

**DIAGNÓSTICO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL
INDUSTRIAL EN LA EMPRESA DERALAM S.A.**

MARIA ANGELICA GALEANO OSPINA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA, D.C
2016**

**DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL
INDUSTRIAL EN LA EMPRESA DERALAM S.A.**

MARIA ANGELICA GALEANO OSPINA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERA AMBIENTAL

**DIRECTOR ECCI
DAVID CORTES ARANGUREN
INGENIERO EN RECURSOS HIDRICOS Y GESTIÓN AMBIENTAL
Msc. EN GESTIÓN Y AUDITORIAS AMBIENTALES EN INGENIERÍA**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C
2016**

A Dios y a la vida por regalarme unos padres tan maravillosos quienes me han acompañado en cada etapa de mi vida y son mi inspiración. A mi pareja, por su apoyo y amor incondicional,

AGRADECIMIENTOS

A Deralam S.A, por la oportunidad y confianza, para poder desarrollar mi trabajo de grado.

A mis padres por su apoyo, esfuerzo y dedicación todos estos años de tal manera donde he podido cumplir mis objetivos.

A la ingeniera Belcy López, jefe de producción en Deralam S.A, por su voto de confianza, consejos y formación como profesional durante mi tiempo en Deralam S.A.

Al ingeniero David Cortes director del proyecto, por sus asesorías, colaboración, dedicación y motivación para el desarrollo del presente trabajo.

A todos quienes fueron mis profesores por haber transmitido su conocimiento y formación profesional.

Contenido

INTRODUCCION.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
DESCRIPCION DEL PROBLEMA	10
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
JUSTIFICACION	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO I	13
Marco teórico.....	13
1.1.1 Definición de agua residual.....	14
1.1.2. Características de las aguas residuales	14
1.1.3. Características físicas	14
1.1.4. Características químicas.....	16
1.1.5. Características biológicas.....	18
1.1.6. Equipos y reactivos para el análisis de aguas.....	18
1.1.7 Sistemas de control y automatización de plantas de tratamiento	19
1.2. Tratamiento de aguas residuales.....	20
1.2.1. Procesos de tratamiento del agua residual	20
1.2.2. Tratamiento físico	20
1.2.3. Tratamiento químico.....	21
1.2.4. Tratamiento biológico.....	21
1.3. Ubicación geográfica.....	21
1.4 Proceso de galvanizado.....	22
1.4.1. Recubrimientos electrolíticos	22
1.5 Descripción proceso de galvanizado DERALAM S.A.....	23
1.6 Normatividad ambiental aplicada.....	30
1.7. Descripción del proceso de galvanizado.....	32
1.8. Efectos ambientales generados.....	34
1.8.1. Evaluación de aspectos e impactos ambientales en el área de lavado de la empresa Deralam S.A.....	34

CAPITULO II	39
2.1. Tratamiento de contaminantes inorgánicos.....	39
2.1.2. Precipitación química con soda caustica	40
2.3. Recolección de muestras y equipos utilizados.....	42
2.4. Medición de caudal.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5. Pruebas de tratabilidad y caracterización de las aguas residuales.....	47
2.6. Análisis de resultados en laboratorio frente a la normatividad actual.....	50
2.6.1. pH	52
2.6.2. DQO.....	53
2.6.3. DBO	54
2.6.4. Solidos suspendidos totales	55
2.6.5. Solidos sedimentables	57
2.6.6. Grasas y aceites.....	58
2.6.7. Fenoles	60
2.6.8. SAAM.....	61
2.6.9. HTP	62
2.6.10. HAP.....	64
2.6.11. BTEX	64
2.6.12. Fosforo	64
2.6.13. Cianuro total	65
2.6.14. Sulfatos.....	66
2.7 Resultados de los metales pesados	67
2.7.1. Aluminio	69
2.7.2. Arsénico	69
2.7.3. Bario	69
2.7.4. Cadmio	69
2.7.5. Cinc.....	70
2.7.6. Cobre.....	70
2.7.7. Cromo.....	70
2.7.8. Estaño.....	70

