		E-04-04-050	E-04-04-051	E-04-04-052	E-04-04-053	
COLOR	Un Pt/Co	10000	30	150	---	2120-B
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	3395	3090	1465	---	2540-B
SÓLIDOS DISUE. TOTALES	mg/l	3008	2718	1377	---	2540-C
SÓLIDOS SUSP. TOTALES	mg/l	387	372	88	11370	2540-D
SÓLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	880	2235	1145	---	2540-E
SÓLIDOS SUSPEND. FIJOS	mg/l	34	300	12	8160	2540-E
SÓLIDOS TOT. VOLÁTILES	mg/l	2515	855	320	---	2540-E
SÓLIDOS SUS. VOLÁTILES	mg/l	353	72	76	3210	2540-E
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	---	---	< 0.1	---	2540-F
SÓLIDOS FLOTANTES	ml/l	---	---	---	---	2540-F
DEMANDA B.O.	mg/l	1100	452	210	---	5210-B
DEMANDA Q.O.	mg/l	6205	2349	551	---	5220-B
A & G TOTALES	mg/l	1360	47	35.2	---	5520-B ó D
FÓSFORO TOTAL	mg/l	14	6.68	2.32	---	4500-P-D
NITRÓGENO TOTAL	mg/l	115.8	108	56	---	4500-N-B
CROMO TOTAL	mg/l	0.08	---	0.07	---	3111-B
COBRE	mg/l	0.16	---	0.03	---	3111-B
HIERRO	mg/l	8.0	---	0.22	---	3111-B
PLOMO	mg/l	0.09	---	0.06	---	3111-B
NIQUEL	mg/l	0.14	---	0.09	---	3111-B
ZINC	mg/l	5	---	0.38	---	3111-B

(*) Codificación según los Métodos Estándar APHA, 20ma Edición.


Revisado por
Supervisor de Laboratorio


Aprobado por
Gerente de Apoyo Técnico

Emisión: Abril 01 / Vigencia: Enero 02 / # Revisión: 1

PO-011-009

FIGURA D. CONSTANCIAS DE LOS RESULTADOS EMITIDOS POR EL LABORATORIO ENCARGADO DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA (CONTINUACIÓN)

Fuente: Laboratorio TAC C.A., 2006



APÉNDICE E

A continuación se presentan los formatos creados para la optimización del tratamiento biológico, así como también los pasos a seguir para la utilización de los mismos.



EJES Y CARDANES

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES INDUSTRIALES

HOJA DE CONTROL DE PH DEL TANQUE DE RECARBONATACIÓN

Fecha: _____ Operario: _____

Hora de muestreo	pH leído	Presión de CO ₂	Acción tomada	pH leído	Presión de CO ₂
08: 00 am					
10: 00 am					
12: 00 pm					
02: 00 pm					
04: 00 pm					

Rango de pH deseado: (6 – 7,5)

FORMATO CTR-01

FIGURA E.1. FORMATO CTR-01 PARA EL CONTROL DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

En la figura anterior (Figura E.1), se muestra el formato CTR-01, el cual se creó con la finalidad de regular el pH de entrada al tratamiento biológico, a continuación se describe el procedimiento para su llenado:

1. Verificar que la hora actual corresponda a la fila a rellenar.
2. Tomar un embase de vidrio (beaker) de 1500 mL y tomar una muestra de aproximadamente 1000 mL de agua del tanque de recarbonatación.
3. Encender el sensor de pH y calibrar el mismo con agua destilada para verificar su adecuado funcionamiento, si el mismo marca $\text{pH} = 7 \pm 0,1$, entonces la lectura es correcta y por tanto se verifica su buen funcionamiento. Estas actividad solo se realizará antes de la primera medición del día, para las siguientes no es necesario.
4. Introducir el sensor de pH dentro del beaker y anotar en la casilla correspondiente del formato la lectura hecha.
5. Anotar en la casilla de al lado, la presión que muestra el indicador de presión del tanque de CO_2 .
6. Si el pH medido se encuentra dentro del rango deseado (6,0 – 7,5), se coloca en la casilla de acción tomada una raya (---) para indicar que no fue necesario tomar una acción al respecto, de caso contrario, se ajusta el valor del pH mediante el aumento o disminución de la presión del CO_2 según sea el caso.
7. Posteriormente se anota en la casilla de acción tomada, si se aumento o disminuyó la presión del CO_2 , luego se dejan pasar 5 minutos para que el sistema se estabilice por la operación realizada, una vez alcanzado ese lapso de tiempo se procede a repetir desde el paso 4 hasta que el ph medido se encuentre dentro de los límites permitidos.



