



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



**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA DE UNA EMPRESA CONVERTIDORA DE PAPEL**

Tutor Académico:

Ing. Maria Cristina Colmenares

Tutor Industrial:

Ing. Joderlith Pérez

Autor:

Adolfo J. Torres C.

Valencia, Enero 2008



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



**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA DE UNA EMPRESA CONVERTIDORA DE PAPEL**

*Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre
Universidad de Carabobo para optar al
Título de Ingeniero Químico*

Tutor Académico:

Ing. Maria Cristina Colmenares

Tutor Industrial:

Ing. Joderlith Pérez

Autor:

Adolfo J. Torres C.

Valencia, Enero 2008

SUMARIO

La presente investigación tiene como objetivo general evaluar propuestas para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua de la empresa, con el fin de garantizar que el efluente obtenido cumpla con la normativa ambiental correspondiente.

Las variables que definen el estudio son principalmente la composición y concentración de las aguas residuales, el tamaño del lote, la frecuencia de la realización de tratamientos, la biodegradabilidad, el porcentaje de remoción, entre otras.

La metodología empleada consiste en determinar las fallas operativas del proceso de tratamiento de las aguas. Luego se procede a caracterizar el afluente generado en el proceso y se determina la relación DBO/DQO para tener una orientación acerca del tratamiento a aplicar. Mediante el ensayo de las pruebas de jarras se determina el coagulante y floculante óptimo, así como las dosis a aplicar de cada químico. Se establecen diferentes alternativas de tratamiento y se selecciona la alternativa más conveniente desde el punto de vista técnico-ambiental.

La alternativa de tratamiento seleccionada consta de una etapa fisicoquímica, seguida de una etapa biológica. Esta compuesta de un tanque de mezcla rápida (coagulador) en el cual se agrega un polímero catiónico coagulante, un tanque de mezcla lenta (floculador) donde se agrega un polímero catiónico floculante, un sedimentador cilíndrico - cónico y un reactor biológico secuencial (SBR). Entre las conclusiones se pueden mencionar: el tamaño del lote se reduce a 200 litros, lo que hace posible la realización de tratamientos interdiarios; y la implementación de la alternativa seleccionada requiere una inversión de 5392,68 \$ para el primer año de operación.

Se recomienda implementar la alternativa seleccionada para cumplir con la normativa ambiental vigente. También se recomienda alimentar las bacterias presentes en el reactor biológico secuencial todos los días que no se realicen tratamientos; así como caracterizar el efluente cada tres meses para llevar un registro histórico del funcionamiento de la planta.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Situación actual.....	3
1.2.2. Situación deseada.....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación.....	5
1.5. Limitaciones.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Bases teoricas.....	10
2.2.1. Contaminación de las aguas.....	10
2.2.2. Contaminación microbiana.....	11
2.2.3. Contaminación orgánica.....	11
2.2.4. Agua residual.....	11
2.2.5. Agua cruda.....	11
2.2.6. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.....	12
2.2.7. Análisis relacionados a las aguas residuales.....	13
2.2.8. Vertido liquido.....	13
2.2.9. Niveles del tratamiento de aguas	14
2.2.10. Tipos de tratamiento.....	15
2.2.11. Tratamiento de fangos o lodos.....	22
2.2.12. Generalidades sobre las tintas.....	23
2.2.13. Generalidades económicas.....	24

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Tipo de investigación..... 25

Desarrollo sistemático de la investigación..... 25

3.1. Identificación de las variables que intervienen en el buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas industriales..... 25

3.2. Análisis de las variables involucradas y de las etapas del proceso de tratamiento del agua 26

3.3. Evaluación de las etapas del proceso de tratamiento del agua, que presenten fallas operativas 28

3.4. Establecimiento de alternativas, de tratamiento del agua, que proporcionen soluciones al problema 31

3.5. Selección de las mejores alternativas desde el punto de vista técnico-ambiental, con la ayuda de una matriz de selección 32

3.6. Evaluación económica de la alternativa de tratamiento seleccionada, mediante consulta de precios de materiales y equipos y mediante la estimación de gastos por desecho de las aguas 34

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Identificación de las variables que intervienen en el buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas industriales..... 35

4.2. Análisis de las variables involucradas y de las etapas del proceso de tratamiento del agua 36

 4.2.1. Construcción del diagrama causa-efecto..... 36

 4.2.2. Construcción del diagrama de Pareto..... 43

4.3. Evaluación de las etapas del proceso de tratamiento del agua, que presenten fallas operativas..... 44

4.4. Establecimiento de alternativas, de tratamiento del agua, que proporcionen soluciones al problema 51

 4.4.1. Alternativa 1: Uso de los equipos con los cuales cuenta la planta actualmente..... 51

 4.4.2. Alternativa 2: Uso del tratamiento físico – químico en tres etapa..... 52

4.4.3. Alternativa 3: Modificación del tamaño del lote.....	53
4.5. Selección de las mejores alternativas desde el punto de vista técnico-ambiental, con la ayuda de una matriz de selección	55
4.6. Evaluación económica de las alternativas de tratamiento seleccionadas, mediante consulta de precios de materiales y equipos y mediante la estimación de gastos por desecho de las aguas.....	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÉNDICES	
Apéndice A: Cálculos típicos.....	65
Apéndice B: Resultados de las pruebas de jarras.....	70
Apéndice C: Equipos que conforman la alternativa seleccionada.....	73
Apéndice D: Disposición de lodos generados.....	75
Anexos	
Informe técnico.....	76

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Etapas con las que cuenta la planta de tratamiento de aguas.....	3
Figura 2.1. Esquema de sistema de flotación por aire disuelto.....	17
Figura 2.2. (a) <i>Coagulación</i> , (b) <i>Floculación</i>	21
Figura 3.1. Diagrama de Ishikawa.....	27
Figura 3.2. Diagrama de Pareto.....	28
Figura 3.3. Vaso de vidrio.....	29
Figura 3.4. Equipo para la prueba de jarras.....	30
Figura 3.5. Vasos en proceso de sedimentación.....	31
Figura 4.1. Diagrama causa – efecto.....	37
Figura 4.2. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de la empresa.....	40
Figura 4.3. Diagrama de Pareto.....	43
Figura 4.4. Diagrama de flujo de la Alternativa 1.....	52
Figura 4.5. Diagrama de flujo de la Alternativa 2.....	53
Figura 4.6. Diagrama de flujo de la Alternativa 3.....	54
Figura B.1. Resultado prueba de jarra con productos MQ.....	72
Figura B.2. Resultado prueba de jarra con productos Meler.....	72

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1. Orientación del tratamiento a ser aplicado mediante la correlación DBO/DQO.....	29
Tabla 3.2. Matriz de selección de la alternativa de tratamiento más conveniente desde el punto de vista técnico-ambiental.....	33
Tabla 4.1. Resumen Comparativo de los resultados obtenidos con los valores establecidos por el M.A.R.N. Decreto 3.219.....	44
Tabla 4.2. Productos químicos a utilizar para el desarrollo de las pruebas de jarras.....	46
Tabla 4.3 Dosis establecidas de cada uno de los químicos utilizados para un lote de 1,8 m ³	47
Tabla 4.4. Resultados de la caracterización de las muestras de agua tratada...	47
Tabla 4.5. Resultados de la caracterización usando productos Meler.....	49
Tabla 4.6. Porcentaje de remoción usando productos Meler.....	50
Tabla 4.7. Dosis establecidas de cada uno de los químicos a utilizar para un lote de 200 litros.....	54
Tabla 4.8. Matriz de selección de la alternativa de tratamiento más conveniente desde el punto de vista técnico-ambiental.....	57
Tabla 4.9. Gastos generados para el primer año de operación de la alternativa seleccionada.....	58
Tabla A.1. Costos de los equipos necesarios para la alternativa 3.....	67
Tabla A.2. Costos de los químicos necesarios para un año de operación de la alternativa 3.....	68
Tabla B.1. Resultados de las pruebas de jarras realizadas para establecer dilución y dosificación de los polímeros para un litro de afluente.....	70
Tabla B.2. Dosis aceptada para los productos MQ lote de 1800 litros.....	71
Tabla B.3. Dosis aceptada para los productos Meller lote de 1800 litros.....	71
Tabla C.1. Especificaciones de los equipos necesarios.....	73
Tabla D.1. Características de los lodos generados por la planta de tratamiento	75

Summary

This investigation has the general objective of evaluating proposals for the improvement of the company's water treatment plant to guarantee that the effluent obtained complies with the corresponding environmental regulation.

The variables that define the study are mainly the composition and concentration of the residual waters, lot size, frequency of treatments, biodegradability, percentage of removal and others.

The methodology employed consists of determining the operational faults of the water treatment process. Then, the procedure is to characterize the effluent generated in the process to determine the DBO/DQO relation to obtain an orientation of treatment to follow. Through the essay of testing jars, the optimum coagulant and flocculant is determined, as well as the dosage of each chemical. Different alternatives of treatment are established and the most convenient alternative is selected from the techno-environmental point of view.

The alternative of treatment selected consists of a physio-chemical stage followed by a biological stage. It is composed of a tank of fast mixture (coagulative) in which a cationic polymer coagulant is added, a slow mixture tank (floculative) where a flocculant cationic polymer is added along with a conic-cylindrical tank to settle and a sequential biological reactor. Among the mentionable conclusions lot size is decreased to 200 liters which makes every other day treatments possible. The implementation of the selected alternative requires an investment of \$5,392.68 for the first year of operation.

The selected alternative is recommended for compliance with current environmental regulations. It is also recommended to feed the bacteria present in the sequential biological reactor on days that treatments are not performed as well as characterization of effluent every three months to register historical plant functionality.

INTRODUCCIÓN

El presente investigación consiste en la evaluación de propuestas para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua de una empresa convertidora de papel y la selección de la mejor alternativa. De esta forma se determinan las fallas operativas que presenta la planta de tratamiento, se caracteriza el afluente generado, se establecen diferentes alternativas de tratamiento y se selecciona la alternativa más conveniente desde el punto de vista técnico-ambiental, por último se realiza la evaluación beneficio – costo de la alternativa seleccionada.

Se realizan ensayos, de laboratorio, mediante pruebas de jarras para evaluar el fenómeno de coagulación que consiste en la desestabilización de cargas de las partículas coloidales permitiendo un estado de agregación de las mismas, y el de la floculación el cual consiste en formar puentes de una superficie a otra y enlazar las partículas individuales, con el fin de obtener partículas de mayor tamaño y peso que sedimenten con mayor facilidad. Mediante esta evaluación se determina la dosis y el coagulante-floculante adecuado, siendo aquellos que generen mayor clarificación y un lodo más compacto. Luego se caracteriza el efluente resultante para estudiar las condiciones a la salida del tratamiento físico – químico. Posteriormente se establecen alternativas de solución a la problemática planteada y se selecciona la mejor desde un punto de vista técnico – ambiental.

Esta investigación se divide en cuatro capítulos. El capítulo I presenta el planteamiento del problema; el segundo capítulo describe las bases teóricas y las investigaciones que sustentan este trabajo. La metodología seguida para dar cumplimiento a los objetivos planteados se detalla en el tercer capítulo y en el cuarto capítulo se analizan los resultados obtenidos. Finalmente se dan las conclusiones y recomendaciones generadas.

La culminación de esta investigación es de suma importancia para la empresa, ya que representa una alternativa de solución al problema; disminuyendo los costos que actualmente se generan por no contar con una planta de tratamiento en operación. Y de esta forma estarían cumpliendo con la normativa ambiental que rige actualmente.



I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación se presenta una breve descripción del problema, donde se hace referencia a la ubicación de la compañía, los productos que fabrica y la problemática que presenta. Además se plantea la situación actual y deseada, la justificación, limitaciones y los objetivos, general y específicos, que se han formulado para la resolución de la problemática existente en la planta.

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En la zona industrial El Tigre de Guacara, estado Carabobo, está ubicada una planta dedicada a la transformación de papel en sacos, impresos o no impresos, en diversas presentaciones.

Estos sacos de papel son utilizados por la industria de cemento, de azúcar y por la industria harinera.

El proceso de transformación del papel en sacos se realiza a través de maquinarias, las cuales imprimen, cortan y pegan al papel virgen, según sea el caso. Para la impresión de dicho papel se utilizan tintas base agua, las cuales son vertidas en el recipiente dispuesto para ello en el equipo.

Posteriormente el papel ya impreso es cortado y luego pegado con la ayuda de otros equipos.

Actualmente el mantenimiento de los equipos de impresión se realiza de manera manual. El agua utilizada para estos fines es depositada en unas tanquillas para tintas ubicadas en las cercanías al equipo, a través de las cuales el agua es transportada a un tanque de almacenamiento subterráneo (tanque de igualación); de donde es bombeada hacia la planta de tratamiento de la empresa, pasando a través de un tratamiento físico – químico que se lleva a cabo en un tanque de 1,8 m³, en el cual se realiza la coagulación (mezcla rápida), la floculación (mezcla lenta) y la sedimentación. Una vez realizado este proceso el sobrenadante es enviado a un tratamiento biológico que se realiza en un reactor biológico secuencial por carga de 30 m³, para finalmente el agua ser bombeada a un tanque de almacenamiento dispuesto para la descarga de su



contenido al colector cloacal. Los lodos producidos en el tratamiento físico – químico así como en el tratamiento biológico son bombeados a los lechos de secado, así como se muestra en la figura 1.1.

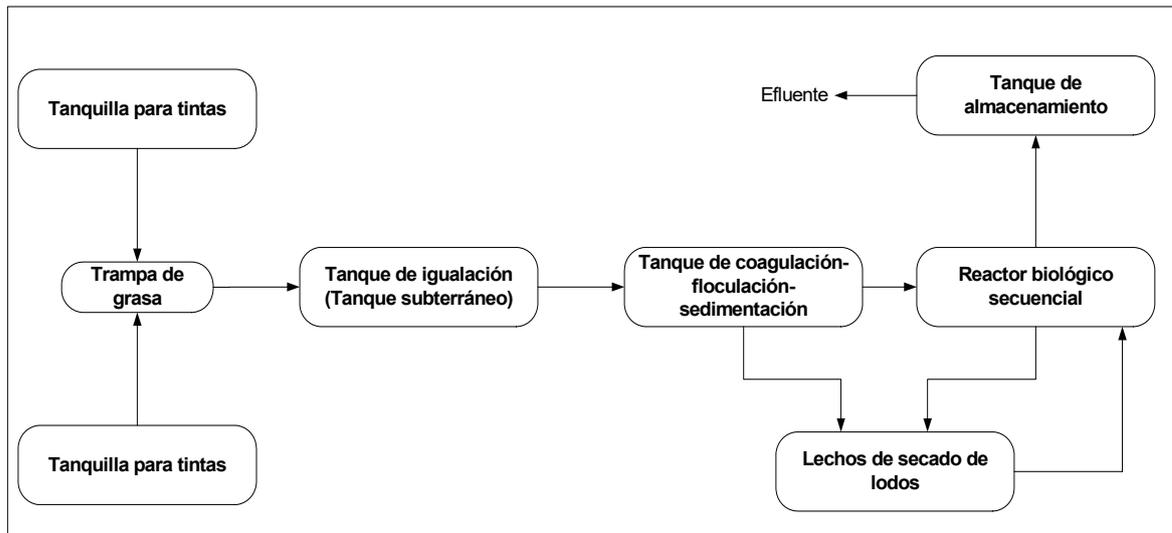


Figura 1.1. Etapas con las que cuenta la planta de tratamiento de aguas.

El efluente tratado no cumple con los requerimientos exigidos por el ministerio del ambiente de nuestro país, según el decreto 3.219, y es por esta razón que la empresa requiere realizar una evaluación del estado actual de la planta y el establecimiento de propuestas factibles para el mejoramiento en el funcionamiento de la misma.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

La planta de tratamiento de aguas de la empresa no está funcionando de manera adecuada, lo que genera desviación en los parámetros del efluente con respecto a la normativa ambiental, impidiendo que puedan descargar dicho efluente a las redes cloacales.

1.2.1 Situación actual

El tratamiento del agua residual producida en el proceso de limpieza de los equipos, no está operando de manera adecuada, produciendo que la característica final del efluente obtenido esté fuera de norma.



1.2.2 Situación deseada

La empresa cuenta con alternativas técnico-económicas factibles para mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento, disminuyendo los valores fuera de rango de los parámetros que caracterizan al efluente, para cumplir con las normativas ambientales exigidas por la ley.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar propuestas para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua, con el fin de garantizar que el efluente obtenido cumpla con la normativa ambiental correspondiente.

1.3.2 Objetivos específicos

- 1) Identificar las variables que intervienen en el funcionamiento de la planta de tratamiento, con la finalidad de obtener la información necesaria para el análisis del proceso a mejorar.
- 2) Analizar cada una de las variables involucradas y las etapas del proceso de tratamiento del agua para determinar las fallas operativas.
- 3) Evaluar experimentalmente las etapas del tratamiento que presenten fallas operativas, con el fin de obtener la información necesaria para proponer soluciones.
- 4) Plantear alternativas de mejora, con la finalidad de proponer soluciones a la problemática que presenta la empresa.
- 5) Seleccionar las mejores alternativas de solución, con el fin de estudiar su aplicabilidad.
- 6) Determinar la relación costo-beneficio de las alternativas de mejora con el objeto de presentarle a la empresa la más conveniente.



1.4 JUSTIFICACION

La empresa presenta problemas con la operatividad de su planta de tratamiento de aguas, pues está fuera de norma en algunos parámetros del efluente por lo cual no pueden descargar el mismo a las redes cloacales.

El presente trabajo le proporcionará a la empresa una alternativa de mejora para el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua, marcando un camino factible a seguir para que las características del efluente cumplan con las exigencias de la norma.

Esto traerá beneficios económicos para la empresa, ya que se evitará disponer de los servicios de empresas alternas para que se encarguen de dichas aguas. Además traerá beneficios sociales, debido a que la empresa estaría operando sin causar ningún daño a la sociedad, así como también beneficios ecológicos pues no estaría contaminando y estaría en regla con el estado.

Esto genera confianza en sus clientes, pues si una empresa cumple con todas las normativas exigidas por el estado genera confianza y emite una imagen de seriedad y responsabilidad.

1.5 LIMITACIONES.

La limitación más relevante es el alcance del proyecto, el cual se basa solo en establecer propuestas de mejora a la empresa dejando la implementación de la mejora como tema para otro proyecto consecutivo.

Los costos de los análisis a realizar y el presupuesto dispuesto por la empresa para los mismos, también constituyen una limitante para el desarrollo de la investigación, ya que la empresa tiene un límite de dinero predeterminado para el proyecto, restringiendo así el número de análisis posibles.



II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

A continuación se presenta una recopilación de investigaciones relacionadas con el tema a desarrollar, así como los fundamentos teóricos que sustentan y ayudan a comprender la investigación.

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. R. Díaz y J. Sangrona (2002). ***“Evaluación Técnico-Económica para la mejora del sistema de dosificación e inyección de químicos en la planta de potabilización “Dr. Alejo Zuloaga” de la C.A. Hidrológica del Centro”***. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Valencia - Venezuela. Esta investigación buscaba encontrar las fallas en el sistema de dosificación de químicos y establecer soluciones al problema. Con este fin se desarrollaron objetivos tales como: realizar el diagnóstico preliminar del sistema de dosificación convencional de la planta, identificar y analizar cualitativamente las variables que afectan los parámetros de calidad de potabilización del agua, determinar la dosificación óptima de cada sustancia química a inyectar en el proceso, realizar pruebas en los equipos para verificar sus restricciones en cuanto a la eficacia de la dosificación y seleccionar alternativas que sean factibles tanto técnica como económicamente. Se obtuvieron como resultados los rangos ideales de concentración de las sustancias químicas a dosificar, aunque, dicha dosificación iba a depender de las características fisicoquímicas del agua cruda a la entrada, las cuales son variables.