2.7.9. Hierro	71
2.7.10. Mercurio.....	71
2.7.11. Níquel.....	71
2.7.12. Plata	72
2.7.13. Plomo	72
2.8 Otros parámetros para análisis y reporte	72
2.8.1. Acidez total.....	72
2.8.2. Alcalinidad.....	73
2.8.3. Dureza cálcica	74
2.8.4. Dureza total.....	74
2.8.5. Color	75
2.9 Calculo de volumen de lodos	75
2.10. Análisis de resultados	76
CAPITULO III	77
3.1. Tratamiento de lodos.....	77
3.1.1. Espesado de lodos.....	77
3.1.2. Filtración a presión.....	77
CAPITULO IV	79
4.1. Calculo de dosificación según pruebas de tratabilidad.	79
4.1.2. Cantidad de consumo de producto según concentración.	80
CAPITULO V	80
5.1. Metodología de diseño de la planta de tratamiento de agua residual	80
5.2. Descripción de equipos y cálculo de diseño	83
5.2.1. Tanque primario.....	84
5.2.2. Floculador estático 1.....	86
5.2.3. Clarificador	89
5.2.4. Floculador estático 2.....	91
5.2.5. Filtros	92
5.2.6. Espesado de lodos.....	93
5.2.7. Filtro prensa	¡Error! Marcador no definido.

5.3. Automatización de la plata de aguas residuales.....	96
5.3.1. Contactores.....	98
CAPITULO VI.....	99
6.1. Presupuesto	99
6.2. Costos de disposición actual en la organización.....	99
6.2. Costos de operación.....	100
6.2.1. Costos del tratamiento químico.....	100
6.2.2.. Costos del volumen de lodos a disponer	100
6.3. Presupuesto	101
6.4. Calculo retorno de la inversión	103
CONCLUSIONES GENERALES	104
RECOMENDACIONES.....	105
BIBLIOGRAFIA.....	106

INTRODUCCIÓN

El crecimiento industrial acelerado es proporcional al impacto ambiental, es por esto que la legislación busca velar por la responsabilidad y el cuidado al medio ambiente esto sin afectar al sector productivo. La industria galvánica en sus efluentes contiene altas concentraciones de metales en disolución, esto implica la contaminación de los cuerpos de agua cuando no se cuenta con un tratamiento efectivo

El sector de recubrimientos metálicos en Colombia esta agrupado bajo el conjunto de industrias dedicadas a la fabricación de productos metálicos a excepción de la maquinaria y equipos. Actualmente en Colombia hay 1800 talleres de procesos de recubrimientos electrolíticos, de los cuales un gran porcentaje se encuentra ubicado en Bogotá¹.

Actualmente Deralam S.A no cuenta con un sistema de tratamiento para sus aguas residuales procedentes del área de lavado, las cuales son almacenadas a diario y dispuesta por medio de un gestor autorizado, en ocasiones estas aguas son vertidas al alcantarillado público de manera ilegal.

De esta manera se realizará un diagnóstico inicial con el fin de determinar el caudal, la medición de algunos parámetros in-situ y la caracterización del agua, donde posteriormente se realizarán pruebas de jarras con el fin de obtener una dosis óptima de productos químicos para el tratamiento del efluente.

Al observar la eficiencia del tratamiento químico en el agua tratada en laboratorio, esta deberá ser analizada por medio de espectrofotometría, de esta manera evaluar y determinar los porcentajes de remoción y el cumplimiento a la norma: posteriormente se establecerán criterios de diseño para el tratamiento del agua residual industrial.

En resumen y de acuerdo a los resultados que se obtendrán en laboratorio se evaluará las diferentes alternativas optimas el tratamiento y pulimiento al agua propuestas en un tratamiento terciario, de esta manera dar cumplimiento a la resolución 0631 de 2015.