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES INDUSTRIALES

EJES Y CARDANES



HOJA DE CONTROL DE NIVEL DE LODOS EN LOS REACTORES BIOLÓGICOS

Operario: _____

Fecha de muestreo	Volumen de lodo por litro de muestra	Observaciones

Volumen de lodo por litro de muestra deseado: (2500-4000) FORMATO CLA-01

FIGURA E.2. FORMATO CLA-01 PARA EL CONTROL DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El formato CLA-01 se propone con la finalidad de monitorear la concentración de microorganismos dentro del reactor biológico, ya que actualmente no se lleva ningún registro del mismo que permita asumir un criterio certero para decidir cuando se debe sustituir el lodo en caso de que sea necesario, con la utilización del formato propuesto se solventa esta carencia. A continuación se describe los pasos a utilizar para el uso del cono Imhoff necesario para medir los niveles antes citados:

Determinación de los sólidos sedimentables.

Esta determinación se realiza mediante un cono Imhoff, en el que puede leerse el volumen decantado. Para determinar la densidad del fango debe pesarse un volumen determinado de éste, el cual se podría extraer del fondo del cono de Imhoff, si dispusiera de válvula, o bien del fondo de un embudo de decantación.

Material necesario.

- Cono de Imhoff de 1 litro.
- Embudo de decantación de 750 ml (si el cono Imhoff no dispone de salida inferior).
- Matraz aforado de 25 ml.
- Balanza de precisión.

Forma de operar.

Verter 1 litro de la muestra en el cono de Imhoff. A los 45 minutos, sacudir el cono, imprimiéndole giros alternativos en torno a su eje, para facilitar el descenso de las materias que hubieran podido quedar retenidas sobre las paredes. Se obtendrá el peso en seco del matraz aforado, siendo esta medida el valor de PS. A los 60 minutos del comienzo se tomará la lectura del volumen decantado en el cono de Imhoff, y se llenará el matraz aforado cuidadosamente con el material decantado, pesándose seguidamente. Acto seguido se vaciará y limpiará el matraz aforado, se llenará con agua destilada hasta el enrase, pesándose nuevamente (el peso del matraz conteniendo agua se denotará como PA). El motivo de esta operación es compensar cualquier posible error que tuviera el matraz aforado en su volumen.

Debido a que el valor de la densidad obtenido puede diferir en una unidad tan solo variando unas centésimas la medida tomada, es necesario extremar las

precauciones en su determinación. Si siempre se utiliza el mismo matraz, no es necesario que cada vez se determine los valores de PA y PS, salvo que haya motivos fundados para dudar de su validez (p. ej. cambios notables de la temperatura ambiente).

Expresión de los resultados.

El volumen de sólidos sedimentables se expresará en ml de materia decantable por litro de muestra. La densidad de los fangos decantados vendrá dada por la siguiente expresión:

$$\frac{\text{gr. Fango}}{\text{mL. Fango}} = \frac{PF - PS}{PA - PS}$$

donde:

PF : peso del matraz conteniendo el fango (mg).

PA : peso del matraz conteniendo agua (mg).

PS : peso del matraz seco (mg).

Una vez determinado la cantidad de sólidos suspendidos, los cuales reflejan la concentración de las bacterias en el reactor, se procede a anotar en la columna primera, la fecha en la que se tomó la muestra y al lado, el valor obtenido con el procedimiento descrito anteriormente.

Si el valor obtenido se encuentra fuera del rango deseado de (2500-4000) g/mL, se coloca en la sección de observaciones una raya o simplemente se deja vacía, en caso contrario se coloca una nota donde se recomienda el cambio del lodo activado.



APÉNDICE F

En esta sección se presentan algunas fotografías de la planta de tratamiento que ayudan a visualizar el estado actual de la misma, así como la disposición de algunos equipos.



FIGURA F.1 TANQUE DE IGUALACIÓN DE LA P.T.A.R.I.



FIGURA F.2 TANQUES DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE LA P.T.A.R.I. Y SU CORRESPONDIENTE SEDIMENTADOR PRIMARIO



FIGURA F.3 TANQUE DE PRECIPITACIÓN DE FÓSFORO DE LA P.T.A.R.I.



FIGURA F.4 SEDIMENTADOR PRIMARIO DEL TANQUE DE PRECIPITACIÓN DE FÓSFORO DE LA P.T.A.R.I.



FIGURA F.5 SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LA P.T.A.R.I.



FIGURA F.6
SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE CLORO DE LA P.T.A.R.I.



FIGURA F.7 FILTRO PRENSA DE LA P.T.A.R.I.