La semejanza de esta investigación con la presente, es el estudio técnico-económico a realizar para determinar la factibilidad de una mejora a la planta de tratamiento. Cabe destacar que el estudio no contempló la posibilidad de reestructurar la planta ni de sustituir los químicos que se dosificaban a la misma, siendo ésta la diferencia.



2.1.2. L. Fernández y R. Moncada (2003). **“Evaluación y mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de Tinaco”**. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Valencia – Venezuela. El objetivo que se perseguía era evaluar la eficiencia del proceso de tratamiento de aguas de la planta de potabilización de Tinaco y de esta forma poder presentarle a la empresa las alternativas de mejoras para la eficiencia de la planta y para el aumento de su capacidad de distribución. Para esto se realizaron las siguientes actividades: identificar las etapas del proceso de potabilización, identificar y analizar las variables del proceso, evaluar las condiciones de operación de cada una de las etapas del tratamiento, establecer la dosis optima de los químicos, generar alternativas que permitan la adecuación de la planta, seleccionar y diseñar la alternativa mas viable y evaluar la relación costo-beneficio de la alternativa seleccionada. Se logró determinar que las variables significativas a ser evaluadas son el pH, color y turbidez; que se puede disminuir la dosis de sulfato de aluminio aumentando la dosificación del polímero y que no es necesario modificar el pH del agua cruda para mejorar el proceso de potabilización.

La evaluación de la planta de tratamiento para establecer alternativas de solución seria la semejanza entre ambas investigaciones y la diferencia seria que la investigación actual busca mejorar la eficiencia de una planta que trata aguas industriales y no aguas para consumo humano.

2.1.3. Y. Marín y J. Ramones (2005). **“Evaluación del proceso de coagulación en la planta de potabilización Dr. Lucio Baldó Soulés”**. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Valencia – Venezuela. Esta investigación buscaba mejorar la eficiencia del proceso de coagulación de la planta potabilizadora y disminuir la cantidad de sulfato de aluminio utilizado. Con este fin se realizaron las siguientes actividades: se diagnosticó el proceso de coagulación, se generaron alternativas de mejora inmediatas al proceso de coagulación, se seleccionó la alternativa más factible, se implementó dicha alternativa de solución y se caracterizaron el afluente y el efluente del proceso. Se logró mejorar el proceso de coagulación y la disminución del uso de sulfato de aluminio, al determinar que la solución era la inmersión del punto de dosificación del coagulante, aumentando así la eficiencia de la planta para el periodo agosto – septiembre de 2004.



La semejanza de esta investigación con la actual radica en el hecho de que se estudiará el proceso de coagulación (tratamiento físico – químico) para buscar soluciones de mejoras. La diferencia entre ambos trabajos es que uno se realizó en una planta de tratamiento de agua potable y se implementó, y el presente se realizará en una planta de tratamiento de aguas industriales y solo se presentarán propuestas de mejora factibles.

2.1.4. M. Hernández (2006). **“Simulación de las alternativas de tratamiento del efluente generado en una industria metalmecánica”**. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Valencia – Venezuela. Esta tesis se desarrolló para determinar la mejor disposición de una planta de tratamiento de aguas a través de la simulación del proceso y de un estudio técnico – económico. Para lograr dicho objetivo se realizó: la determinación de la condiciones de operación de los procesos generadores del efluente, la caracterización de dicho efluente, se establecieron diferentes alternativas de tratamiento para el efluente, se simularon las distintas alternativas de tratamiento, se seleccionó la más conveniente y se realizó la evaluación económica de la alternativa seleccionada. Se llegó a la escogencia de una alternativa para la estructuración de la planta de tratamiento; concluyendo que los niveles de fósforo aun permanecían fuera de norma.

El estudio del proceso de tratamiento de aguas y la elección de una alternativa de solución representan la semejanza entre ambas investigaciones y la diferencia es que la investigación actual busca mejorar las condiciones de operación de una planta ya existente.

2.1.5. J. Verdés Prieto (2001). **“Los coagulantes orgánicos reducen la formación de lodos”**. Estudio publicado en la revista Ingeniería Química N° 375 año XXXIII, paginas (189 – 194), España. Esta investigación buscaba demostrar que los coagulantes orgánicos reducen la formación de lodos en el tratamiento físico – químico, haciendo sus estudios con aguas de industrias del automóvil. Para lograr el objetivo se realizó: el estudio de las variables de proceso productivo, se trabajó la planta de tratamiento con el coagulante inorgánico que utilizaba, se cuantificó la cantidad de lodo producido, se



caracterizó el efluente, se procedió a utilizar la planta de tratamiento usando el coagulante orgánico seleccionado (sin hacer ninguna otra modificación), se cuantificó el lodo producido y se caracterizó el efluente obtenido. Se logró comprobar que el uso de coagulantes orgánicos disminuye de un 30 – 70% la formación de lodos, se disminuye hasta en un 40% los fluoruros, se reducen los costos y se mejora la operación del sedimentador.

La semejanza entre las investigaciones, es el estudio de coagulantes, para la determinación del coagulante más adecuado y la dosis correcta para tratar el afluente. Se diferencian entre si ambas investigaciones ya que una se realizó en una industria automotriz y la otra en una industria menos contaminante como lo es una productora de sacos de papel.

2.1.6. P. Susial, I. Cabrera González, F. Fernández Hernández, E. Godoy y M. Ramos Batista (2005). ***“Tratamiento por coagulación de aguas con cola de almidón. Efluentes típicos de la industria cartonera”***. Estudio publicado en la revista Ingeniería Química N° 423 año XXXVII, paginas (136 – 146), España. Este estudio tuvo como finalidad determinar los tratamientos adecuados y las dosis correctas a utilizar para aguas con cola de almidón, provenientes de una planta productora de cartón. Para esto se realizó: la caracterización del agua a tratar, se escogieron los reactivos y equipos a utilizar, se precisaron las velocidades de los agitadores para la prueba de jarras, se experimentó y caracterizó el agua resultante del tratamiento y se hizo un estudio económico basado en distintas capacidades de la planta. Con esto se lograron construir graficas que representan la concentración de los reactivos en función de la concentración y también se graficó los costos de la planta de acuerdo a su capacidad. Así mismo se llegó a la conclusión de que la coagulación-floculación es una técnica fiable y económicamente aplicable.

Ambas investigaciones se asemejan en el procedimiento a seguir a nivel de laboratorio para determinar las condiciones de operación de la planta real, además que las aguas residuales producidas en la elaboración de sacos de papel también puede contener cola de almidón. Se diferencian en el hecho de que la investigación actual no



realizará un estudio económico para diferentes capacidades de la planta, puesto que la planta ya existe y tiene una capacidad definida.

2.1.7. Y. Domínguez, J. L. García-Morales y J. M. Quiroga (2001). “**Caracterización de las aguas residuales de aporte a una E.D.A.R.**” Estudio publicado en la revista Ingeniería Química N° 375 año XXXIII, paginas (135 – 141), España. Esta investigación se basa en un análisis estadístico de la variación a lo largo de un año del afluente de una planta de tratamiento de aguas urbanas. Con esta finalidad se realizó: un muestreo del afluente cada cierto tiempo durante todo el año, se caracterizaron las muestras, se realizaron los estudios estadísticos correspondientes y se construyeron graficas que representaban el comportamiento durante cada etapa del año de dicho afluente. De esta forma se logró tener información de gran importancia, ya que se obtuvo una representación de la variabilidad del afluente en el tiempo y de acuerdo a las condiciones climáticas de cada época del año. Se pudo concluir que las características del afluente cambian con respecto a las estaciones del año, debido a las diferencias en las temperaturas, condiciones de humedad, precipitaciones, etc.

Ambas investigaciones se basan en un muestreo inicial de un afluente como punto de partida y su continua evolución en el tiempo; siendo la semejanza mas relevante. El estudio al cual se hace referencia se basó solo en el estudio estadístico de la variabilidad del afluente de una planta de aguas urbanas, lo que la diferencia de la tesis que se basa en una mejora a una planta de tratamiento de aguas industriales.

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS: Acción o efecto de introducir elementos, compuestos o formas de energía capaces de modificar las condiciones del cuerpo de agua superficial o subterráneo de manera que se altere su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica para el desarrollo de la vida acuática y ribereña.



2.2.2. CONTAMINACIÓN MICROBIANA: Contaminación de las aguas por micro-organismos patógenos que son capaces de transmitir al hombre enfermedades mediante contacto directo o indirecto, bien a través del consumo del agua o a través del consumo de moluscos o mediante el baño en playas ribereñas y litorales. Como indicador de este tipo de contaminación se utilizan los micro-organismos del grupo coliforme.

2.2.3. CONTAMINACIÓN ORGÁNICA: Contaminación de las aguas por materia orgánica, planteando una demanda de oxígeno al curso de agua receptor y afectando de esta manera el balance de oxígeno de éste. **(Decreto N° 3219).**

2.2.4. AGUA RESIDUAL: Es el agua proveniente de cualquier proceso industrial, actividad domestica, agropecuaria, comercial y que perdió sus características originales. Es el conjunto de las aguas que son contaminadas durante su empleo en actividades realizadas por las personas. Las labores domésticas contaminan el agua, sobre todo, con residuos fecales y detergentes. Los trabajos agrícolas y ganaderos pueden producir una contaminación muy grave de las aguas de los ríos y los acuíferos, debida sobre todo a los vertidos de aguas cargadas de residuos orgánicos, procedentes de las labores de transformación de productos vegetales, o de los excrementos de los animales (purines principalmente). Otra fuente de contaminación de las aguas son las industrias. Muchas de ellas, como la papelera, química, textil y siderúrgica, necesitan agua para desarrollar su actividad.

En definitiva, la consecuencia es el vertido de aguas residuales cargadas de materia orgánica, metales, aceites industriales e incluso radiactividad. Para evitar los problemas que pueden causar los contaminantes de las aguas residuales existen sistemas de depuración que sirven para devolverles las características físicas y químicas originales. **(Metcalf, 1996).**

2.2.5. AGUA CRUDA: Es el termino empleado para las aguas naturales, industriales o residuales sin ningún tipo de tratamiento.

(Norma COVENIN 2634-02).



2.2.6. CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

En esta sección se presentan los contaminantes que mayormente se toman en cuenta a la hora de caracterizar un agua residual:

- **Sólidos en suspensión:** pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaeróbicas cuando se vierte el agua residual sin tratar al entorno acuático.
- **Materia orgánica biodegradable:** compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales. La materia orgánica biodegradable generalmente se mide en función de la DBO y la DQO. Si se descarga al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de las condiciones sépticas.
- **Patógenos:** pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
- **Nutrientes:** tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden causar contaminación del agua subterránea.
- **Contaminantes prioritarios:** son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad al agua conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
- **Materia orgánica refractaria:** esta materia orgánica tiende a resistir a los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
- **Metales pesados:** los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.



- **Sólidos inorgánicos disueltos:** los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua. (Metcalf, 1996).

2.2.7. ANALISIS RELACIONADOS A LAS AGUAS RESIDUALES

- **COLOR APARENTE:** Es el color del agua debido a la apariencia de las sustancias disueltas y suspendidas.
- **COLOR VERDADERO:** Es el color del agua a la cual se le ha removido la turbiedad.
- **TURBIEDAD:** Es un expresión de la propiedad óptica que causa la dispersión y absorción de la luz mas que la transmisión en línea recta cuando pasa a través de una muestra. La turbiedad en el agua es causada por el material suspendido. (Norma COVENIN 2634-02).
- **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO):** Se define como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para estabilizar la materia orgánica susceptible a degradación bajo condiciones aerobias, en un tiempo dado y a una temperatura específica.
- **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):** Es una medida del oxígeno equivalente a la cantidad de materia orgánica susceptible a oxidación mediante un agente oxidante fuerte.

2.2.8. VERTIDO LÍQUIDO: Descarga de aguas residuales que se realice directa o indirectamente a los cauces, mediante canales, desagües o drenajes de agua; descarga directa sobre el suelo o inyección en el subsuelo, descarga a redes cloacales, descarga al medio marino-costero y descargas submarinas. (Decreto N° 3219).



2.2.9. NIVELES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS

Las aguas residuales se pueden someter a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación que se quiera. Es tradicional hablar de tratamiento primario, secundario y terciario (o tratamiento avanzado), aunque muchas veces la separación entre ellos no es totalmente clara. (Metcalf, 1996).

➤ PRETRATAMIENTO

El pretratamiento de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes cuya presencia pueden provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Como ejemplo de los pretratamiento se pueden citar: homogenización, desbaste y dilaceración para eliminación de sólidos gruesos y trapos, separadores de aceites y grasas, desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que puede causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo en los mismos, entre otros.

➤ TRATAMIENTOS PRIMARIOS

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas como el tamizado y la sedimentación, flotación por aire disuelto, decantación, coagulación- floculación. También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco (desorción).

➤ TRATAMIENTOS SECUNDARIOS

Elimina las partículas coloidales y similares. 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. Se elimina materia orgánica biodegradable.

➤ **TRATAMIENTOS TERCIARIOS**

Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales: para purificar desechos de algunas industrias, especialmente en los países más desarrollados, o en las zonas con escasez de agua que necesitan purificarla para volverla a usar como potable, en las zonas declaradas sensibles (con peligro de eutrofización) en las que los vertidos deben ser bajos en nitrógeno y fósforo, etc.

2.2.10. TIPOS DE TRATAMIENTO

Hay distintos tipos de tratamiento de las aguas residuales para lograr retirar contaminantes. Se puede usar desde sencillos procesos físicos como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo por gravedad, hasta complicados procesos químicos, biológicos o térmicos. (Metcalf, 1996).

➤ **OPERACIONES FÍSICAS UNITARIAS**

Las operaciones llevadas a cabo en el tratamiento de las aguas residuales, en las que los cambios en las características y propiedades del agua se realizan mediante la aplicación de fuerzas físicas, se conocen como operaciones físicas unitarias. Homogenización de caudales, el desbaste, mezclado, sedimentación, flotación, transferencia de gases y filtración son operaciones unitarias típicas.



- **HOMOGENIZACIÓN DE CAUDALES**

La homogenización de caudales es una medida que se emplea para superar los problemas de explotación que estas variaciones provocan en las instalaciones, y para mejorar la efectividad de los procesos de tratamiento.

Consiste simplemente en amortiguar por laminación las variaciones de caudal, con el objeto de conseguir un caudal constante o casi constante. Las principales ventajas que produce la homogenización de los caudales son las siguientes: (1) mejora del tratamiento biológico, ya que eliminan o reducen las cargas de choque, se diluyen las sustancias inhibitoras, y se consigue estabilizar el pH; (2) mejora de la calidad del efluente y del rendimiento de los tanques de sedimentación secundaria al trabajar con cargas de sólidos constante; (3) reducción de las superficies necesarias para la filtración del efluente, mejora los rendimientos de los filtros y posibilidad de conseguir ciclos de lavado más uniformes, y (4) en el tratamiento químico, el amortiguamiento de las cargas aplicadas mejora el control de la dosificación de los reactivos y la fiabilidad del proceso.

- **SEDIMENTACIÓN**

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales. Los términos sedimentación y decantación se utilizan indistintamente.

Esta operación se emplea para la eliminación de arenas, de la materia en suspensión en flóculos biológico en los decantadores secundarios en los procesos de fango activado, tanques de decantación primaria, de los flóculos químicos cuando se emplea coagulación química, y para concentración de sólidos en los espesadores de fango. El objetivo principal es la obtención del efluente clarificado, pero también es necesario producir un fango cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo.

En función a la concentración y la tendencia de interacción de las partículas, se puede producir cuatro tipos de sedimentación: discreta, floculenta, retardada



(también llamada zonal), y por compresión. Es frecuente que durante el proceso de sedimentación, ésta se produzca por diferentes mecanismos en cada fase, y también es posible que los cuatro mecanismos de sedimentación se lleven a cabo simultáneamente

• FLOTACIÓN

En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea para la eliminación de la materia suspendida. La principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en menos tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta.

Se consigue introduciendo finas burbujas de gas, que se adhieren a las partículas de manera que suben a la superficie y así pueden ser recogidas mediante un raspado superficial. (Ver figura 2.1).

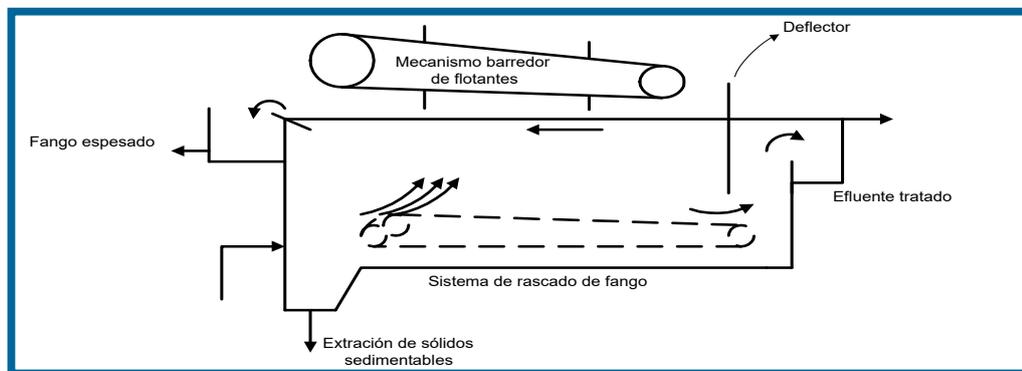


Figura 2.1. Esquema de sistema de flotación por aire disuelto

Fuente: Metcalf & Eddy (1996)

• MEZCLADO

El mezclado es una operación unitaria de gran importancia en muchas fases del tratamiento de aguas residuales, entre las que podemos citar: mezcla completa de



una sustancia con otra, mezcla de dos suspensiones líquidas, mezcla de líquidos miscibles, floculación, transferencia de calor.

La mayoría de las operaciones de mezclado relacionadas con el tratamiento de aguas residuales pueden clasificarse en continuas y rápidas continuas. Estas últimas suelen emplearse en los casos en los que debe mezclarse una sustancia con otra, mientras que las primeras tienen su aplicación en aquellos casos en los que debe mantenerse en suspensión el contenido del reactor.

➤ **PROCESOS QUÍMICOS UNITARIOS**

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas, se conoce como procesos químicos unitarios. Fenómenos como la precipitación, adsorción y la desinfección son ejemplo de los procesos de aplicación más comunes en el tratamiento de aguas residuales.

• **COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN**

El agua cruda turbia contiene material suspendido, tanto sólidos que puedan asentarse o sólidos dispersados que no se asentarán con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no se asientan pueden ser coloides. Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, haciendo que repelan las partículas vecinas, esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamados floculos y las partículas no se asientan. (Nalco, 1985).

❖ **Coagulación**

Las especies coloidales halladas en el agua cruda y en el agua de desecho incluyen arcillas, sílice, hierro y otros metales pesados, color y sólidos orgánicos. Los coloides también pueden producirse en los procesos de precipitación, como el ablandamiento con cal. El aceite en agua de desecho es con frecuencia coloidal.



Los coloides siempre necesitan coagularse para alcanzar un tamaño efectivo y una rapidez de asentamiento; pero aún partículas mayores, que no son realmente coloides y que asentarían si se les diera un tiempo suficiente, requieren de la coagulación para formar un floculo de mayor tamaño que asiente con mayor rapidez.