¹ Tomado de “identificación del manejo de metales en vertimientos de la industria galvánica”

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación a la fuentes hídricas por descargas industriales en Colombia ha generado pérdida de la ictiofauna, especies vegetales y efectos negativos en la salud humana, los diferentes tipos de industrias vierten a los ríos diversos tipos de contaminantes entre ellos metales pesados como cadmio, cobre, níquel, plomo, mercurio y cromo también se encuentran sustancias de tipo orgánico.

Con la alta demanda del sector metalmecánico y galvanotecnia se puede observar la participación de impactos negativos al ambiente por sus procesos productivos, el uso de productos químicos, la extracción del material y el uso de recursos naturales para el tratamiento de metales está generando el deterioro ambiental, el agotamiento de los recursos , emisiones atmosféricas y vertimiento.

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

DERALAM S.A se caracteriza por tener una serie de procesos o áreas que permiten la obtención de una gran gama de productos terminados, dentro de los cuales se encuentra los productos del área de galvanizado, esta área presenta una problemática ambiental alta en cuanto al recurso hídrico debido a que en ocasiones el agua procedente de los lavados del alambre es vertida al alcantarillado, dichas aguas contienen diversos tipos de contaminantes entre ellos los metales pesados, gran cantidad de solidos suspendidos y adicionalmente un pH extremadamente ácido < 2, de esta manera acabando con la vida acuática, la pérdida del oxígeno del agua, esto sin nombrar las posibles sanciones a las cuales la industria estaría expuesta.

OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar y diseñar un sistema de tratamiento del agua residual industrial para la empresa Deralam S.A

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar la problemática ambiental asociado al rendimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de Deralam S.A
- Cuantificar los consumos para determinar el caudal
- Caracterizar el afluente y las pruebas de tratabilidad
- Estudiar la viabilidad técnica de tratamiento químico y sus costos.

JUSTIFICACIÓN

El presente documento tiene como importancia en su desarrollo dar a conocer a Deralam S.A una alternativa de solución para el tratamiento de sus aguas residuales procedentes del área de lavado en la línea de galvanizado, ya que actualmente la organización no cuenta con un sistema de tratamiento para sus aguas residuales industriales.

En el lavado se utiliza cerca del 95% de toda el agua del proceso de recubrimiento, de esta manera el recurso hídrico se considera uno de los bienes y materias primas más preciados para este tipo de industria², siendo también un aspecto ambiental significativo.

Las aguas procedentes de esta etapa del proceso contienen una elevada carga de material inorgánico, de esta manera se quiere dar a conocer como podría llevarse a cabo la eliminación de los metales pesados presentes en el agua de los lavados, por medio de la precipitación química, el uso de un polímero con el fin de dar mayor estabilidad al floc y posteriormente un sistema de filtración.

Adicionalmente la empresa está evaluando la posibilidad del reusó del agua, cabe resaltar que dicha posibilidad no está dentro de los alcances del presente documento. Teniendo en cuenta lo anterior este documento puede servir como línea base para una previa investigación respecto al reusó del agua.

² Tomado de “ guía de producción más limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos en Colombia”

CAPÍTULO I

Marco teórico

La industria galvánica produce efluentes con alta carga contaminante en volúmenes relativamente pequeños, dichos efluentes cuentan con contaminantes altamente tóxicos para el recurso hídrico como para el hombre, los tratamientos convencionales no logran eliminar los compuestos tóxicos presentes en estas aguas, es por eso que se hace necesaria la combinación de alternativas tecnológicas de tratamiento.

La galvanoplastia consiste en un recubrimiento metálico sobre una superficie metálica o no metálica dado el caso, el procedimiento superficial se obtiene a partir de baños de diferente composición, es efectuado por medio de un baño electrolítico donde los iones metálicos presentes en soluciones ácidas se reducen en las piezas a recubrir. Las propiedades de los recubrimientos dependen del componente del electrolito utilizado³, para este estudio el zinc.

Posteriormente al recubrimiento siguen una serie de pasos que aunque no son pertenecientes del proceso de galvanotecnia en su totalidad, mejoran las propiedades anticorrosivas del revestimiento como lo es el sellado. Entre cada operación del proceso se cuenta con unas cubas de lavado, con el fin de lavar las piezas y evitar la contaminación de la solución de próxima operación.

El agua del enjuague debe ser retirada y cambiada diariamente, debido a que presentan contenidos de metales pesados, ácidos y demás sustancias las cuales no permiten un lavado óptimo. Los caudales de los enjuagues son continuos, ya que se utiliza una entrada constante de agua limpia durante una jornada de trabajo, esta es la mayor fuente de consumo de agua en una empresa de recubrimiento metálico (Fepam, 2002).

La planta de DERALAM S.A se caracteriza por tener una serie de procesos o áreas que permiten la obtención de una gran gama de productos terminados, dentro de los cuales se encuentran:

- Proceso de recocido
- Proceso de cadena
- Proceso de trefilación
- Proceso de galvanizado
- Proceso de platina
- Proceso de mallas y grafilado

³ <http://www.istas.net/fittema/att/li1.htm>

El área de galvanizado presenta una problemática ambiental alta en cuanto al recurso hídrico es por este motivo que en el presente documento se desea presentar un diagnóstico y diseño para esta área productiva, con el fin de dar cumplimiento a la normatividad vigente.

A continuación se presentan los siguientes conceptos con sus respectivas definiciones con el objetivo de mantener claridad en el desarrollo del presente documento.

1.1.1 Definición de agua residual

Las aguas residuales se caracterizan por ser aguas usadas en procesos realizados por el ser humano, compuesta por sustancias de origen orgánico y/o inorgánico las cuales son potencialmente tóxicas para la salud humana sin un tratamiento previo.

1.1.2. Características de las aguas residuales

Caracterizar las aguas residuales implica un programa de muestreo adecuado para asegurar la representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados. (Romero, 2002)

Para efectos del presente documento se estudiarán las siguientes características:

- Físicas
- Químicas
- Biológicas

1.1.3. Características físicas

Algunas características físicas del agua las puede detectar el ser humano, por medio de los sentidos puede hacerse una idea de la magnitud de las mismas, como un ejemplo podría ser el olor, pero de modo contrario la concentración. Las características físicas de las aguas residuales son:

- Sólidos

El contenido de sólidos de un agua afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento. Los sólidos sedimentables se caracterizan por ser una medida del volumen de sólidos asentados en un como imhoff por un periodo de una hora, esto representa la cantidad de lodo que puede ser removida por sedimentación y es expresada en ml/L. (Romero, 2002).

Los sólidos disueltos son el material soluble y coloidal, el cual requiere para su remoción oxidación biológica o coagulación, los sólidos totales o también llamados residuos de evaporación pueden clasificarse en filtrables y no filtrables (sólidos suspendidos).

- Olor

Las aguas residuales frescas tienen un olor característico desagradable, mientras que las aguas residuales sépticas tienen un olor muy ofensivo producido por la presencia de sulfuro de hidrógeno que proviene de las industriales tienen a veces, olores característicos específicos del proceso industrial del cual provienen. (Romero, 2002).

- Temperatura

Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento así como sobre el método de disposición final, en aguas de enfriamiento, la contaminación térmica es significativa (Romero, 2002).

- PH

Es la medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua, el intervalo de concentraciones adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte biológica, el agua residual con concentraciones del ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratabilidad en procesos biológicos (Romero, 2002).

- Turbiedad

Es una medida óptica del material suspendido en el agua, las aguas residuales crudas son turbias, al momento de ser tratadas este representa un factor importante para un control de calidad.

- Color

El agua residual reciente suele tener color gris, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado el color cambia gradualmente para finalmente adquirir olor negro, cuando se llega a este punto el agua puede llamarse como séptica. Algunos vertimientos industriales le otorgan color a las aguas domésticas (Romero, 2002).