Los coloides se clasifican en hidrofóbicos (adversos al agua) e hidrofílicos (afines al agua). Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua; los hidrofílicos reaccionan con el agua, un ejemplo de estos son las sustancias que producen color. De importancia en el tratamiento de agua es que los coloides hidrofílicos pueden reaccionar químicamente con el coagulante usado en el proceso de tratamiento. Así, los coloides hidrofílicos requieren mayor cantidad de coagulante que los hidrofóbicos.

La coagulación es un proceso en el cual se contrarrestan las fuerzas de repulsión de las partículas coloidales finamente divididas en el agua residual, para lograr un estado de agregación de las mismas hasta un punto en el cual la sedimentación pueda ocurrir. Esto se logra por lo general añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. Las sustancias químicas de uso común son las sales de aluminio, las sales de hierro y los polielectrolitos.

Las sustancias químicas cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos. Estos flóculos, inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de asentarse. Los coloides siempre necesitan coagularse para alcanzar un tamaño efectivo y una rapidez de asentamiento, pero aún partículas mayores, que no son realmente coloidales y que se asentarían si se les diera un tiempo suficiente, requiere de la coagulación para formar un floculo mayor que asiente con mayor rapidez.

La magnitud de la carga de la partícula ilustrada por la capa (Figura 2.2) rodea al coloide, determina lo cerca que pueden aproximarse los coloides. El potencial zeta es una medida de esta fuerza. A medida que disminuye el potencial zeta, las partículas pueden aproximarse cada vez mas aumentando la posibilidad de una colisión. La coagulación se presenta de ordinario a un potencial zeta que es aun



ligeramente negativa, de modo que por lo general no se requiere que la carga sea neutralizada por completo. Si se añade demasiado coagulante, la superficie de la partícula se cargará positivamente (un potencial zeta positivo), y la partícula volverá a dispersarse.

Para complementar la adición del coagulante se requiere de mezclado para destruir la estabilidad del sistema coloidal. Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión. El movimiento browniano, el movimiento caótico comunicado a las partículas al ser bombardeadas por moléculas individuales de agua, está siempre como una fuerza mezcladora natural. Sin embargo casi siempre es necesaria energía adicional de mezclado. Un mezclado de gran intensidad que distribuya al coagulante y promueva colisiones rápidas.

Normalmente el equipo de coagulación consiste de estanques con impulsores rotativos para la mezcla rápida, pero se pueden utilizar batidores y bombeadores o deflectores en línea.

❖ **Floculación**

Puede ser que el floculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo bastante grande como para asentarse o decantarse con la rapidez deseada. Un floculante reúne partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados, como se muestra en la figura 2.2.

La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los floculos, un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelve a formar en su tamaño y fuerza óptimos. (Nalco, 1985).

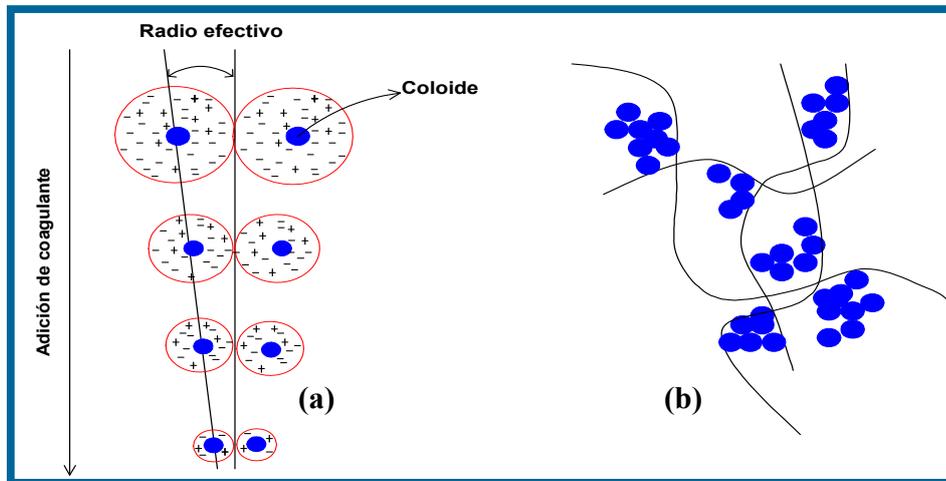


Figura 2.2. (a) *Coagulación*, (b) *Floculación*

Fuente: Manual del agua (1985)

❖ **Productos utilizados químicos coagulantes y floculantes**

Históricamente, los coagulantes metálicos (el alumbre y las sales de hierro), han sido las más empleadas en la clarificación del agua. Estos productos actúan como coagulantes y floculantes a la vez. Añadidos al agua, forman especies cargadas positivamente en el rango de pH típico para la clarificación, esto es, de 6 a 7. Esta reacción e hidrólisis produce aluminio gelatinoso insoluble o hidróxido férrico. Aún cuando no haya sólidos suspendidos en el agua, los coagulantes metálicos forman flóculos que enredan a los coloides desestabilizados.

Los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro y el aluminio. Los polímeros orgánicos, denominados polielectrolitos contribuyen a la tecnología del tratamiento de aguas. (Metcalf, 1996).

• **PRECIPITACIÓN QUÍMICA**

La precipitación química es un proceso por el cual una sustancia soluble es convertida en insoluble formando otra por una reacción química o por cambios en la composición del solvente para disminuir la solubilidad de la sustancia en éste. Los sólidos precipitados pueden ser removidos por sedimentación y/o filtración.



El proceso de precipitación para remover metales pesados, tales como: plomo, cromo, cobre, níquel, zinc; consiste en adicionar un precipitante químico al efluente industrial en un tanque de reacción con agitación. Los metales disueltos precipitan por una reacción química entre los compuestos del metal soluble y el precipitante. Los sólidos suspendidos resultantes son separados por sedimentación en un clarificador, previa ayuda con la floculación que consiste en dosificar un coagulante químico o un ayudante de sedimentación (polielectrolito), para agrandar el flóculo y aumentar la velocidad de sedimentación. La precipitación usando hidróxidos como la cal es uno de los métodos mas usados. Muchos metales pueden ser precipitados como sulfuros y ciertos metales como carbonatos.

Proporcionan un tratamiento secundario completo a las aguas residuales no tratadas, incluyendo la eliminación del fósforo, nitrógeno o ambos a la vez. A lo largo de los años, se ha empleado muchas sustancias y de diversa naturaleza, como agentes de precipitación, entre los más comunes se encuentran: sulfato de alúmina, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso (carraposa) y cal.

➤ **PROCESOS BIOLÓGICOS UNITARIOS**

Son aquellos procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica. La principal aplicación de estos procesos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma, tanto coloidal, como en disolución. Se pueden dividir en cinco grupos: procesos aeróbicos, anaerobios, anóxicos, combinados y de lagunaje. (Metcalf, 1996).

2.2.11. TRATAMIENTO DE FANGOS O LODOS

Los cuerpos contaminantes y sus productos de transformación, retirados de la fase líquida en cualquier tratamiento de agua, cualquiera que sea su naturaleza, se reúnen finalmente en suspensiones más o menos concentradas denominadas fangos(lodos).



La característica común de todos estos fangos es que constituyen un residuo extremadamente líquido, de valor escaso o nulo. Algunos de ellos son químicamente inertes, pero los provenientes de tratamientos biológicos son fermentables. Todos los lodos necesitan una u otra forma de tratamiento: 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.

2.2.12. GENERALIDADES SOBRE LAS TINTAS

- **TINTA:** Es una mezcla homogénea de pigmentos, resinas, solventes y aditivos cuyo destino final es reproducir mediante un proceso de impresión, una imagen grabada en un cilindro, plancha o cliché sobre un determinado sustrato.
- **PIGMENTO:** Sustancia sólida que da color a la tinta. Se dispersa por medios mecánicos (molinos o agitadores) en presencia de un barniz que actúa como vehículo. No se solubiliza.
- **VEHICULO:** Ingrediente fluido, transportador del pigmento y adherente de éste para fijarlo al sustrato.
- **ADITIVOS:** Dan características especiales y de acabado a la tinta.
- **SOLVENTE:** Es el que permite tener una parte líquida capaz de distribuir una pequeña capa de tinta en el sistema de entintado de la impresora como sobre la superficie impresa. La evaporación del solvente facilita la formación de una película de tinta sobre la superficie impresa.
- **TINTA BASE AGUA:** Es una mezcla compleja y formulada de pigmentos, resinas acrílicas, agua (vehículo) y aditivos. Siendo el agua el componente en mayor proporción. (www.tintas.com)



2.2.13. GENERALIDADES ECONÓMICAS

- **BENEFICIO:** Expresa la relación que existe entre el ingreso generado cuando es mayor que el capital empleado. Los beneficios intangibles no se pueden incorporar al marco beneficios – costos, aun cuando son aceptados como valiosos y, por lo tanto, deben calcularse de manera subjetiva o indirecta.
- **COSTO:** El termino costo generalmente se entiende como el desembolso o gasto en dinero que se hace en la adquisición de los insumos empleados en la producción de bienes y servicios. La suma de esfuerzos y recursos que se han invertido para producir algo útil.
- **RELACIÓN BENEFICIO – COSTO:** La relación o coeficiente beneficio – costo es una medida actualizada del valor del proyecto. Se calcula dividiendo el valor de la corriente de beneficio por el valor de la corriente de costos. El criterio de selección de los proyectos es aceptar todos proyectos independientes con una relación beneficio – costo de uno o mayor. Puede darse una clasificación incorrecta entre los proyectos independientes. No se puede utilizar para elegir proyectos que se excluyen entre si. (Guerra G, 1995).



III. MARCO METODOLÓGICO

A continuación se presenta el tipo de investigación y el desarrollo de las etapas necesarias para cumplir con los objetivos planteados.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente es una investigación de campo tipo factible, que consiste en un estudio y la selección de las alternativas de mejora que se pueden implementar en una planta de tratamiento de aguas industriales, con el objeto de presentar a la empresa soluciones a la problemática presente.

Para ello se realiza una parte experimental, la cual consiste en un muestreo del afluente y pruebas de jarras para determinar el tipo de tratamiento físico – químico que se adecue a las condiciones de dicho afluente.

DESARROLLO SISTEMÁTICO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo sistemático de la investigación se plantean las siguientes fases:

3.1. Identificación de las variables que intervienen en el buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas industriales.

En esta etapa se recopila información relevante relacionada con el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas industriales de la empresa, para identificar las variables que intervienen y comprender cada una de las etapas del proceso de purificación del agua que se lleva a cabo. Esto se logra a través de la observación directa del proceso de tratamiento del agua, revisión bibliográfica, revisión de manuales técnicos y por medio de entrevistas, no estructuradas, con el personal de la planta.



3.2. Análisis de las variables involucradas y de las etapas del proceso de tratamiento del agua.

Por medio de un diagrama de flujo donde se señalan de manera clara y detallada cada una de las etapas del proceso de tratamiento, se analizan las fases que sigue la empresa para tratar el agua.

Con la ayuda de tormentas de ideas se determinan las posibles causas del problema; para esto se realizan entrevistas no estructuradas con el personal encargado de la planta y a través de accesoria por parte de personal técnico especializado. Una vez recopilada toda la información se procede a construir un diagrama causa – efecto o diagrama de Ishikawa, con el fin de analizar la información obtenida.

El diagrama causa – efecto es un gráfico que muestra las relaciones entre una característica y sus factores o causas. Representa de forma ordenada y completa todas las causas que pueden determinar cierto problema y constituye una muy útil base de trabajo para poner en marcha la búsqueda de sus verdaderas causas, es decir, el auténtico análisis causa – efecto, que en su significado más completo, es el proceso que parte de la definición precisa del efecto que se desea estudiar y, a través de la fotografía de la situación, obtenida mediante la construcción del diagrama, permite efectuar un análisis de las causas que influyen sobre el efecto estudiado. Para ello se toman 6 factores generales: materia prima, mano de obra, maquinaria, método, medio ambiente y mediciones. Luego se subdivide cada una de éstos factores mediante preguntas sucesivas del ¿Por qué? de cada situación, tratando de ir de lo general a lo específico hasta llegar a la causa de origen. En la figura 3.1 se aprecia la estructura de este diagrama.

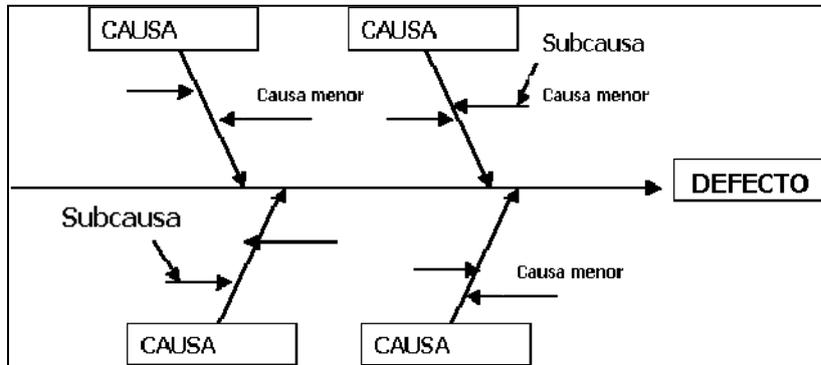


Figura 3.1. Diagrama de Ishikawa

Fuente: Los siete instrumentos de la calidad total (1995)

Con la información proporcionada por el diagrama causa – efecto se construye un diagrama de Pareto, con el fin de analizar cuales de las variables involucradas en el proceso de tratamiento son las mas criticas.

El diagrama de Pareto es un método gráfico para definir los problemas mas importantes de una determinada situación y, por consiguiente, las prioridades de intervención. El principio de Pareto dice que el “80% de los problemas proviene del 20% de las causas”.

En este diagrama se representan los problemas con su porcentaje de repetitividad por medio de barras y la sumatoria de los porcentajes de repetitividad representados por una curva. Ver la figura 3.2.

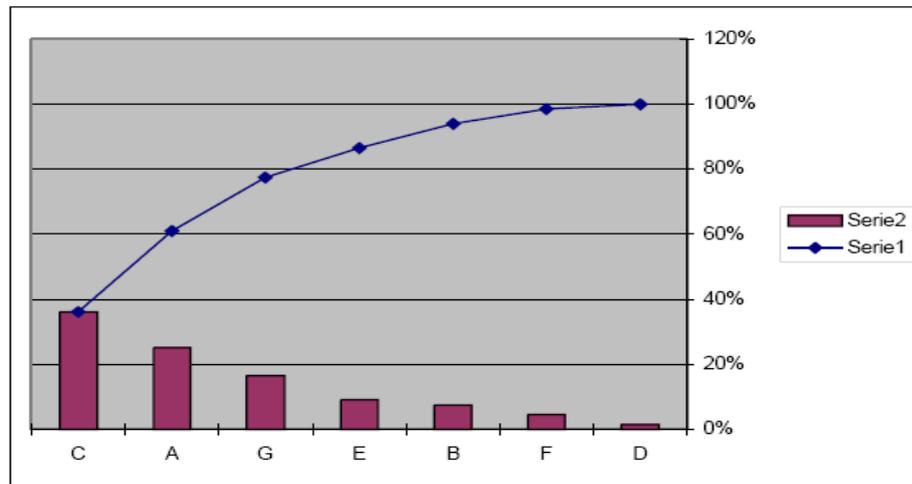


Figura 3.2. Diagrama de Pareto

Fuente: Los siete instrumentos de la calidad total (1995)

3.3. Evaluación de las etapas del proceso de tratamiento del agua, que presenten fallas operativas.

A través de consultas a las normas COVENIN y su interpretación se determina la manera exacta de realizar el muestreo de las aguas a tratar. Una vez hecho el muestreo se caracteriza una muestra cruda del agua a tratar, acción realizada por un laboratorio privado que cuenta con la certificación del M.A.R.N. y realizan los análisis de acuerdo a la metodología establecida por el STANDARD METHODS 20TH EDICIÓN. Se analizarán los parámetros regulados por el decreto 3.219 de fecha 13/01/99 publicado en Gaceta Oficial N° 5.305 de fecha 01/02/99. Entre los parámetros a analizar se encuentran: demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos (en todos sus formas), fósforo, nitrógeno, pH, temperatura, aceites y grasas, sulfatos, cloruros, níquel, cromo, plomo, cobre y cadmio.

De acuerdo con la tabla 3.1 se procede a determinar el tipo de tratamiento acorde con el agua residual.



Tabla 3.1

Orientación del tratamiento a ser aplicado mediante la correlación DBO/DQO

Correlación existente entre el DBO/DQO	Orientación del tratamiento a ser aplicado
De 0,1 al 0,4	Tratamiento Físico-Químico Tratamiento Químico (Pruebas de jarras)
De 0,4 al 0,6	Combinar Tratamientos Físico-Químico con Tratamientos Biológicos (Prueba de Tratabilidad)
Mayor a 0,6	Tratamientos biológicos (Cualquier versión de lodos activados)

Fuente: METCALF & EDDY. (1996).

Las muestras serán sometidas a diversos tratamientos físico – químicos, haciendo uso de diferentes productos químicos (coagulantes y floculantes), es por esta razón que se procede con un diseño experimental basado en la prueba de jarras.

Las pruebas en jarras con coagulantes y floculantes requieren un agitador de laboratorio de 6 plazas o aparato para la prueba en jarras, así como también seis vasos de 2 litros. El procedimiento para llevar a cabo la prueba es:

1. Colocar un vaso de 2 litros debajo de cada una de las paletas de agitación.



Figura 3.3. Vaso de vidrio.



2. Colocar en cada vaso exactamente 1 litro medido con una probeta graduada, de una muestra fresca del agua cruda.
3. Anotar en la hoja de datos la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso. Esta cantidad variará de vaso a vaso.
4. Con cada pipeta, añadir el coagulante en cantidades crecientes en vasos sucesivos.
5. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante 1 min. a una velocidad de 60 a 80 rpm.



Figura 3.4. Equipo para la prueba de jarras.

6. Anotar cuánto tiempo transcurre antes de que se empiece a formar un flóculo.
7. Observar qué tan bien resiste éste, algo de agitación sin fragmentarse.
8. Una vez que transcurre el periodo de agitación del coagulante (mezcla rápida), añadir el floculante en cantidades crecientes en vasos sucesivos.
9. Reducir la velocidad al grado seleccionado de agitación (normalmente 30 rpm aproximadamente y permitir que la agitación continúe durante unos 15 min. Se debe procurar que el grado y tiempo de agitación igualen las condiciones de operación de la planta de floculación).
10. Una vez que transcurre el periodo de agitación, detener el agitador y anotar cuánto tiempo transcurre para que el flóculo se sedimente en el fondo del vaso.



Figura 3.5. Vasos en proceso de sedimentación.

11. Después de permitir que el floculo se asiente durante 30 min, determinar el color y la turbiedad del sobrenadante (el líquido por encima de los floculos).
12. En las hojas de registro se deben anotar las dosis, tiempo y velocidad de mezclado, pH, características de crecimiento de los floculos y análisis del sobrenadante.
13. La jarra que proporcione los mejores resultados indica la dosis adecuada de coagulante y floculante para la planta en cuestión.

El desarrollo de este experimento se basa en la prueba de jarras, para la posterior caracterización de las mejores aguas tratadas obtenidas de manera visual; determinando de esta forma el porcentaje de eficiencia de cada tratamiento.