1.1.4. Características químicas

El agua residual puede ser caracterizada de varias maneras, una de ellas puede ser por sus componentes químicos minerales que posee, hasta los gases que se encuentran disueltos en la misma. Mencionaremos algunos componentes y características químicas del agua residual.

- Demanda química de oxígeno

Es usada para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, en ese caso dicromato de potasio en un medio ácido y a una temperatura elevada. La DQO es un parámetro útil para la medición de la concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales. (Romero, 2000).

Para facilitar la oxidación de otros compuestos orgánicos resistentes se requiere ayuda de un catalizador como el sulfato de plata, deben tomarse ciertas medidas para eliminarlos antes del ensayo, en el caso de usar dicromato la reacción química se expresa de la siguiente manera.

La DQO suele ser mayor que la DBO, lo cual se refiere a la mayoría de compuestos que pueden ser oxidados químicamente frente a los que se oxidan de manera biológica.

- Dureza total

La dureza es producto de iones metálicos, las principales causas de la dureza con compuestos como el calcio, el magnesio, iones ferrosos y de magnesio.

- Alcalinidad

La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar los ácidos. Dicho compuesto puede generarse por presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, la causa común de su generación es gracias a los bicarbonatos de calcio y magnesio, es importante para el tratamiento químico ya que ayuda a prevenir cambios bruscos de pH (Romero, 2002).

- Nitrógeno

Este compuesto es esencial para el crecimiento de plantas y protistas, también es llamado bioestimulador, el nitrógeno y el fósforo son elementos principalmente nutritivos, en este caso el nitrógeno sintetiza las proteínas y es imprescindible conocer de este compuesto en las aguas con el fin de determinar la cantidad y el valor para el tratamiento en procesos biológicos (Romero, 2002).

1.1.4.1 Metales pesados

Los metales pesados en concentraciones altas son todos tóxicos (Romero 2002). Algunos de estos metales como el cobre, zinc y molibdeno, son necesarios para la vida de organismos vivos,

de modo contrario metales como el mercurio, cadmio y plomo son controlados por su alta toxicidad y reciben toda la atención por ser elementos que se magnifican biológicamente.

- Arsénico

El arsénico existe en el agua como arsenito (AsO_2^- y As^{+3}) o como arsenato (AsO_4^{-3} y As^{+5}). (Romero, 2000). El arsénico es tóxico en su forma inorgánica, el tratamiento se realiza por medio de precipitación con una base.

- Bario

Es un elemento metálico similar al calcio siendo el bario más reactivo, este metal es oxidado con mayor facilidad cuando se expone al ambiente adicionalmente es altamente reactivo cuando se expone al agua o alcohol produciendo gas hidrogeno⁴. Para su tratamiento se requiere proveer un periodo de reacción apropiado (Romero, 2002).

- Cadmio

Las aguas residuales con contenidos de cadmio normalmente terminan en el suelo, el cadmio puede ser transportado a grandes distancias por medio del lodo, que a su vez termina contaminando las aguas superficiales y suelos, adicionalmente el cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica presente en el suelo⁵.

El proceso principal para remover el cadmio del agua, es la precipitación a pH ente 9 y 12. Los residuos provenientes del recubrimiento metálico con cadmio contienen generalmente cianuro. La filtración resulta apropiada para obtener una mayor remoción (Romero, 2002).

- Cromo total

El cromo total es la suma del cromo trivalente y hexavalente, para el control del cromo por medio del proceso de reducción y precipitación, es necesario ejecutar 3 etapas secuenciales, reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente, precipitación del cromo trivalente y remoción del cromo precipitado.

La precipitación ideal del cromo trivalente se logra en un pH de 8 a 9,5, los tratamientos efectuados con soda requieren de filtración con el fin de lograr una remoción de sólidos suspendidos. (Romero, 2002).

⁴ <http://anecieloslimpios.blogspot.com.co/2013/11/metales-y-metales-pesados-que-son.html>

⁵ <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>

- Hierro

Para remover el hierro el agua debe ser neutralizada para que el hierro ferroso se oxide a hierro férrico formando así hidróxido férrico el cual es insoluble. El hidróxido férrico requiere de periodos de sedimentación prolongados y filtración (Romero, 2002).

- Mercurio

El proceso de coagulación para la remoción de mercurio es exitosa tanto para mercurio orgánico como inorgánico, tanto para sales de hierro como de aluminio, adicionalmente el uso de filtración es recomendable como complemento de la eliminación del mismo (Romero, 2002).

- Níquel

Para la eliminación del níquel en los residuos industriales se requiere un pH mayor a 9,5, el hidróxido de níquel tiene malas características de sedimentabilidad, de esta manera requiere largos periodos de sedimentación y posteriormente filtración (Romero, 2002).

- Plomo

El proceso de eliminación de plomo es muy eficiente por medio de la precipitación química con soda, la precipitación óptima se logra a un pH entre 9 a 10, pero adicional a esto requiere un proceso de filtración para alcanzar valores óptimos de remoción.

- Zinc

Para la eliminación del zinc también es necesario la precipitación química por medio de una base, su pH de eliminación suele ser muy variable los cuales está entre valores de 9 a 9,6 y ≥ 11 . El proceso requiere de sedimentación y filtración (Romero, 2002).

1.1.5. Características biológicas

Las características microbiológicas del agua nos indican la calidad del agua. El agua es un medio de desarrollo para bacterias y hongos donde estos microorganismos son indicadores de contaminación al recurso. Los organismos patógenos que se pueden existir en el agua son pocos relativamente, es por esto que se utiliza a los coliformes como microorganismo indicador de organismos que pueden generar perjuicios en la salud humana.

1.1.6. Equipos y reactivos para el análisis de aguas

- Fotometría

La fotometría permite analizar un elevado número de parámetros químicos necesarios para determinar la calidad de las aguas en diversas aplicaciones. El diseño de los fotómetros, la simplicidad y rapidez de la medida le hacen ser versátiles para medidas en campo, procesos ONLINE y laboratorio⁶.

- Espectrofotometría

Instrumento que permite comparar la radiación adsorbida o transmitida por una solución, este equipo usa haces de espectro electromagnético y usa radiaciones del campo UV de 80 a 400 nm principalmente de 200 a 400 nm y usa haces de luz visible de 400 a 800 nm (Wiley, 1998).

Nm = nanómetros

- Kits visocolor para el análisis de aguas

Los kits rápidos Visocolor ® son completos mini laboratorios con reactivos y accesorios para el análisis de aguas. Permiten realizar los análisis sin utilizar ningún equipo adicional y sin tener previa experiencia química. Los kits rápidos Visocolor ® están basados en métodos químico-analíticos del tipo colorimetría visual y análisis volumétrico (titración). Todos los kits rápidos Visocolor ® se caracterizan por tener una baja susceptibilidad frente a interferencias y una elevada sensibilidad para la sustancia que se quiere analizar⁷.

- Kits nanocolor para el análisis de aguas

Los kits nanocolor para análisis fotométricos en aguas, son kits con reactivos preparados en tubos de 16 mm de diámetro exterior para su uso exclusivo en fotómetros y espectrofotómetros⁸, de esta manera se puede analizar diferentes tipos de parámetros de acuerdo a la disponibilidad del proveedor.

1.1.7 Sistemas de control y automatización de plantas de tratamiento

Los sistemas de control se desarrollaron para manejar máquinas y procesos, así reducir la probabilidad de fallos y obtener el resultado esperado (Ramírez, 2011).