3.4. Establecimiento de alternativas, de tratamiento del agua, que proporcionen soluciones al problema.

Una vez conocidos los resultados de las distintas pruebas de tratabilidad se procede a compararlos con las exigencias dispuestas por la normativa ambiental (decreto 3.219) y a realizar consultas bibliográficas, así como consulta a expertos, para determinar si alguna nueva disposición de los equipos de la planta de tratamiento, pudiera producir mejores resultados. De esta manera se generan las modificaciones



que se crean pertinentes a la estructura actual de la planta de tratamiento, haciendo uso de tormentas de ideas.

3.5. Selección de las mejores alternativas desde el punto de vista técnico-ambiental, con la ayuda de una matriz de selección.

Aplicando una matriz de selección se busca seleccionar la mejor o las mejores alternativas técnico – ambientalmente hablando, es decir, involucrando los mejores resultados desde el punto de vista físico – químico (obtenido a nivel de laboratorio). De esta manera cada alternativa se clasificará por eficiencia.

Para la realización de la matriz de selección se requiere seguir los siguientes pasos:

- 1.- Se definen los criterios de evaluación y se establece un peso en orden creciente de importancia (0-10), siendo “10” el que se considere más importante.
- 2.- Se define la escala numérica donde se evalúen las alternativas en relación a los criterios, se utiliza una evaluación cualitativa, la cual va desde 10 para la más conveniente hasta 1 para la menos recomendable, comparando la conveniencia entre dichas alternativas.
- 3.- Se asigna una ponderación a cada alternativa de acuerdo a la escala establecida en el paso anterior, se multiplica por el peso de cada criterio y se suman los puntos obtenidos de cada alternativa para obtener una puntuación total.
- 4.- Por último se ordenan las alternativas de forma decreciente de la puntuación total y se selecciona aquella alternativa que tenga la mejor puntuación.

La matriz de selección presenta la estructura que se presenta en la tabla 3.3.



Tabla 3.2

Matriz de selección de la alternativa de tratamiento más conveniente desde el punto de vista técnico-ambiental

Factor clave	P _{criterio}	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		P	Acumulado	P	Acumulado	P	Acumulado
Acumulado Total							

Para obtener el acumulado se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Acumulado} = P_{\text{criterio}} \cdot P \quad 3.1 \text{ (Cohen, 2000)}$$

Donde:

P_{criterio}: Peso del criterio (adim).

P: Ponderación de cada criterio por alternativa (adim).

Acumulado: Valor acumulado por alternativa (adim).

Para determinar el total acumulado por alternativa se hace uso de la siguiente ecuación:

$$AT = \sum \text{Acumulado} \quad 3.2 \text{ (Cohen, 2000)}$$

Donde:

AT: Acumulado total (adim).



3.6. Evaluación económica de la alternativa de tratamiento seleccionada, mediante consulta de precios de materiales y equipos y mediante la estimación de gastos por desecho de las aguas.

El estudio de la relación beneficio - costo de la alternativa seleccionada se realiza estimando los costos de inversión y mantenimiento, para luego comparar ese costo con los gastos en los que se incurre a la hora de contratar a una empresa para que se encargue del agua industrial, la cual no puede ser desechada al colector cloacal por incumplir con los parámetros exigidos por la ley venezolana (decreto 3.219).

La relación beneficio – costo será igual al cociente del valor actual de los beneficios (VAB) sobre el valor actual de los costos (VAC).

Siendo el valor actual de los beneficios (VAB), el dinero ahorrado por el nuevo proyecto o mejora. El valor actual de los costos (VAC) no es más que el dinero necesario para poner en marcha el nuevo proyecto, en otras palabras, representa la inversión.

$$\text{Relación beneficio - costo} = \frac{\text{VAB}}{\text{VAC}} \quad 3.3 \text{ (Cohen, 2000)}$$

Para que el proyecto sea aceptable la relación beneficio – costo (B/C) debe ser igual o mayor que la unidad. Si es igual indica que el valor presente neto del proyecto es igual a cero. Si fuera menor, significaría que el VAB sería menor que el VAC, con lo que no se estaría recuperando la inversión.

De esta manera se le presentan a la empresa una alternativa de solución, sus costos de implantación y mantenimiento, y una relación de beneficios económicos.

Es importante resaltar que existen beneficios ambientales, que no pueden ser cuantificados, ligados a los beneficios económicos. Estos beneficios ambientales son de gran importancia para la empresa, ya que estarían cumpliendo con la legislación ambiental correspondiente (decreto 3.219) y obtendrían una buena imagen ante sus clientes por ser responsables de sus desechos industriales, así como por representar a una empresa legal y segura.



IV. ANÁLISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados del desarrollo de cada uno de los objetivos, así como el análisis respectivo.

4.1. Identificación de las variables que intervienen en el buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas industriales.

Al consultar con expertos en el área de tratamiento de agua, así como material técnico de la planta de tratamiento de la empresa, se logra comprender los factores que influyen en el funcionamiento de la planta de tratamiento; entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

✓ Variabilidad de las condiciones del afluente:

El efluente en la empresa, durante el periodo de investigación, se mantuvo en constante cambio, debido a los diferentes colores de tintas que se usaban de acuerdo a la producción de sacos que fuese requerida, por esta razón es una variable importante a desarrollar.

✓ Preparación de los químicos:

En la empresa, la preparación de los químicos era realizada por el personal encargo, pero el tratamiento físico – químico no funcionaba, haciendo esta variable importante en la investigación.

✓ Dosificación de los químicos:

La dosificación de los productos químicos para un proceso físico – químico son de suma importancia, ya que la dosificación inadecuada de los mismos puede traer consecuencias negativas al proceso. En vista de que el proceso físico – químico que se realizaba en la empresa no presentaba los resultados esperados se procede a evaluar esta variable.



- ✓ Variabilidad de los tiempos de retención:
Los tiempos de retención, en el tratamiento de agua, son muy influyentes en los resultados obtenidos del efluente a la salida de una planta, debido a esto forma parte de uno de los puntos importantes a desarrollar.

- ✓ Mantenimiento de la colonia de bacterias del reactor biológico:
Una colonia de bacterias no es más que organismos vivos, que al no recibir alimento mueren inevitablemente. En la empresa se encontró, al inicio de la investigación, un reactor biológico cargado de una colonia de bacterias que no recibían alimento desde hacía un largo periodo de tiempo, en otras palabras, se encontró una colonia de bacterias muertas, siendo esta una variable de gran importancia para la funcionabilidad de una planta de tratamiento de agua.

Estas son las variables más relevantes que pueden intervenir en el buen funcionamiento de la planta de tratamiento, ya que son los puntos clave donde se pueden generar fallas lo suficientemente importantes como para desestabilizar el sistema.

4.2. Análisis de las variables involucradas y de las etapas del proceso de tratamiento del agua.

4.2.1. Construcción del diagrama causa-efecto.

Con base en la observación directa del proceso de tratamiento del agua, consulta de material bibliográfico, manuales de la planta y a través de entrevistas con el personal de la planta así como con especialistas en el tema, se logró elaborar el diagrama que se muestra en la figura 4.1.

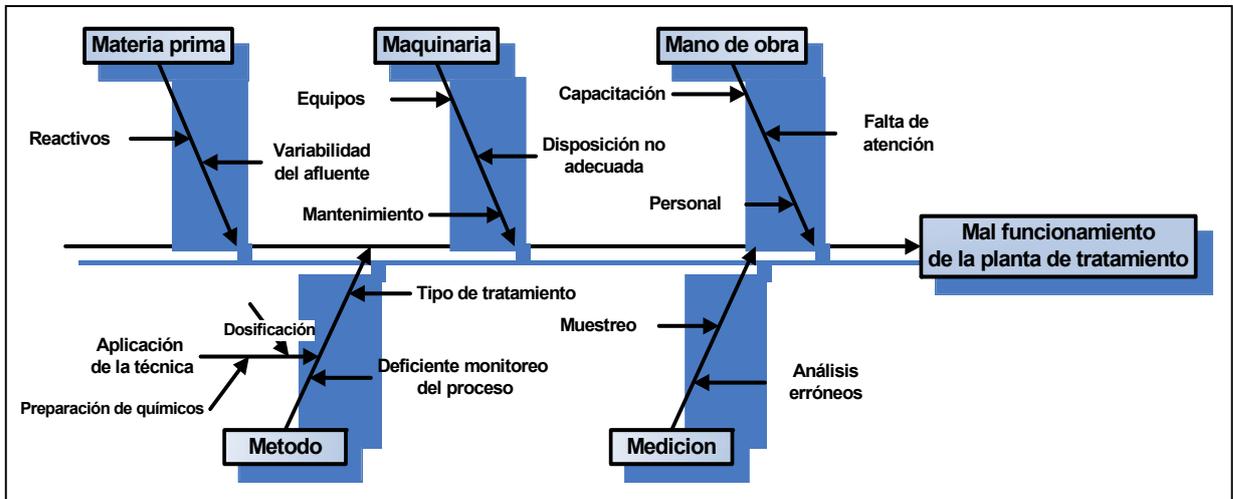


Figura 4.1. Diagrama causa – efecto.

A continuación se presenta el análisis de cada una de las causas que forman parte del diagrama causa-efecto:

4.2.1.1. Materia prima:

❖ Variabilidad del afluente:

Se cuenta con un afluente principalmente contaminado por la presencia de tintas base agua, provenientes del proceso de limpieza de las maquinarias encargadas de la impresión de los sacos de papel. Es necesario destacar que las tintas no son los únicos contaminantes, aunque están en mayor proporción, así que se pueden mencionar otros contaminantes, tales como: jabones, detergentes, desengrasantes, grasas, entre otros. De esta manera se puede decir que el afluente va a variar, ya que la suma de todos estos contaminantes en ningún momento será igual. Pero como la limpieza de las maquinarias es un proceso rutinario para el personal y las cantidades de tinta adheridas a las maquinarias es prácticamente similar en todos los casos, se puede decir que el afluente si va a variar pero dentro de un margen no muy extenso lo cual permite trabajar con el mismo, aunque originando variación en las dosis de los químicos a utilizar de un lote a otro.



❖ **Reactivos:**

Como reactivos tenemos los químicos encargados de tratar el agua, entre ellos tenemos: coagulante y floculante. No todos los químicos coagulantes y floculantes trabajan de manera apropiada con todo tipo de agua, existen una variedad de químicos elaborados para condiciones específicas del agua residual; es por esta razón que la selección del mismo y su correcto uso es de gran importancia a la hora de realizar el tratamiento. Con base en esto se puede decir que el uso no adecuado de los reactivos trae como consecuencia un proceso de tratamiento del agua residual poco eficaz o hasta nulo.

4.2.1.2. Maquinaria:

❖ **Equipos :**

De acuerdo al tipo de tratamiento al que se va a someter el agua contaminada se necesitan unos equipos específicos. La planta de tratamiento con la cual cuenta la empresa esta conformada por dos áreas bien definidas, como lo son: el área de tratamiento físico – químico y el área de tratamiento biológico.

Para un área de tratamiento físico – químico se necesitan tres equipos:

1. **Coagulador:** El cual es un tanque, por lo general cilíndrico, que cuenta con un agitador y donde se lleva a cabo una mezcla rápida del agua residual con el químico coagulante. Cuando se habla de una mezcla rápida es porque el tiempo de retención esta comprendido en un rango que va desde 10 a 90 segundos, bajo régimen turbulento.
2. **Floculador:** Es un tanque, por lo general cilíndrico, que cuenta con un agitador y donde se lleva a cabo una mezcla lenta del agua, proveniente del coagulador, con el químico floculador. La mezcla rápida comprende tiempos de retención de 10 a 30 minutos, bajo régimen laminar.



3. Sedimentador: Es un tanque cilíndrico pero con fondo cónico, donde no se lleva a cabo ningún tipo de mezcla, solo se deja el agua en reposo en espera de que todo el material floculado se separe del agua ya clarificada. El tiempo de retención en esta unidad puede ser de hasta 1 hora.

De acuerdo a información suministrada por expertos, la mayoría de las empresas cuentan con un solo equipo para llevar a cabo estas 3 operaciones, lo cual es el caso de la empresa, ya que por razones económicas es menos costoso y produce resultados muy similares a los obtenidos usando los tres equipos en serie.

Para el área de tratamiento biológico se cuenta con un reactor secuencial por cargas, el cual contiene una colonia de bacterias encargadas de degradar la materia orgánica presente en el agua proveniente del proceso físico - químico. Debido a la particularidad de la planta de tratamiento de trabajar por lotes, es necesario suministrar alimento a las bacterias mientras no se esta llevando a cabo ningún tratamiento, para garantizar la supervivencia de las mismas. Esto es una posible causa de falla, ya que para la fecha de inicio del proyecto no se realizaba ningún lote en la planta y tampoco de alimentaba la colonia de bacterias.

❖ Disposición no adecuada:

La disposición de los equipos es vital a la hora de tratar aguas contaminadas. La empresa posee sus equipos dispuestos de la siguiente manera. Ver figura 4.2:

1. Trampa de grasa.
2. Tanque de igualación.
3. Tanque físico – químico.
4. Reactor biológico.
5. Lechos de secado.

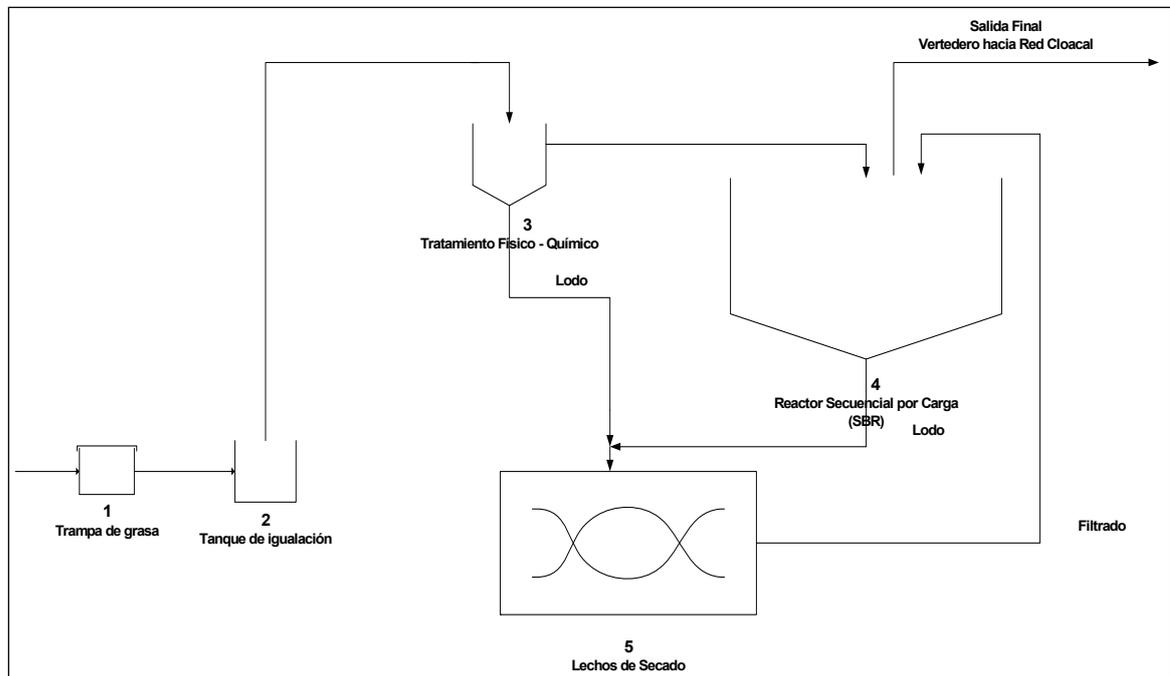


Figura 4.2. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de la empresa.

Por lo tanto la disposición de los equipos no es un problema relacionado con el buen funcionamiento de la planta de tratamiento, en este caso en particular, ya que los equipos siguen una secuencia lógica y acorde al tipo de tratamiento que se está realizando.

❖ **Mantenimiento:**

El mantenimiento de los equipos es algo muy importante, en este caso el mantenimiento de equipos mecánicos es poco relevante, ya que el mantenimiento del reactor biológico es de suma importancia, por el hecho de tener materia viviente en él como lo son las bacterias, que una vez muertas no sirven para el tratamiento del agua. Este es un factor al cual no se le daba la importancia necesaria, pudiendo traer así problemas importantes al tratamiento.



4.2.1.3. Mano de obra:

❖ Personal:

La planta de tratamiento debe de poseer personal encargado de su funcionamiento para garantizar su buen desenvolvimiento. La planta de tratamiento no cuenta con personal dedicado a su operatividad, lo que genera un vacío y por consecuencia utilización no adecuada de la misma.

❖ Capacitación:

El personal con el que debería de contar una planta de tratamiento debe de estar bien capacitado y entrenado para poder resolver problemas durante la operación. La dilución de los reactivos, la aplicación, los tiempos y las velocidades de agitación, determinación de la dosis exacta de los reactivos a aplicar, alimentación del reactor biológico, uso de las válvulas a lo largo de la planta, son varias de las tareas para la cual debe de estar preparado el o los encargados de la planta de tratamiento, siendo esta una fuente de posibles fallas operativas.

❖ Falta de atención:

Esto viene de la mano con las dos anteriores, es necesario contar con personal debidamente capacitado y dedicado a la planta de tratamiento para poder garantizar un buen funcionamiento de la misma.

4.2.1.4. Método:

❖ Tipo de tratamiento:

Debido a la naturaleza de los contaminantes del agua de la empresa, como lo son las tintas base agua, es fácil concluir que el tipo de tratamiento a usar es físico – químico, que las tintas están constituidas por material inorgánico. De acuerdo a los resultados de un tratamiento físico – químico se determina la



necesidad o no de hacer pasar el agua por un tratamiento biológico. Así que el tipo de tratamiento es el adecuado.

❖ Deficiente monitoreo del proceso:

Aunque se comentó que el afluente varía de manera no muy significativa, es necesario mantener un monitoreo continuo al mismo, ya que antes de cada lote es necesario determinar la dosis de reactivos idónea con el objeto de obtener los mejores resultados.

❖ Aplicación de la técnica:

Es casi seguro que la aplicación de la técnica a la hora de llevar a cabo el proceso es una de las razones de fallas en el proceso. Ya que mediante las entrevistas al personal de la empresa se logró determinar tal situación.

➤ Preparación de químicos:

La preparación de los químicos no es que la dilución de los mismos, ya que la presentación de los mismos varía entre polvo y líquidos muy espesos. Además la experiencia de expertos dice que estos químicos funcionan de manera más eficaz una vez diluidos.

➤ Dosificación:

Este es un punto muy importante, debía a que los contaminantes del agua son partículas coloidales cargadas negativamente, la tarea del coagulante es neutralizar tales partículas, con el objeto de facilitar la unión entre ellas y de esta manera la formación de partículas de mayor tamaño. Pero el uso de este reactivo en exceso generaría que las partículas coloidales se cargaran positivamente repeliéndose entre si nuevamente.



El uso del floculante también es importante dosificarlo, primero porque agregarlo en exceso significa desperdiciarlo y segundo porque el en exceso se convierte en otro contaminante más.

4.2.1.5. Medición:

En este caso tanto el muestreo como los análisis de las aguas son realizados por un laboratorio certificado por el ministerio del ambiente y de amplia trayectoria en campo, por lo tanto se puede considerar confiable sus resultados.

4.2.2. Construcción del diagrama de Pareto.

Con la ayuda del análisis realizado por el diagrama de causa-efecto se construyó el diagrama de Pareto que se puede visualizar en la figura 4.2. En el se logra observar que el 70% de los problemas son causados por los reactivos y la técnica (preparación de químicos y dosificación). Así que con ayuda de este diagrama se logra determinar el rumbo a seguir para establecer la mejora deseada.