- Controladores lógicos programables

⁶ <http://www.hannainst.es/blog/fotometria-nivel-2/>

⁷ <https://es.scribd.com/doc/123643732/Kits-de-Ensayo-Aguas>

⁸ <http://www.ictsl.net/analisisdeaguas/kitsparafotometros/reactivosnanocolor/021b07981409a600a.htm>

Conocidos como PLC es un pequeño computador industrial que ha sido altamente especializado para prestar la máxima confianza y rendimiento en un ambiente industrial (Ramírez, 2011).

Son diseñados usando lo último en diseño de microprocesadores y circuitería electrónica, esto proporciona una mayor confiabilidad en la operación, así como también en las aplicaciones industriales donde existen peligros ambientales: alta repetibilidad, elevadas temperaturas, ruido ambiente o eléctrico, suministro de potencia eléctrica no confiable, vibraciones mecánicas, entre otros (Moreno, 2012).

1.2. Tratamiento de aguas residuales

1.2.1. Procesos de tratamiento del agua residual

La eliminación de impurezas se lleva a cabo a través de distintos procesos, la clarificación es un método empleado para la separación sólido- líquido, posteriormente la eliminación de una gran proporción es dada gracias a la sedimentación, pero debido a que muchas de las impurezas que se encuentran presente en el agua son demasiado pequeñas el proceso de sedimentación resulta ineficiente; esto se debe a que la sedimentación es un proceso de eliminación basado en la gravedad, cabe resaltar que la eficiencia de la separación se incrementa a través de los pasos siguientes: coagulación, floculación y sedimentación. (Lipesa, 1998, p.20)

De esta manera es necesario tener en cuenta para el diseño de una planta de tratamiento, diversos factores importantes para su ejecución como por ejemplo: la disponibilidad de recursos tanto técnicos como económicos, y los criterios permitidos para la descarga del efluente.

De esta manera es necesario conocer los procesos y operaciones para el tratamiento de aguas residuales industriales.

- Tratamiento físico
- Tratamiento químico
- Tratamiento biológico

1.2.2. Tratamiento físico

Este tratamiento se caracteriza por ser un proceso donde las sustancias son físicamente separables de los líquidos, esto quiere decir que su objetivo principal es separar los sólidos de las aguas residuales, de esta manera se incluye la remoción de parámetros como:

- Sólidos gruesos
- Sólidos sedimentables
- Sólidos flotantes

1.2.3. Tratamiento químico

En este tratamiento se realiza la implementación de productos químicos y son muy usados en los procesos físicos y biológicos cuando estos no actúan de manera eficiente en la remoción de parámetros que se desean eliminar o reducir.

En el tratamiento de aguas residuales los procesos químicos comúnmente utilizados son:

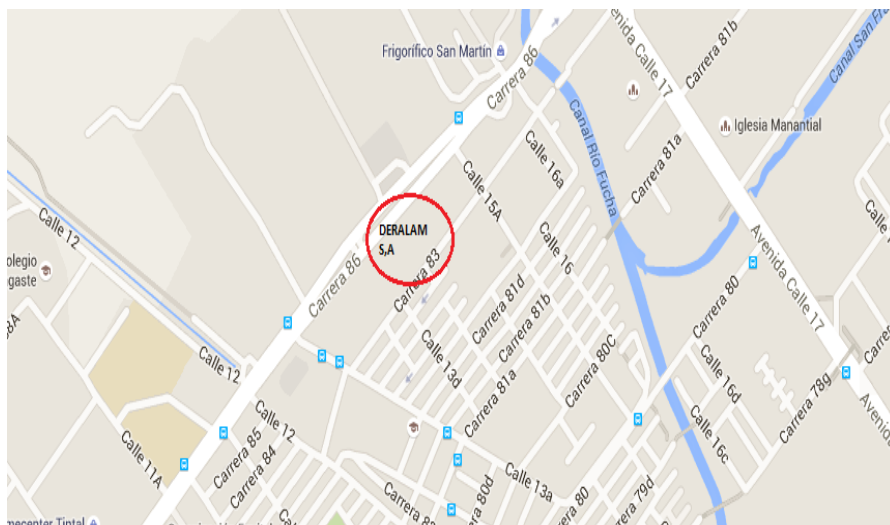
- Floculación
- Precipitación química
- Oxidación química
- Cloración
- Neutralización o corrección de pH.