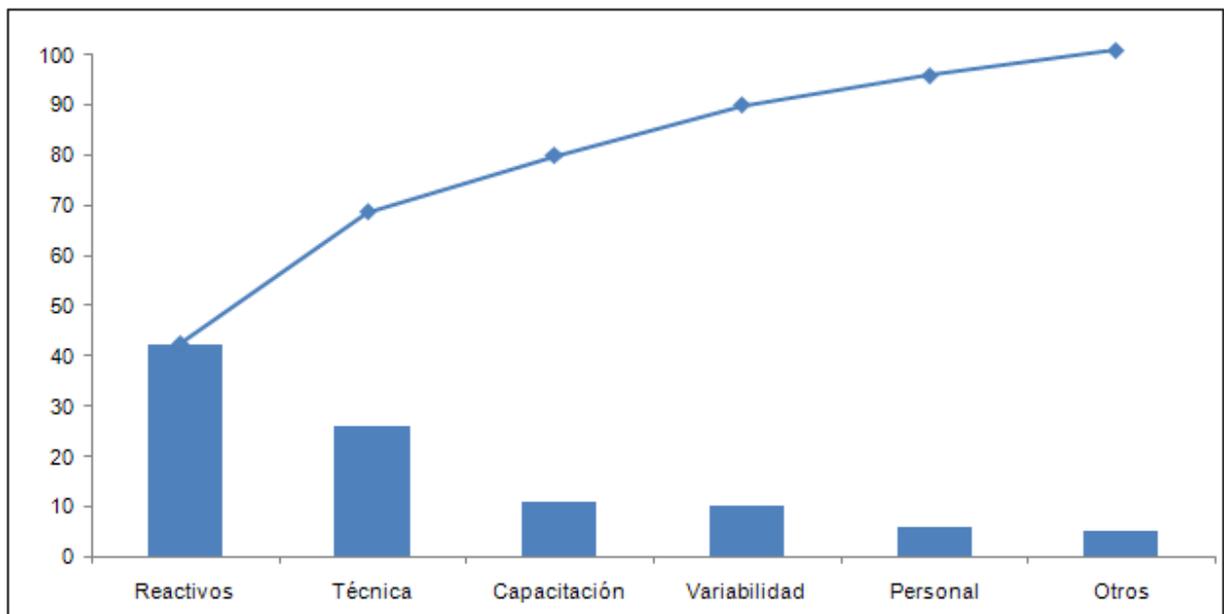


Figura 4.3. Diagrama de Pareto.



Gracias a lo observado en el diagrama de Pareto, se decide evaluar de manera profunda el proceso físico – químico, determinando los químicos adecuados para tratar el tipo de afluente que genera la empresa, así como también el modo de empleo y uso de los mismo. De esta manera se estará evaluando el 70% de los problemas presentes en la planta de tratamiento de la empresa, según lo expresado por el diagrama.

4.3. Evaluación de las etapas del proceso de tratamiento del agua, que presenten fallas operativas.

Las fallas operativas de mayor relevancia que se detectaron en el proceso de tratamiento que la empresa lleva a cabo, se detectaron en el proceso físico-químico, ya que por las entrevistas realizadas se pudo saber que esta etapa no estaba funcionando. Por esta razón se caracterizó una muestra del agua industrial contenida en el tanque de igualación, obteniendo de esta forma los resultados que se presentan en la tabla 4.1. Donde se destacan los parámetros que incumplen con la normativa ambiental vigente (decreto 3.219).

Tabla 4.1
Resumen Comparativo de los resultados obtenidos con los valores
establecidos por el M.A.R.N. Decreto 3.219

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA CRUDA	VALOR MÁXIMO Establecido Decreto N° 3.219 A colector cloacal
pH	Adim.	6,60	6,00 – 9,00
Sólidos totales	mg/l	25640	1600
Sólidos susp. Totales	mg/l	23950	400
DBO	mg/l	5050	350
DQO	mg/l	52331	700



Tabla 4.1

Resumen Comparativo de los resultados obtenidos a la salida del reactor biológico con los valores establecidos por el M.A.R.N. Decreto 3.219 (Continuación)

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA CRUDA	VALOR MÁXIMO Establecido Decreto N° 3.219 A colector cloacal
A&G minerales	mg/l	34	20
Fosforo total	mg/l	107	10
Nitrógeno total	mg/l	797	40
Cromo total	mg/l	0,34	2
Cobre	mg/l	3,06	0,5
Plomo	mg/l	1,28	0,5
Níquel	mg/l	0,54	1
Cadmio	mg/l	0,1	0,2
Cloruros	mg/l	82	300
Sulfatos	mg/l	51	400

Basado en la relación entre DBO/DQO, la cual es igual a $(0,097 \pm 0,001)$ adim, se determinó y comprobó que el tratamiento al cual debe ser sometido el afluente generado por la empresa, es un tratamiento físico – químico. Por lo tanto se procede a realizar pruebas de jarras, la cual no es más que pruebas a escala del proceso físico - químico. Ver tabla 3.1.



Es por esto que para la evaluación de esta etapa del tratamiento se plantea:

1. Determinar los productos químicos a utilizar para el tratamiento físico - químico.
2. Establecer la forma de preparar el producto para el tratamiento.
3. Proponer un rango entre el cual pueda oscilar la dosificación de los reactivos.

Para la realización de las pruebas de jarras se van a utilizar los polímeros que se muestran en la tabla 4.2; los cuales fueron recomendados por expertos en el área de tratamiento de aguas industriales contaminadas con tintas específicamente y que se encuentran actualmente disponibles en el mercado venezolano.

Tabla 4.2
Productos químicos a utilizar para el desarrollo
de las pruebas de jarras.

MARCA	COAGULANTE	FLOCULANTE
MQ	Polímero catiónico MQ-130	Polímero catiónico MQ-297
MELER	Polímero catiónico Arpol-2275	Polímero catiónico Arpol-2210

A través de las pruebas de jarras se logro determinar las siguientes dosis para cada uno de los productos utilizados, estos se muestran en la tabla 4.3 a continuación.



Tabla 4.3

Dosis establecidas de cada uno de los químicos utilizados para un lote de 1,8 m³.

Químico	MQ		Meler		Cal Diluida 20%
	MQ-130 Diluido 20%	MQ-297 Diluido 0,1%	Arpol 2275 Diluido 20%	Arpol 2210 Diluido 0,1%	
Dosis (litro)	36	18	30,0 – 72,0	10,0 – 45,0	7,0 – 18,0

En la tabla 4.4 se presentan los resultados de la caracterización de dos muestras de aguas tratadas con los distintos polímeros y las dosis ya especificadas. Se presentan las dosis con el porcentaje de dilución que mejor reacciona y que a su vez involucra la menor cantidad de agua limpia para diluir el químico, con el objeto de consumir la menor cantidad de agua no contaminada posible.

Tabla 4.4

Resultados de la caracterización de las muestras de agua tratada.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA MQ	MUESTRA MELER	VALOR MÁXIMO Establecido Decreto N° 3.219 A colector cloacal
pH	Adim.	8,40	8,50	6,00 – 9,00
Sólidos totales	mg/l	2085	2455	1600
Sólidos susp. Totales	mg/l	65	43	400



Tabla 4.4
Resultados de la caracterización de las
muestras de agua tratada.
(Continuación)

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA MQ	MUESTRA MELER	VALOR MÁXIMO Establecido Decreto N° 3.219 A colector cloacal
DBO	mg/l	1900	1570	350
DQO	mg/l	3522	4600	700
A&G minerales	mg/l	11	14	20
Fosforo total	mg/l	17	34	10
Nitrógeno total	mg/l	396	481	40
Cromo total	mg/l	0,072	0,082	2
Cobre	mg/l	0,048	0,08	0,5
Plomo	mg/l	0,16	0,12	0,5
Níquel	mg/l	0,042	0,047	1
Cadmio	mg/l	0,008	0,008	0,2
Cloruros	mg/l	484	467	300
Sulfatos	mg/l	30	48	400

Se puede apreciar que la diferencia de los resultados de tratar el afluente con los distintos productos químicos es bastante similar; es por esto y por petición de la empresa que se procedió a realizar una nueva caracterización de agua cruda y de agua



tratada usando solo los productos de **Meller**, con el objeto de determinar la repetitibilidad de los resultados.

Tabla 4.5
Resultados de la caracterización
usando productos Meler.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA CRUDA	MUESTRA MELER	VALOR MÁXIMO Establecido Decreto N° 3.219 A colector cloacal
pH	Adim.	7,90	8,80	6,00 – 9,00
Sólidos totales	mg/l	11420	2775	1600
Sólidos susp. Totales	mg/l	10750	109	400
DBO	mg/l	4242	2410	350
DQO	mg/l	24600	5640	700
A&G minerales	mg/l	29	19	20
Fosforo total	mg/l	41	16	10
Nitrógeno total	mg/l	744	534	40
Cloruros	mg/l	110	349	300
Hierro	mg/l	3,90	0,18	25

En esta oportunidad no se analizaron los metales pesados por su excelente disminución en la primera caracterización, esto se hizo con el fin de reducir los costos



de los análisis. Por otra parte, estos resultados son semejantes a los realizados anteriormente con los productos **Meler**, es decir, están dentro de un rango de valores cercanos; lo que proporciona una idea clara del alcance de los productos químicos a la hora de purificar el agua. En la tabla 4.6, se muestran los porcentajes de remoción de los resultados obtenidos usando los productos **Meler**.

Tabla 4.6
Porcentaje de remoción usando
productos Meler

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA CRUDA	MUESTRA MELER	PORCENTAJE DE REMOCIÓN (%)
pH	Adim.	7,90	8,80	-
Sólidos totales	mg/l	11420	2775	75,70
Sólidos susp. Totales	mg/l	10750	109	98,99
DBO	mg/l	4242	2410	43,19
DQO	mg/l	24600	5640	77,07
A&G minerales	mg/l	29	19	34,48
Fosforo total	mg/l	41	16	60,98
Nitrógeno total	mg/l	744	534	28,23
Cloruros	mg/l	110	349	-
Hierro	mg/l	3,90	0,18	95,38

Se puede destacar la reducción de los sólidos suspendidos totales en un 98,99%, haciéndolos entrar en norma (decreto 3.219); así como también se puede mencionar los sólidos totales que se redujeron en un 75,70% aunque sin entrar en norma, como es el caso similar de la DQO con 77,07%, la DBO con 43,19%, el fosforo



total en 60,98% y el nitrógeno total en 28,23%. Estos parámetros no entran en norma pero se logró una reducción bastante significativa tomando en cuenta que es el resultado de un proceso físico – químico, en el cual lo que se espera es una reducción importante de sólidos suspendidos, metales pesados, aceites y grasas y DQO.

Los resultados obtenidos con los productos **Meler** proporcionan condiciones ideales al agua para ser sometida a un tratamiento biológico, siendo este el siguiente paso del tratamiento, basándose en la relación DBO/DQO que en este caso es de $(0,427 \pm 0,001)$ adim. Ver tabla 3.1; donde se especifica la orientación del tratamiento de acuerdo a dicha relación.

También es necesario destacar que el aumento de los cloruros después del tratamiento físico – químico, es una consecuencia directa del uso de los polímeros, ya que estos en su composición presentan policloruro de aluminio, entre sus componentes base. Pero que podrán ser removidos durante el tratamiento biológico.

4.4. Establecimiento de alternativas, de tratamiento del agua, que proporcionen soluciones al problema.

Para el tratamiento del afluente generado por la empresa se planean diferentes alternativas basadas en un tratamiento por lote, en la disposición de los equipos y en las dimensiones de los mismos.

4.4.1. Alternativa 1: Uso de los equipos con los cuales cuenta la planta actualmente.

Consiste en la utilización de los equipos actualmente instalados en la planta de tratamiento de aguas industriales de la empresa, estableciendo los parámetros necesarios para su funcionamiento y buen desempeño. Entre estos parámetros se pueden mencionar el tamaño o volumen del lote, el cual será de 1800 litros, las dosis de polímeros a utilizar se especifican en la tabla 4.3 y se utilizarán los productos Arpol de Meler, el tiempo de retención en el tratamiento físico – químico será de 50 minutos,



la cantidad de lodos necesarios para el tratamiento del lote será de 630 litros y el tiempo de retención en el proceso biológico secuencial será de 6 horas. Es necesario tomar en cuenta que este proceso de tratamiento se realizará cada 2 semanas, debido a que es el tiempo en el cual se acumula el volumen de agua requerido. Los lodos secos, por referencias históricas de la empresa, no han sido tóxicos, de tal manera que pueden ser dispuestos como desechos sólidos. Ver figura 4.4.

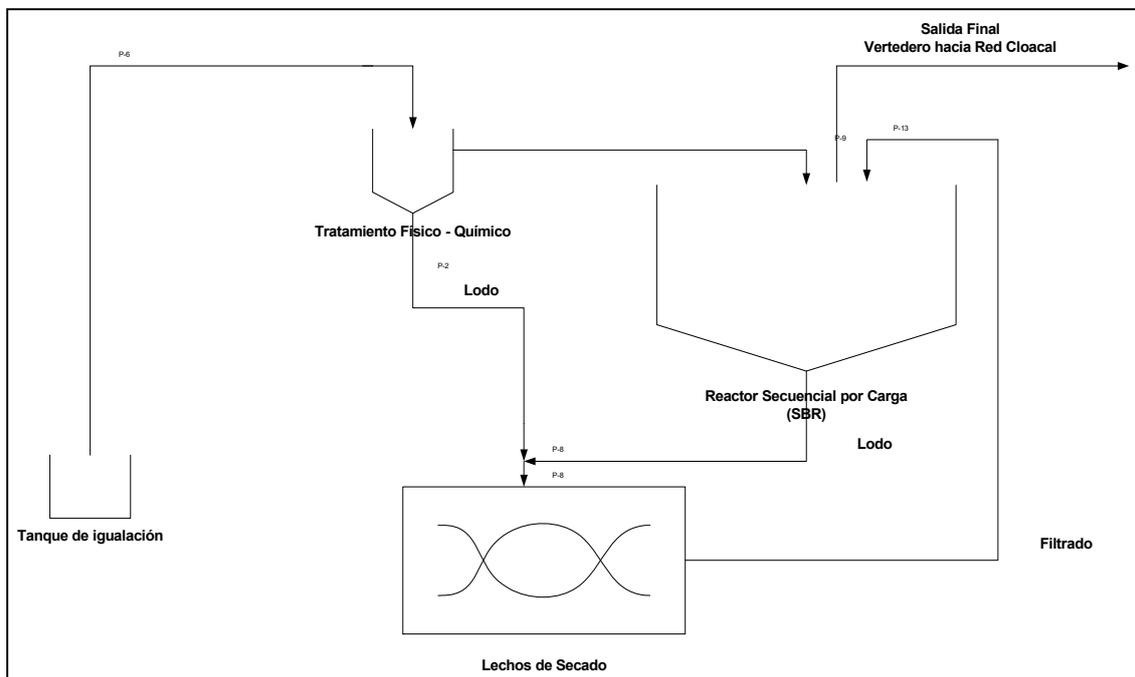


Figura 4.4. Diagrama de flujo de la Alternativa 1.

4.4.2. Alternativa 2: Uso del tratamiento físico – químico en tres etapas.

Consiste en la división del tratamiento físico – químico en tres etapas haciendo uso de tres equipos distintos coagulador, floculador y sedimentador, tomando en cuenta que el tanque cilíndrico – cónico que se posee actualmente desempeñará la función de sedimentador. Esta opción es la más adecuada, ya que garantiza una mayor eficiencia en el tratamiento. Se mantendrá el tamaño del lote en 1800 litros, la dosis de los productos Arpol de Meler se reflejan en la tabla 4.3, los tiempos de retención para el



tratamiento físico – químico serán los siguientes: 2 minutos en el coagulador, 3 minutos en el floculador y 45 minutos en el sedimentador, la cantidad de lodos necesarios para el tratamiento del lote será de 630 litros y el tiempo de retención en el proceso biológico secuencial será de 6 horas. Este proceso se realizará cada 2 semanas, con el fin de recolectar el volumen de agua necesario. Ver figura 4.5.

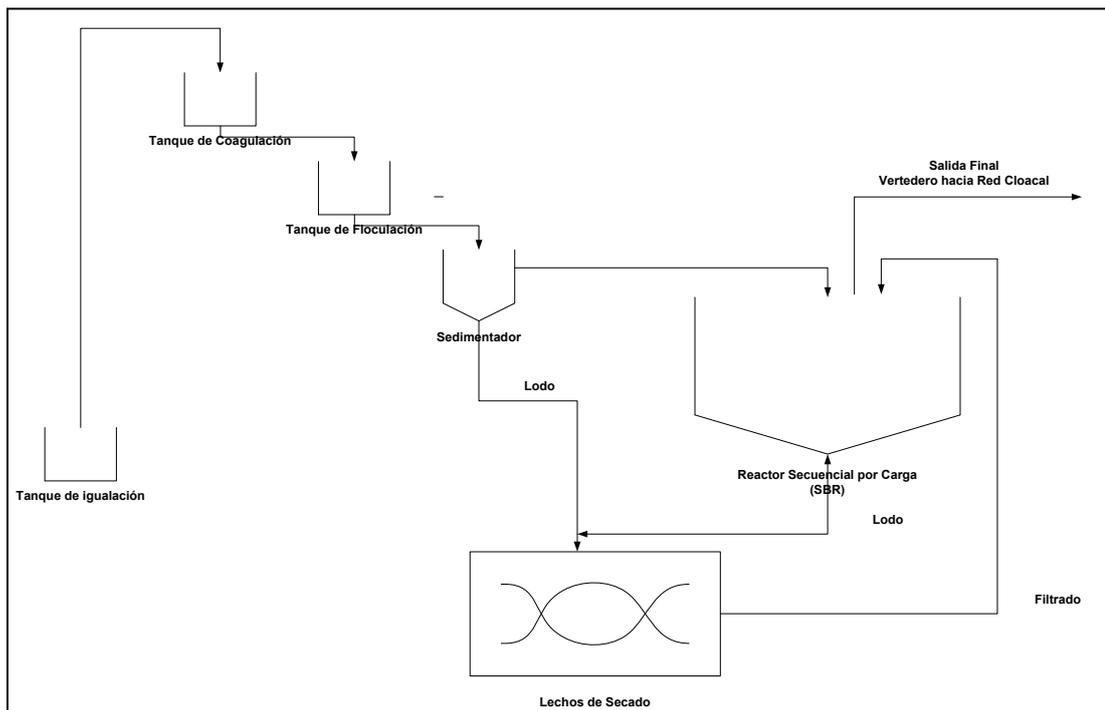


Figura 4.5. Diagrama de flujo de la Alternativa 2.

4.4.3. Alternativa 3: Modificación del tamaño del lote.

Se plantea reducir el tamaño o volumen del lote a tratar a unos 200 litros, con el objeto de realizarlos cada 2 días. Esta reducción implica equipos de menor capacidad tanto para el tratamiento físico – químico, como para el tratamiento biológico. El volumen del coagulador, floculador y sedimentador será de unos 230 litros (considerando el volumen del tanque un 15% superior al tamaño del lote para garantizar borde libre), la dosis de los productos Arpol de Meler se ve reflejada en la tabla 4.7, los



tiempos de retención para el tratamiento físico – químico serán los siguientes: 2 minutos en el coagulador, 3 minutos en el floculador y 45 minutos en el sedimentador, el volumen del reactor secuencial será de 300 litros, para el tratamiento del lote se necesitarán 70 litros de lodos y 6 horas de retención para el proceso biológico secuencial. Ver figura 4.6.

Tabla 4.7
Dosis establecidas de cada uno de los químicos a utilizar
para un lote de 200 litros.

Químico	Meler		Cal Diluida 20%
	Arpol 2275 Diluido 20%	Arpol 2210 Diluido 0,1%	
Dosis (litro)	3,0 – 8,0	1,0 – 5,0	0,7 – 2,0

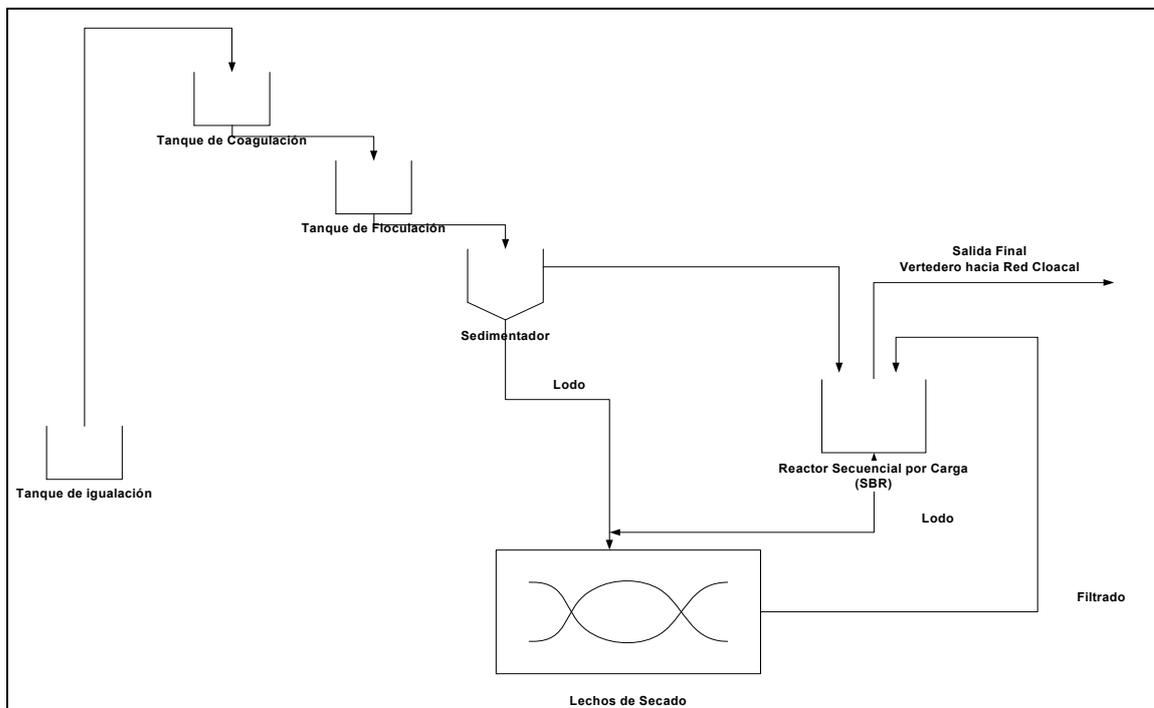


Figura 4.6. Diagrama de flujo de la Alternativa 3.



4.5. Selección de las mejores alternativas desde el punto de vista técnico-ambiental, con la ayuda de una matriz de selección.

Para la evaluación técnico-ambiental de las alternativas planteadas se usarán los siguientes criterios:

- ✓ Eficiencia.
- ✓ Costo de implementación.
- ✓ Operatividad.
- ✓ Mantenimiento.

La eficiencia en el tratamiento es un criterio de gran importancia para la empresa, ya que se desea cumplir a cabalidad con lo expuesto en el decreto 3.219, es por esta razón que se le establece un peso de 10. Los costos son otro factor muy importante para la empresa, esto se debe a la necesidad de generar una solución viable al menor costo posible, por esta razón se le asigna un peso de 10 a este criterio. La operatividad representa un criterio de menor importancia; aunque se requiere de un sistema de fácil operación por parte del personal encargado de la labor, de esta manera se le asigna un peso de 5. El mantenimiento es un criterio de gran importancia porque representa gastos a la empresa y es una labor que se debe de realizar de manera periódica para garantizar el buen funcionamiento de la planta, mientras mas sencillo sea mejor será para la empresa, por lo tanto se la asigna un peso de 8.

Para la alternativa 1, se le asigna una ponderación a la eficiencia de 7, ya que el tratamiento físico – químico se realiza en un solo tanque. En cuanto al costo se le asigna 9, esto se debe al hecho de que esta alternativa representa a la que menos costo de implementación requiere por hacer uso de los equipos existentes ya en planta. Por otra parte se le asigna 6 a la operatividad, por tratarse de un tamaño de lote grande, lo que implica la preparación de grandes cantidades de productos químicos. Para el mantenimiento de esta disposición de equipos se requiere gran trabajo, esto se debe a que la planta es de grandes dimensiones y solo será usada una vez cada 15



días, y es necesario acortar que el contaminante principal del agua a tratar es tinta la cual al secar crea una especie de costra obstruyendo tuberías y drenajes, por esta razón se pondera con 5.

La alternativa 2 representa una mejora en la eficiencia del tratamiento físico – químico, es por esto que se le asigna una ponderación de 9. El número de equipos adicionales incrementa un poco su costo de implementación, debido a esto se le asigna 6. La operatividad se puede ver un poco afectada al aumentar el número de equipos presentes en planta, pero no de manera significativa, por esto se le asigna 5. Para esta alternativa el mantenimiento es igual de crítico que para la anteriormente descrita, ya que se trabaja con el mismo tamaño de lote, así que se le asigna 5.

En la alternativa 3 se presenta una situación de reducción del tamaño del lote, lo que representa cambios significativos en la planta. La eficiencia se pondera con 9, ya que se está planteando las tres etapas del tratamiento físico – químico por separado. Los costos de implementación si se ven un poco afectados en este caso, debido a que es necesario adquirir varios equipos, pero no de manera muy significativa, puesto que el volumen de dichos equipos es relativamente pequeño, se le asigna 5. La operatividad se ve mejorada al reducir el tamaño del lote, lo que implica la preparación de menor cantidad de químicos y facilita su manipulación, asignándole 8. El mantenimiento en este caso se ve minimizado, por el simple hecho de hablar de equipos de menor tamaño y que estarán operando de manera más continua que las dos alternativas anteriores, así se le asigna 8.

A continuación se presenta la matriz de selección:



Tabla 4.8

Matriz de selección de la alternativa de tratamiento más conveniente desde el punto de vista técnico-ambiental

Factor clave	P _{crit}	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		P	Acumulado	P	Acumulado	P	Acumulado
Eficiencia	10	7	70	9	90	9	90
Costo Implementación	10	9	90	6	60	5	50
Operatividad	5	6	30	5	25	8	40
Mantenimiento	8	5	40	5	40	8	64
Acumulado Total	-	-	230	-	215	-	244

De esta manera y a través de esta herramienta se logro determinar que la alternativa más conveniente, en este caso, es la alternativa 3. Esta alternativa se destaca de las demás por su alta eficiencia, su operatividad, su sistema de tratamiento en intermitente, haciendo menores los lapsos entre cada lote. También es necesario destacar que el reactor biológico tiene un contenido de materia viva, representada por los lodos, haciendo necesario la alimentación de las mismas durante los periodos de espera del siguiente lote; dicha alimentación se lleva a cabo agregando perrarina al reactor, lo que conlleva a gastos de mantenimiento. Para esta alternativa se tendría que alimentar el reactor de manera interdiaria, reduciendo así el consumo de perrarina en comparación con las alternativas 1 y 2, lo que hace que la ponderación del mantenimiento se incremente en la matriz de selección.



4.6. Evaluación económica de las alternativas de tratamiento seleccionadas, mediante consulta de precios de materiales, equipos y mediante la estimación de gastos por desecho de las aguas.

En esta sección se hará un estudio basado en un lapso de tiempo de 1 año, estimando los costos generados por contratar a una empresa externa para que se encargue de la incineración de las aguas contaminadas, ya que el efluente no puede ser descargado al colector cloacal por no cumplir con el decreto 3.219. Dicho gasto representa el beneficio a obtener (VAB).

Los costos de implantación, mantenimiento y operación representan directamente el valor actual de los costos (VAC), siendo así tenemos:

- VAB: representado por el dinero facturado a la empresa recolectora de las aguas contaminadas en un año.

$$VAB = 17399,44 \text{ \$/año}$$

- VAC: representado por el dinero a invertir para implantación, mantenimiento y operación de la alternativa seleccionada por un año.

Tabla 4.9
Gastos generados para el primer año de operación
de la alternativa seleccionada

INVERSIÓN	TIPO	COSTO (\$/ano)
IMPLANTACIÓN	Costo de equipos	2373,01
	Instalación	930,23
MANTENIMIENTO	Mantenimiento de equipos	465,12
	Alimento para reactor biológico	1003,02
OPERACIÓN	Químicos	621,30



La sumatoria de los costos reportados en la tabla 4.9 representa el VAC, siendo el siguiente:

$$VAC = 5392,68 \$/\text{año}$$

Tomando en cuenta los valores de VAB y de VAC obtenidos, se procede a establecer la relación beneficio – costo que se presenta a continuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{VAB}{VAC} = \frac{17399,44 \$/\text{año}}{5392,68 \$/\text{año}}$$

$$\frac{B}{C} = 3,23$$

El resultado de la relación beneficio – costo indica que el proyecto es aceptable, debido a que es superior a la unidad, indicando que el valor actual de los beneficios obtenidos por el proyecto son superiores al valor actual de los costos generados por la puesta en marcha del mismo.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones a las que se llegó una vez finalizada la investigación y las recomendaciones pertinentes para el uso adecuado de la planta de tratamiento.

CONCLUSIONES

- La variable más influyente en el afluente a tratar es el contenido de tintas bases agua, provenientes del proceso de impresión de los sacos de papel, representando el contaminante en mayor proporción.
- La empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas industriales fuera de funcionamiento.
- La última caracterización del efluente proveniente de la planta de tratamiento de aguas industriales presenta parámetros que no cumplen con el decreto 3.219, legislación que rige las descargas a las redes cloacales de la cuenca del lago de Valencia.
- El tratamiento físico – químico, de la empresa, se realiza en un solo tanque cónico de 1800 litros.
- El reactor biológico contiene una carga de lodos muertos por falta de alimento.
- La mayor falla operativa se detectó en el tratamiento físico – químico, el cual no estaba presentando resultados favorables.
- La relación DBO/DQO, del agua cruda, está comprendida entre 0,1 – 0,2; esto indica que el tratamiento adecuado es de tipo físico - químico.



Conclusiones y Recomendaciones

- Mediante la caracterización del agua resultante de la prueba de jarras, se determinó que los resultados de los polímeros de MQ son similares a los resultados de los polímeros de Meler.
- Se seleccionaron los polímeros de Meler como coagulante (Arpol 2275) y floculante (Arpol 2210), por disponibilidad inmediata de la empresa y por los resultados favorables obtenidos en las pruebas de jarras.
- Los polímeros incrementan el contenido de cloruros en el agua, debido a que están compuestos por policloruro de aluminio. Dicho contenido será disminuido posteriormente en el tratamiento biológico.
- La caracterización del agua tratada en el proceso físico - químico, presenta parámetros aun fuera de norma, indicando la utilización de un tratamiento biológico.
- El tamaño del lote actual de la planta es de 1800 litros.
- La alternativa 3 propone reducir el tamaño del lote a 200 litros.
- Se seleccionó la alternativa 3, como la más adecuada, a través de una matriz de selección.
- La Alternativa 3 establece la realización de un lote ínter diario.
- La relación beneficio – costo es igual a 3,23; haciendo al proyecto aceptable.



Conclusiones y Recomendaciones

RECOMENDACIONES

- Implantar la alternativa seleccionada para cumplir con las exigencias medioambientales establecidas en la norma y para eliminar los costos generados por la contratación de una empresa externa para que se encargue del agua industrial producida.
- Realizar lotes ínter diarios, de 200 litros, con el objeto de reducir los costos por mantenimiento tanto de equipos como de la colonia bacteriana presente en el reactor biológico secuencial y de esta manera cumplir con los resultados obtenidos en la evaluación beneficio – costo.
- Alimentar el reactor biológico, con 2 kg de perrarina, los días que no se realicen lotes, para garantizar la supervivencia de la colonia bacteriana contenida en él.
- Realizar pruebas de jarras antes de cada lote para garantizar el uso adecuado de los polímeros coagulante y floculante.
- Realizar caracterizaciones trimestrales en diferentes puntos de la planta, para monitorear el rendimiento de la misma.
- Capacitar al personal encargado de la planta de tratamiento de aguas industriales para garantizar el funcionamiento adecuado de la misma.
- Para reducir costos, pero sacrificando eficiencia, se puede realizar el tratamiento físico – químico en un tanque cónico de 230 litros de capacidad y la segmentación del reactor biológico actual, con tabiques, para garantizar la disminución del volumen a utilizar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **CENTRO DE TECNOLOGIAS DE INFORMACION (2007)**. [En línea]. Disponible: www.cti.espol.edu.ec
2. **COHEN E, y FRANCO R. (2000)**. Evaluación de proyectos sociales. Editorial Siglo Veintiuno. Tercera edición. Argentina.
3. **DÍAZ, R. y SANGRONA, J. (2002)**. Evaluación Técnico-Económica para la mejora del sistema de dosificación e inyección de químicos en la planta de potabilización “Dr. Alejo Zuloaga” de la C.A. Hidrológica del Centro. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Valencia, Venezuela.
4. **DOMÍNGUEZ, Y., GARCÍA-MORALES, J. L., y QUIROGA, J. M. (2001)**. Caracterización de las aguas residuales de aporte a una E.D.A.R. Ingeniería Química, 375 (XXXIII), 135 – 141, España.
5. **FERNÁNDEZ, L. y MONCADA, R. (2003)**. Evaluación y mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de Tinaco. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Valencia, Venezuela.
6. **GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA N° 5305 DECRETO 3219 (1999)**. Normas para la clasificación y control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de valencia y otras.
7. **GALGANO A. (1995)**. Los siete instrumentos de la calidad total. Ediciones Díaz de Santos. Primera edición. España.
8. **GESTIOPLOIS (2007)**. [En línea]. Disponible: <http://www.gestiopolis.com/>

9. **Guerra, G. (1995).** Glosario para administradores y economistas agropecuarios. Editorial Limusa. Primera edición. México.
10. **Hernández, M. (2006).** Simulación de las alternativas de tratamiento del efluente generado en una industria metalmeccánica. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Valencia, Venezuela.
11. **MARÍN, Y. y RAMONES, J. (2005).** Evaluación del proceso de coagulación en la planta de potabilización Dr. Lucio Baldó Soulés. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Valencia, Venezuela.
12. **METCALF & EDDY. (1996).** Ingeniería de aguas residuales (volumen 1 y 2). Editorial McGraw Hill. Tercera edición. México.
13. **NALCO (1985).** Coagulación- Floculación. Manual del agua. McGrawHill.
14. **NORMA COVENIN 2634 (2002).** Aguas naturales, industriales y residuales. Definiciones. 1^{ra} Revisión.
15. **SUN CHEMICAL LATIN AMERICA (2007).** [En línea]. Disponible: <http://www.tintas.com/>
16. **SUSIAL, P., CABRERA GONZÁLEZ, I., FERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, F., GODOY, E. y RAMOS BATISTA, M. (2005).** Tratamiento por coagulación de aguas con cola de almidón. Efluentes típicos de la industria cartonera. Ingeniería Química, 423 (XXXVII), 136 – 146, España.
17. **VERDÉS PRIETO, J. (2001).** Los coagulantes orgánicos reducen la formación de lodos. Ingeniería Química, 375 (XXXIII), 189 – 194, España.



CÁLCULOS TÍPICOS

1. Cálculos para las dosis de químicos a utilizar para un lote de 1800 litros.

Las pruebas de jarras arrojaron los resultados de las dosis necesarias para un litro de cada químico diluido.

1.1. Dilución del polímero coagulante:

El polímero coagulante es un líquido viscoso y para la dosis recomendada se debe diluir al 20% V/V.

Para 1 litro de agua a tratar se necesitan 40 mililitros del coagulante diluido al 20%, para 1800 litros de agua a tratar tenemos que:

$$\text{Volumen de coagulante al 20\%} = \frac{0,04 \text{ l}}{1 \text{ l}} \cdot 1800 \text{ l}$$

$$\text{Volumen de coagulante al 20\%} = 72 \text{ l}$$

$$\text{Volumen de coagulante puro} = 72 \text{ l} \cdot 0,2$$

$$\text{Volumen de coagulante puro} = 14,4 \text{ l}$$

$$\text{Volumen de agua pura} = 72 \text{ l} - 14,4 \text{ l}$$

$$\text{Volumen de agua pura} = 57,6 \text{ l}$$

Lo que quiere decir que para un lote de 1800 litros se necesitan 72 litros del coagulante al 20% de dilución, donde 14,4 litros corresponden al coagulante puro y los 57,6 litros restantes corresponde a agua pura.

1.2. Dilución del polímero floculante:

El polímero floculante es un sólido granular y para la dosis recomendada se debe diluir al 0,1% P/V.

Para un litro de agua a tratar se necesitan 25 mililitros del polímero diluido al 0,1%, para 1800 litros de agua a tratar tenemos:



$$\text{Volumen de floculante al 0,1\%} = \frac{0,025 \text{ l}}{11} \cdot 1800 \text{ l}$$

$$\text{Volumen de floculante al 0,1\%} = 45 \text{ l}$$

$$\text{Masa de floculante puro} = 45 \text{ l} \cdot 0,001$$

$$\text{Masa de coagulante puro} = 0,045 \text{ kg} = 45 \text{ g}$$

Lo que quiere decir que para un lote de 1800 litros se necesitan 45 litros del floculante al 0,1%, representado por 45 g del floculante solido diluidos en 45 litros de agua pura.

1.3. Dilución de la cal:

Por utilizarse cal en su forma solida se diluye de manera similar al polímero floculante, tomando en cuenta que la dilución es al 20% P/V.

2. Cálculos relacionados con la matriz de selección:

2.1. Cálculo del acumulado:

Haciendo uso de la ecuación 3.1, se tiene que para la alternativa 1 y en el factor clave de eficiencia, el acumulado es el siguiente:

$$\text{Acumulado} = 10 \cdot 7$$

$$\text{Acumulado} = 70$$

2.2. Cálculo del acumulado total por alternativa:

Haciendo uso de la ecuación 3.2, se tiene que para la alternativa 1 el acumulado total es la sumatoria de los acumulados por factor clave, donde:

$$\text{AT} = 70 + 90 + 30 + 40$$

$$\text{AT} = 230$$



3. Cálculos relacionados con los gastos generados por la alternativa 3:

3.1. Costo de los equipos:

Tabla A.1
Costos de los equipos necesarios para la alternativa 3

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO (\$)
Tanque coagulador	1	51,16
Tanque floculador	1	51,16
Tanque sedimentador	1	88,37
Reactor biológico secuencial	1	88,37
Dispositivo mezclador	2	417,42
Variador de potencia	2	1118,39
Eje para dispositivo mezclador	2	558,14

Por lo tanto el costo de los equipos esta representado por la sumatoria de los valores reportados en la tabla A.1.

$$\text{Costo de los equipos} = 51,16\$ + 51,16\$ + 88,37\$ + 88,37\$ + 417,42\$ + 1118,39\$ + 558,14\$$$

$$\text{Costo de los equipos} = 2373,01\$$$



3.2. Costo de los químicos para un año de operación:

Tabla A.2
Costos de los químicos necesarios para un año de operación
de la alternativa 3

QUÍMICO	CANTIDAD	COSTO (\$)
Arpol 2275 (Coagulante)	1 tambor de 220 kg	429,00
Arpol 2210 (Floculante)	1 saco de 25 kg	166,25
Cal	4 sacos de 20 kg	26,05

El costo de los químicos esta representado por la sumatoria de los costos individuales de cada producto:

$$\text{Costo de los químicos} = 429,00\$ + 166,25\$ + 26,05\$$$

$$\text{Costo de los químicos} = 621,30\$$$

4. Cálculos relación beneficio – costo:

4.1. Cálculo del valor actual de los beneficios (VAB):

Esta representado por el dinero facturado a la empresa recolectora de las aguas contaminadas en un año. Siendo su costo por mes de 1449,95\$; por lo tanto el VAB se calcula de la siguiente forma:

$$\text{VAB} = 1449,95\$ \cdot 12$$

$$\text{VAB} = 17399,44\$$$



4.2. Cálculo del valor actual de los costos (VAC):

Esta representado por el dinero a invertir para implantación, mantenimiento y operación de la alternativa seleccionada por un año. Se calcula sumando los costos presentados en la tabla 4.8:

$$\text{VAC} = 2373,01\$ + 930,23\$ + 465,12\$ + 1003,02\$ + 621,30\$$$

$$\text{VAC} = 5392,68\$$$

4.3. Cálculo de la relación beneficio – costo (B/C):

Haciendo uso de la ecuación 3.3, tenemos:

$$\text{Relación beneficio - costo} = \frac{17399,44\$}{5392,68\$}$$

$$\text{Relación beneficio - costo} = 3,23$$



APENDICE B

Resultados de las pruebas de jarras.

La prueba de tratabilidad, basada en la prueba de jarras, se realizó en distintas oportunidades con el fin de obtener la dosis más adecuada para el tratamiento del agua industrial. Para esto se realizaron pruebas, en distintas jarras, con dosis diferentes para de esta manera determinar la mejor. La Tabla B.1 muestra una descripción de lo que se planteo.

Tabla B.1

Resultados de las pruebas de jarras realizadas para establecer dilución y dosificación de los polímeros para un litro de afluente

PRUEBA	DILUCIÓN	DOSIFICACIÓN (ml)	OBSERVACIONES
1	Coagulante 1% Floculante 0,1% Cal 10%	(100 – 350) (4 -12) 8,4	Los resultados no fueron favorables
2	Coagulante 10% Floculante 0,1% Cal 10%	(10 – 35) (4 -12) 8,3	Los resultados no fueron favorables
3	Coagulante 15% Floculante 0,1% Cal 10%	(10 – 35) (4 -12) 9,0	Los resultados no fueron favorables
4	Coagulante 20% Floculante 0,1% Cal 20%	(10 – 60) (5 -30) 10	Presentaron resultados satisfactorios



Tabla B.2
Dosis aceptada para los productos MQ
lote de 1800 litros

MQ130 Puro (l)	MQ130 20% (l)	MQ297 Puro (g)	MQ297 0,1% (l)	Cal Pura (g)	Cal 10% (l)
7,2	36	18	18	1080	10,8

Tabla B.3
Dosis aceptada para los productos Meller
lote de 1800 litros

Arpol 2275 Puro (l)	Arpol 2275 20% (l)	Arpol 2210 Puro (g)	Arpol 2210 0,1% (l)	Cal Pura (g)	Cal 20% (l)
9,72	48,6	30,6	30,6	3600	18
6,00	30,0	10,0	10,0	0	0
14,40	72,0	45,0	45,0	1800	9
6,00	30,0	20,0	20,0	1400	7
10,80	54,0	36,0	36,0	3600	18
6,00	30,0	36,0	36,0	3600	18



Figura B.1. Resultado prueba de jarra con productos MQ.



Figura B.2. Resultado prueba de jarra con productos Meler.



APENDICE C

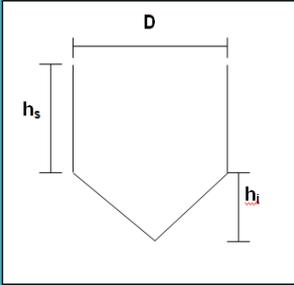
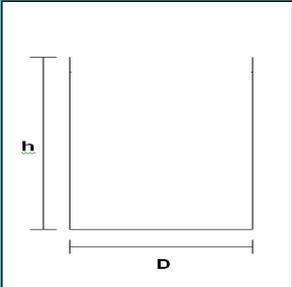
Equipos que conforman la alternativa seleccionada.

Tabla C.1
Especificaciones de los equipos necesarios

	<p>TANQUE COAGULADOR (Mezcla Rápida)</p>	
<p>Estructura</p>	<p>Polietileno, 3 mm de espesor.</p>	
<p>Geometría</p>	<p>Cámara cilíndrica, con dispositivo mecánico mezclador de velocidad variable.</p>	
<p>Dimensiones</p>	<p>Volumen total, $V_t = 0,23 \text{ m}^3$ Altura, $h = 0,80 \text{ m}$ Diámetro, $D = 0,60 \text{ m}$</p>	
<p>Dispositivo mezclador mecánico de dos paletas TIPO 2 inclinadas 45°</p>	<p>Altura de las paletas, $t = 0,20 \text{ m}$ Diámetro del impulsor, $D_i = 0,15 \text{ m}$ Altura del impulsor, $h_i = 0,60 \text{ m}$ Potencia suministrada, $P = 2 \text{ HP}$</p>	
	<p>TANQUE FLOCULADOR (Mezcla Lenta)</p>	
<p>Estructura</p>	<p>Polietileno, 3 mm de espesor.</p>	
<p>Geometría</p>	<p>Cámara cilíndrica, con dispositivo mecánico mezclador de velocidad variable.</p>	
<p>Dimensiones</p>	<p>Volumen total, $V_t = 0,23 \text{ m}^3$ Altura, $h = 0,80 \text{ m}$ Diámetro, $D = 0,60 \text{ m}$</p>	
<p>Dispositivo mezclador mecánico de dos paletas TIPO 2 inclinadas 45°</p>	<p>Altura de las paletas, $t = 0,20 \text{ m}$ Diámetro del impulsor, $D_i = 0,15 \text{ m}$ Altura del impulsor, $h_i = 0,60 \text{ m}$ Potencia suministrada, $P = 2 \text{ HP}$</p>	



Tabla C.1
Especificaciones de los equipos necesarios
(Continuación)

	TANQUE SEDIMENTADOR
Estructura	Polietileno, 3 mm de espesor.
Geometría	Cámara cilíndrica – cónica.
Dimensiones	Volumen total, $V_t = 0,23 \text{ m}^3$ Diámetro, $D = 0,60 \text{ m}$ Altura superior, $h_s = 0,60 \text{ m}$ Altura inferior, $h_i = 0,62$
	REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL (SBR)
Estructura	Polietileno, 3 mm de espesor.
Geometría	Cámara cilíndrica, con dispositivo neumático mezclador.
Dimensiones	Volumen total, $V_t = 0,30 \text{ m}^3$ Altura, $h = 1,15 \text{ m}$ Diámetro, $D = 1,00 \text{ m}$



APENDICE D

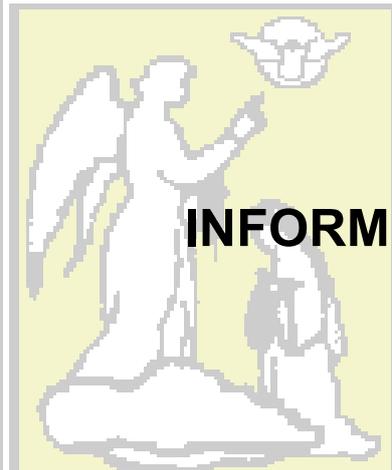
Disposición de los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas.

Tabla D.1
Características de los lodos generados por
la planta de tratamiento

PARAMETROS	MUESTRA DE LODO
% Sólidos	76,45
%Humedad	23,55
Densidad (g/cc)	0,7119

Los lodos generados durante el tratamiento del agua industrial, pueden ser dispuestos como desechos sólidos no tóxicos, debido a que su contenido de metales pesados ha sido mínimo en toda la historia del funcionamiento de la planta de tratamiento. Aunque se recomienda la realización de una prueba de lixiviación una vez que la planta de tratamiento este operativa.

DEUS LIBERTAS CULTURA



INFORME TÉCNICO

**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE
UNA EMPRESA CONVERTIDORA
DE PAPEL**

U
N
I
V
E
R
S
I
T
A
S

BOBEM
S
I
S

A
S

C
A
R
A



Valencia, 05 de Noviembre de 2007

Estimados Señores:

Me dirijo a Uds., en la oportunidad de hacerles llegar el Informe Final del proyecto realizado en la Empresa y que se titula **“PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE UNA EMPRESA CONVERTIDORA DE PAPEL”**.

Sin mas a que hacer referencia, quedo a sus ordenes para cualquier aclaratoria adicional.

Atentamente.

Ing. Maria Cristina Colmenares
Tutora Académica

Adolfo Torres
Tesista

Ing. Joderlith Pérez
Tutora Industrial

Ing. Paola Pérez
Dto. Calidad



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En la zona industrial El Tigre de Guacara, estado Carabobo, está ubicada una planta dedicada a la transformación de papel en sacos, impresos o no impresos, en diversas presentaciones.

Estos sacos de papel son utilizados por la industria de cemento, de azúcar y por la industria harinera.

El proceso de transformación del papel en sacos se realiza a través de maquinarias, las cuales imprimen, cortan y pegan al papel virgen, según sea el caso. Para la impresión de dicho papel se utilizan tintas base agua, las cuales son vertidas en el recipiente dispuesto para ello en el equipo.

Posteriormente el papel ya impreso es cortado y luego pegado con la ayuda de otros equipos.

Actualmente el mantenimiento de los equipos de impresión se realiza de manera manual. El agua utilizada para estos fines es depositada en unas tanquillas para tintas ubicadas en las cercanías al equipo, a través de las cuales el agua es transportada a un tanque de almacenamiento subterráneo (tanque de igualación); de donde es bombeada hacia la planta de tratamiento de la empresa, pasando a través de un tratamiento físico – químico que se lleva a cabo en un tanque de 1,8 m³, en el cual se realiza la coagulación (mezcla rápida), la floculación (mezcla lenta) y la sedimentación. Una vez realizado este proceso el sobrenadante es enviado a un tratamiento biológico que se realiza en un reactor biológico secuencial por carga de 30 m³, para finalmente el agua ser bombeada a un tanque de almacenamiento dispuesto para la descarga de su contenido al colector cloacal. Los lodos producidos en el tratamiento físico – químico así como en el tratamiento biológico son bombeados a los lechos de secado, así como se muestra en la figura 1.

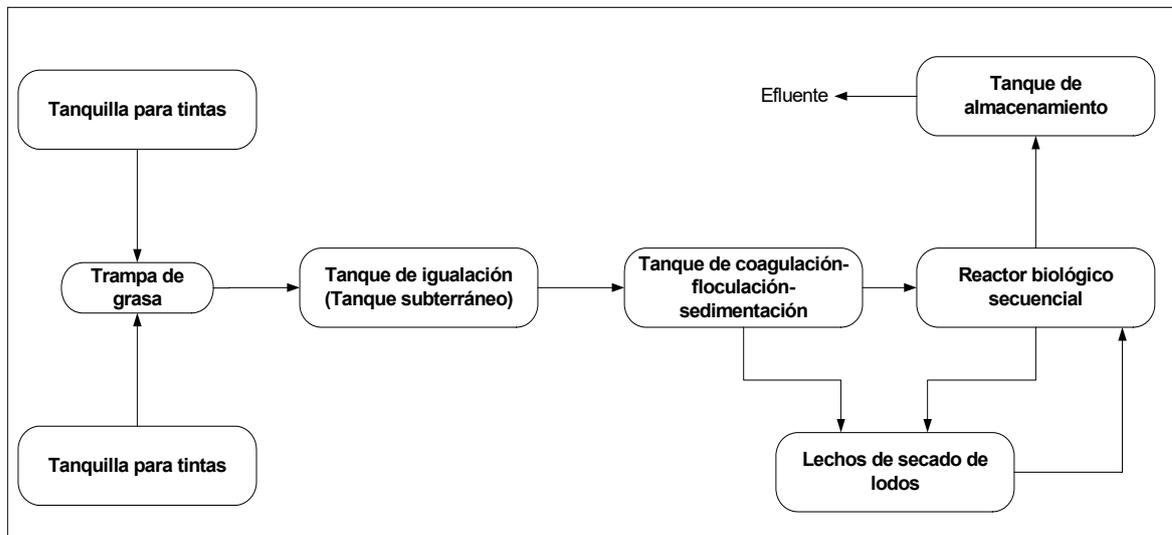


Figura 1. Etapas con las que cuenta la planta de tratamiento de aguas.

El efluente tratado no cumple con los requerimientos exigidos por el ministerio del ambiente de nuestro país, según el decreto 3.219, y es por esta razón que la empresa requiere realizar una evaluación del estado actual de la planta y el establecimiento de propuestas factibles para el mejoramiento en el funcionamiento de la misma.

FORMULACION DEL PROBLEMA

La planta de tratamiento de aguas de la empresa no está funcionando de manera adecuada, lo que genera desviación en los parámetros del efluente con respecto a la normativa ambiental, impidiendo que puedan descargar dicho efluente a las redes cloacales.

Situación actual

El tratamiento del agua residual producida en el proceso de limpieza de los equipos, no está operando de manera adecuada, produciendo que la característica final del efluente obtenido esté fuera de norma.



Situación deseada

La empresa cuenta con alternativas técnico-económicas factibles para mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento, disminuyendo los valores fuera de rango de los parámetros que caracterizan al efluente, para cumplir con las normativas ambientales exigidas por la ley.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar propuestas para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua, con el fin de garantizar que el efluente obtenido cumpla con la normativa ambiental correspondiente.

Objetivos específicos

- 1) Identificar las variables que intervienen en el funcionamiento de la planta de tratamiento, con la finalidad de obtener la información necesaria para el análisis del proceso a mejorar.
- 2) Analizar cada una de las variables involucradas y las etapas del proceso de tratamiento del agua para determinar las fallas operativas.
- 3) Evaluar experimentalmente las etapas del tratamiento que presenten fallas operativas, con el fin de obtener la información necesaria para proponer soluciones.
- 4) Plantear alternativas de mejora, con la finalidad de proponer soluciones a la problemática que presenta la empresa.
- 5) Seleccionar las mejores alternativas de solución, con el fin de estudiar su aplicabilidad.
- 6) Determinar la relación costo-beneficio de las alternativas de mejora con el objeto de presentarle a la empresa la más conveniente.



JUSTIFICACION

La empresa presenta problemas con la operatividad de su planta de tratamiento de aguas, pues está fuera de norma en algunos parámetros del efluente por lo cual no pueden descargar el mismo a las redes cloacales.

El presente trabajo le proporcionará a la empresa una alternativa de mejora para el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua, marcando un camino factible a seguir para que las características del efluente cumplan con las exigencias de la norma.

Esto traerá beneficios económicos para la empresa, ya que se evitará disponer de los servicios de empresas alternas para que se encarguen de dichas aguas. Además traerá beneficios sociales, debido a que la empresa estaría operando sin causar ningún daño a la sociedad, así como también beneficios ecológicos pues no estaría contaminando y estaría en regla con el estado.

Esto genera confianza en sus clientes, pues si una empresa cumple con todas las normativas exigidas por el estado genera confianza y emite una imagen de seriedad y responsabilidad.

LIMITACIONES

La limitación más relevante es el alcance del proyecto, el cual se basa solo en establecer propuestas de mejora a la empresa dejando la implementación de la mejora como tema para otro proyecto consecutivo.

Los costos de los análisis a realizar y el presupuesto dispuesto por la empresa para los mismos, también constituyen una limitante para el desarrollo de la investigación, ya que la empresa tiene un límite de dinero predeterminado para el proyecto, restringiendo así el número de análisis posibles.



RESULTADOS

A continuación se muestra la caracterización de la muestra cruda de agua industrial proveniente del tanque de igualación de la empresa.

Tabla 1

Resumen Comparativo de los resultados obtenidos con los valores establecidos por el M.A.R.N. Decreto 3.219

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA CRUDA	VALOR MÁXIMO Establecido Decreto N° 3.219 A colector cloacal
pH	Adim.	6,60	6,00 – 9,00
Sólidos totales	mg/l	25640	1600
Sólidos susp. Totales	mg/l	23950	400
DBO	mg/l	5050	350
DQO	mg/l	52331	700
A&G minerales	mg/l	34	20
Fosforo total	mg/l	107	10
Nitrógeno total	mg/l	797	40
Cromo total	mg/l	0,34	2
Cobre	mg/l	3,06	0,5
Plomo	mg/l	1,28	0,5
Níquel	mg/l	0,54	1
Cadmio	mg/l	0,1	0,2
Cloruros	mg/l	82	300
Sulfatos	mg/l	51	400



Los parámetros sombreados son aquellos que están fuera de normativa, los cuales deben ser mejorados para poder realizar las descargas a cloacas.

De esta manera se procedió a realizar ensayos, basados en pruebas de jarras, con el fin de determinar los químicos adecuados para el tratamiento de afluente y las dosis correspondientes. Se experimento con polímeros de distintas marcas: **MQ** y **Meler**.

Tabla 2
Productos químicos a utilizar para el desarrollo de las pruebas de jarras.

MARCA	COAGULANTE	FLOCULANTE
MQ	Polímero catiónico MQ-130	Polímero catiónico MQ-297
MELER	Polímero catiónico Arpol-2275	Polímero catiónico Arpol-2210

Obteniendo las siguientes dosis:

Tabla 3
Dosis establecidas de cada uno de los químicos utilizados para un bach (lote) de 1,8 m³.

Químico	MQ		Meler		Cal Diluida 20%
	MQ-130 Diluido 20%	MQ-297 Diluido 0,1%	Arpol 2275 Diluido 20%	Arpol 2210 Diluido 0,1%	
Dosis (l)	36	18	30,0 – 72,0	10,0 – 45,0	7,0 – 18,0

Siendo los resultados de las caracterizaciones del agua tratada las que se presentan a continuación:



Tabla 4
Resultados de la caracterización de las
muestras de agua tratada.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA MQ	MUESTRA MELER	VALOR MÁXIMO Establecido Decreto N° 3.219 A colector cloacal
pH	Adim.	8,40	8,50	6,00 – 9,00
Sólidos totales	mg/l	2085	2455	1600
Sólidos susp. Totales	mg/l	65	43	400
DBO	mg/l	1900	1570	350
DQO	mg/l	3522	4600	700
A&G minerales	mg/l	11	14	20
Fosforo total	mg/l	17	34	10
Nitrógeno total	mg/l	396	481	40
Cromo total	mg/l	0,072	0,082	2
Cobre	mg/l	0,048	0,08	0,5
Plomo	mg/l	0,16	0,12	0,5
Níquel	mg/l	0,042	0,047	1
Cadmio	mg/l	0,008	0,008	0,2
Cloruros	mg/l	484	467	300
Sulfatos	mg/l	30	48	400

En la tabla 4 se puede apreciar que los resultados entre ambos productos no son muy diferentes, es por esta razón y por petición de la empresa, se decide trabajar con los productos **Meler**.



Para corroborar la repetitibilidad del tratamiento se procedió a caracterizar otra muestra de agua tratada con los productos **Meler**, reportando los resultados en la tabla número 5:

Tabla 5
Resultados de la caracterización
usando productos Meler.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA CRUDA	MUESTRA MELER	VALOR MÁXIMO Establecido Decreto N° 3.219 A colector cloacal
pH	Adim.	7,90	8,80	6,00 – 9,00
Sólidos totales	mg/l	11420	2775	1600
Sólidos susp. Totales	mg/l	10750	109	400
DBO	mg/l	4242	2410	350
DQO	mg/l	24600	5640	700
A&G minerales	mg/l	29	19	20
Fosforo total	mg/l	41	16	10
Nitrógeno total	mg/l	744	534	40
Cloruros	mg/l	110	349	300
Hierro	mg/l	3,90	0,18	25

En esta nueva caracterización no se analizaron los metales pesados, ya que en la caracterización anterior se obtuvieron resultados muy favorables y por reducir los costos de los estudios. Con estos resultados se hace notar que la repetitibilidad se mantiene dentro de un rango bastante cercano, pero es de notar que aun existen parámetros que se encuentran incumpliendo la normativa ambiental vigente. Lo que



lleva a recomendar el uso de un tratamiento biológico seguido del tratamiento físico – químico.

Es importante destacar que los resultados del tratamiento físico – químico, proporcionan condiciones idóneas para el posterior tratamiento biológico. De esta manera se presentan las siguientes alternativas de solución:

1. Alternativa 1: Uso de los equipos con los cuales cuenta la planta actualmente.

Consiste en la utilización de los equipos actualmente instalados en la planta de tratamiento de aguas industriales de la empresa, estableciendo los parámetros necesarios para su funcionamiento y buen desempeño. Entre estos parámetros se pueden mencionar el tamaño o volumen del bach (lote), el cual será de 1800 litros, las dosis de polímeros a utilizar se especifican en la tabla 3 y se utilizaran los productos Arpol de Meler, el tiempos de retención en el tratamiento físico – químico será de 50 minutos, la cantidad de lodos necesarios para el tratamiento del bach será de 630 litros y los tiempos de retención en el proceso biológico secuencial será de 6 horas. Es necesario tomar en cuenta que este proceso de tratamiento se realizará cada 2 semanas, debido a que es el tiempo en el cual se acumula el volumen de agua requerido. Ver figura 2.

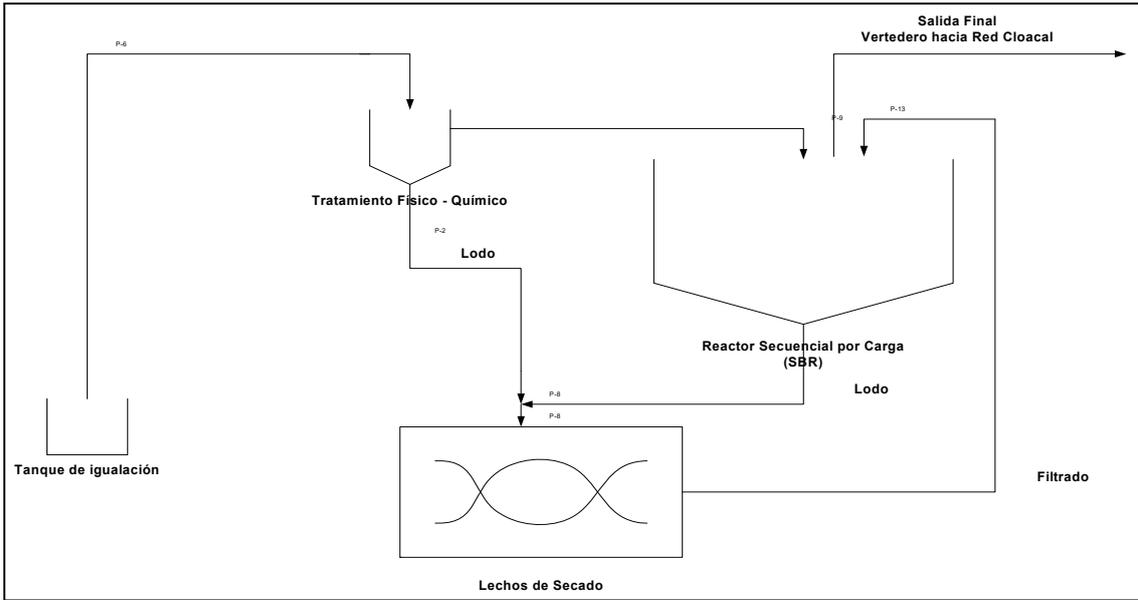


Figura 2. Diagrama de flujo de la Alternativa 1.



2. Alternativa 2: Uso del tratamiento físico – químico en tres etapas.

Consiste en la división del tratamiento físico – químico en tres etapas haciendo uso de tres equipos distintos coagulador, floculador y sedimentador. Esta opción es la más adecuada según la bibliografía ya que garantiza una mayor eficiencia en el tratamiento. Se mantendrá el tamaño del bach en 1800 litros, la dosis de los productos Arpol de Meler se reflejan en la tabla 3, los tiempos de retención para el tratamiento físico – químico serán los siguientes: 2 minutos en el coagulador, 3 minutos en el floculador y 45 minutos en el sedimentador, la cantidad de lodos necesarios para el tratamiento del bach será de 630 litros y los tiempos de retención en el proceso biológico secuencial será de 6 horas. Este proceso se realizará cada 2 semanas, con el fin de recolectar el volumen de agua necesario. Ver figura 3.

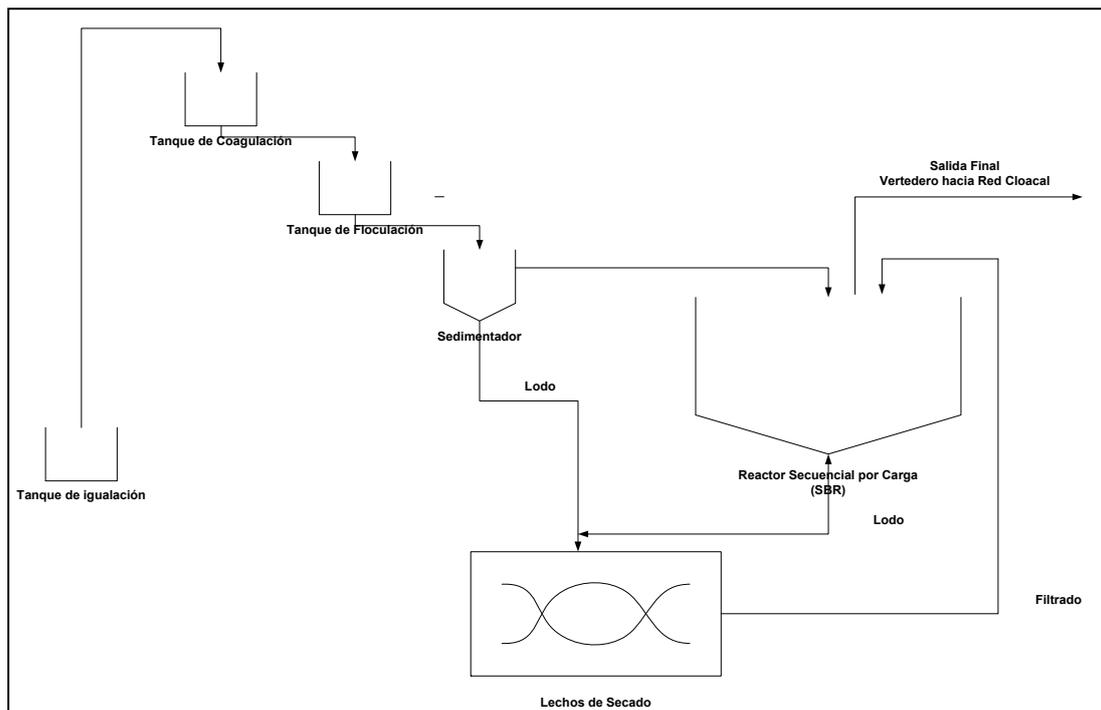


Figura 3. Diagrama de flujo de la Alternativa 2.

3. Alternativa 3: Modificación del tamaño del bach.

Se plantea reducir el tamaño o volumen del bach a tratar a unos 200 litros, con el objeto de realizarlos cada 2 días. Esta reducción implica equipos de menor capacidad tanto para el tratamiento físico – químico, como para el tratamiento biológico. El



volumen del coagulador, floculador y sedimentador será de unos 230 litros (considerando el volumen del tanque un 15% superior al tamaño del bach para garantizar borde libre), la dosis de los productos Arpol de Meler se ve reflejada en la tabla 6, los tiempos de retención para el tratamiento físico – químico serán los siguientes: 2 minutos en el coagulador, 3 minutos en el floculador y 45 minutos en el sedimentador, el volumen del reactor secuencial será de 300 litros, para el tratamiento del bach se necesitaran 70 litros de lodos y 6 horas de retención para el proceso biológico secuencial. Ver figura 4.

Tabla 6
Dosis establecidas de cada uno de los químicos a utilizar
para un bach de 200 litros.

Químico	Meler		Cal Diluida 20%
	Arpol 2275 Diluido 20%	Arpol 2210 Diluido 0,1%	
Dosis (l)	3,0 – 8,0	1,0 – 5,0	0,7 – 2,0

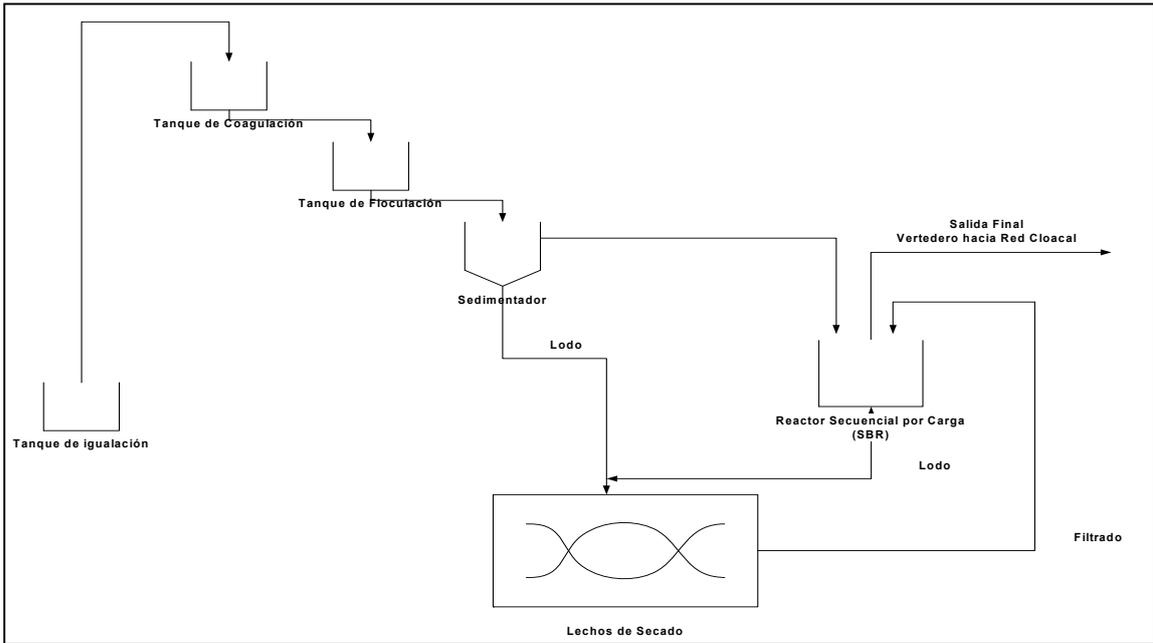


Figura 4. Diagrama de flujo de la Alternativa 3.



A través de una matriz de selección y basado en los siguientes factores, se determino la mejor alternativa:

- ✓ Eficiencia.
- ✓ Costo de implementación.
- ✓ Operatividad.
- ✓ Mantenimiento.

Tabla 7

Matriz de selección de la alternativa de tratamiento más conveniente desde el punto de vista técnico-ambiental

Factor clave	P _{criterio}	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		P	Acumulado	P	Acumulado	P	Acumulado
Eficiencia	10	7	70	9	90	9	90
Costo Implementación	10	9	90	6	60	5	50
Operatividad	5	6	30	5	25	8	40
Mantenimiento	8	5	40	5	40	8	64
AT	-	-	230	-	215	-	244

Se seleccionó la alternativa 3, que presenta una mejor operatividad y continuidad en los tratamientos, haciendo que la eficiencia del tratamiento aumente y los costos de manteniendo se vean reducidos, ya que por ejemplo se tiene una colonia de bacterias menor para alimentar y se alimentarían de manera ínter diaria con perrarina como alimento para los días que no se le alimente agua a tratar.



Haciendo el estudio de la relación benéfico – costo para el primer año, se tiene que:

- VAB: representado por el dinero facturado a la empresa recolectora de las aguas contaminadas en un año.

$$\text{VAB} = 17399,44\$$$

- VAC: representado por el dinero a invertir para implantación, mantenimiento y operación de la alternativa seleccionada por un año.

Tabla 8
Gastos generados para el primer año de operación
de la alternativa seleccionada

INVERSIÓN	TIPO	COSTO (\$/ano)
IMPLANTACIÓN	Costo de equipos	2373,01
	Instalación	930,23
MANTENIMIENTO	Mantenimiento de equipos	465,12
	Alimento para reactor biológico	1003,02
OPERACIÓN	Químicos	621,30

De esta manera se tiene que el VAC total es el siguiente:

$$\text{VAC} = 5392,68 \$/\text{año}$$

Tomando en cuenta los valores de VAB y de VAC obtenidos, se procede a establecer la relación beneficio – costo que se presenta a continuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{VAB}}{\text{VAC}} = \frac{17399,44 \$/\text{año}}{5392,68 \$/\text{año}}$$

$$\frac{B}{C} = 3,23$$



El resultado de la relación beneficio – costo indica que el proyecto es aceptable, debido a que es superior a la unidad, indicando que el valor actual de los beneficios obtenidos por el proyecto son superiores al valor actual de los costos generados por la puesta en marcha del mismo.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones a las que se llegó una vez finalizada la investigación y las recomendaciones pertinentes para el uso adecuado de la planta de tratamiento.

CONCLUSIONES

- La variable mas influyente en el afluente a tratar es el contenido de tintas bases agua, representando el contaminante en mayor proporción.
- La empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas industriales fuera de funcionamiento.
- La última caracterización del efluente proveniente de la planta de tratamiento de aguas industriales presenta parámetros que no cumplen con la normativa ambiental vigente.
- El tratamiento físico – químico se realiza en un solo tanque cónico de 1800 litros.
- El reactor biológico contiene una carga de lodos muertos por no ser alimentados.
- El mayor contaminante del agua industrial es la tinta residual proveniente del proceso de impresión de sacos se papel.
- La mayor falla operativa se detecto en el tratamiento físico – químico, el cual no estaba presentando resultados favorables.
- La relación DBO/DQO, del agua cruda, esta comprendida entre 0,1 – 0,2; esto indica que el tratamiento adecuado es de tipo físico - químico.



- Mediante la caracterización del agua resultante de la prueba de jarras, se termino que los resultados de los polímetros de MQ son similares a los resultados de los polímetros de Meler.
- Se seleccionaron los polímetros de Meler como coagulante (Arpol 2275) y floculante (Arpol 2210).
- Los polímetros incrementan el contenido de cloruros en el agua, debido a que están compuestos por policloruro de aluminio.
- La caracterización del agua tratada físico - químicamente, presenta parámetros aun fuera de norma, indicando la utilización de un tratamiento biológico.
- El tamaño del bach actual de la planta es de 1800 litros.
- La alternativa 3 propone reducir el tamaño del bach a 200 litros.
- Se selecciono la alternativa 3, como la mas adecuada, a través de una matriz de selección.
- La Alternativa 3 establece la realización de un bach ínter diario.
- La relación beneficio – costo es igual a 3,23; haciendo al proyecto aceptable.



RECOMENDACIONES

- Implantar la alternativa seleccionada para cumplir con las exigencias medioambientales establecidas en la norma y para eliminar los costos generados por la contratación de una empresa externa para que se encargue del agua industrial producida.
- Realizar bach's ínter diarios, de 200 litros, con el objeto de reducir los costos por mantenimiento tanto de equipos como de la colonia bacteriana presente en el reactor biológico secuencial y de esta manera cumplir con los resultados obtenidos en la evaluación beneficio – costo.
- Realizar pruebas de jarras antes de cada bach para garantizar el uso adecuado de los polímetros coagulante y floculante.
- Realizar caracterizaciones trimestrales en diferentes puntos de la planta, para monitorear el rendimiento de la misma.
- Capacitar al personal encargado de la planta de tratamiento de aguas industriales para garantizar el funcionamiento adecuado de la misma.
- Para reducir costos, pero sacrificando eficiencia, se puede realizar en tratamiento físico – químico en un tanque cónico de 230 litros de capacidad y la segmentación del reactor biológico actual, con tabiques, para garantizar la disminución del volumen a utilizar.
- Alimentar el reactor biológico, con 2 kg de perrarina, los días que no se realicen bach's, para garantizar la supervivencia de la colonia bacteriana contenida en él.



ANEXO
ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS NECESARIOS



Equipos que conforman la alternativa seleccionada.

Tabla A.1
Especificaciones de los equipos necesarios

TANQUE COAGULADOR (Mezcla Rápida)	
Estructura	Polietileno, 3 mm de espesor.
Geometría	Cámara cilíndrica, con dispositivo mecánico mezclador de velocidad variable.
Dimensiones	Volumen total, $V_t = 0,23 \text{ m}^3$ Altura, $h = 0,80 \text{ m}$ Diámetro, $D = 0,60 \text{ m}$
Dispositivo mezclador mecánico de dos paletas TIPO 2 inclinadas 45°	Altura de las paletas, $t = 0,20 \text{ m}$ Diámetro del impulsor, $D_i = 0,15 \text{ m}$ Altura del impulsor, $h_i = 0,60 \text{ m}$ Potencia suministrada, $P = 2 \text{ HP}$
TANQUE FLOCULADOR (Mezcla Lenta)	
Estructura	Polietileno, 3 mm de espesor.
Geometría	Cámara cilíndrica, con dispositivo mecánico mezclador de velocidad variable.
Dimensiones	Volumen total, $V_t = 0,23 \text{ m}^3$ Altura, $h = 0,80 \text{ m}$ Diámetro, $D = 0,60 \text{ m}$
Dispositivo mezclador mecánico de dos paletas TIPO 2 inclinadas 45°	Altura de las paletas, $t = 0,20 \text{ m}$ Diámetro del impulsor, $D_i = 0,15 \text{ m}$ Altura del impulsor, $h_i = 0,60 \text{ m}$ Potencia suministrada, $P = 2 \text{ HP}$



Tabla A.1 (Continuación)
Especificaciones de los equipos necesarios

TANQUE SEDIMENTADOR	
Estructura	Polietileno, 3 mm de espesor.
Geometría	Cámara cilíndrica – cónica.
Dimensiones	Volumen total, $V_t = 0,23 \text{ m}^3$ Diámetro, $D = 0,60 \text{ m}$ Altura superior, $h_s = 0,60 \text{ m}$ Altura inferior, $h_i = 0,62$

REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL (SBR)	
Estructura	Polietileno, 3 mm de espesor.
Geometría	Cámara cilíndrica, con dispositivo neumático mezclador.
Dimensiones	Volumen total, $V_t = 0,30 \text{ m}^3$ Altura, $h = 1,15 \text{ m}$ Diámetro, $D = 1,00 \text{ m}$