1.2.4. Tratamiento biológico

Este proceso tiene como principal función en la eliminación de sustancias orgánicas biodegradables en las aguas residuales, adicionalmente este tipo de tratamientos son empleados para la eliminación de ciertos compuestos como el nitrógeno.

1.3. Ubicación geográfica

La empresa DERALAM S.A se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá en la Avenida Ciudad de Cali # 13C – 50, en el Barrio Andalucía, el cual pertenece a la Localidad de Kennedy con coordenadas $4^{\circ} 39' 18''$ N y $74^{\circ} 8' 22''$ O.



Mapa 1. Ubicación geográfica Deralam s.a
Fuente: google maps.



Mapa 2. Deralam s.a
Fuente: Google Earth

1.4 Proceso de galvanizado

La mayoría de los metales expuestos a las condiciones ambientales sufren transformaciones fisicoquímicas que provocan su degradación y reducen su utilidad, estos fenómenos son dados básicamente por el concepto de corrosión y el deterioro de materiales, de esta manera se puede afirmar que el galvanizado es un proceso por medio del cual el hierro o el acero son cubiertos por una capa de zinc.

En el efecto protector influyen dos grandes factores como lo es el método de aplicación y el espesor de la película protectora. La duración de un recubrimiento de zinc en hierro o acero dependerá del grosor de la capa y del medio ambiente, su eficacia es directamente proporcional con su espesor⁹.

1.4.1. Recubrimientos electrolíticos

El proceso de recubrimientos electrolíticos consisten en la conversión del metal del ánodo en iones metálicos que se distribuyen en la solución, los iones se depositan en el cátodo, de este modo se forma una capa metálica en su superficie

Básicamente el recubrimiento electrolítico se produce por una inmersión en un baño, de esta manera el alambre es transportado linealmente por cubas donde se encuentra el electrolito, posteriormente el alambre en su superficie arrastra material electrolito, el cual es eliminado en un proceso de lavado para que no interfiera en la posterior operación¹⁰

⁹ <http://blog.utp.edu.co/metalografia/389-2/>

¹⁰ <http://www.istas.net/fittema/att/li4.htm>

1.5 Descripción proceso de galvanizado DERALAM S.A

DERALAM SA es una empresa colombiana, catalogada según el CIIU (2710) como industria básica del hierro del sector metalmeccánico. En la actualidad la planta de producción se encuentra ubicada en Bogotá D.C. Allí se producen y comercializan productos para diferentes sectores como el agropecuario, construcción, entre otros.

Para poder cubrir la demanda existente de estos sectores productivos DERALAM SA tiene un gran portafolio de productos entre ellos el alambre galvanizado.

- **Trefilacion:** El proceso de galvanizado comienza con la trefilacion en la cual el alambre de acero 1006 a 1020 según las normas de la SAE (*sociedad americana de ingeniería*). En la trefilacion se realizan revisiones constantes del diámetro del alambre, resistencia alcanzada y estado superficial del mismo. Luego de la trefilacion el alambre debe pasar por los devanadores.



Foto 1. Devanador proceso de trefilacion
Fuente: Autor.



Foto 2. Maquina trefiladora
Fuente: autor.

- **Horno de recocido:** Es un horno continuo con una capacidad de 940 Kw y con una longitud de 20 metros repartidos en 3 zonas. Luego de que el alambre pasa por el proceso de recocido se debe esperar a que este baje su temperatura para ser llevado a la línea de galvanizado, ya que se encuentra con una temperatura de 700° C.



Foto 3. Hornos de recocido
Fuente: Autor



Foto 4. Alambre recocido
Fuente: Autor.

Línea de galvanizado

- **Lavado:** El alambre al llegar a la línea de galvanizado es puesto en los devanadores que lo harán pasar por una cuba de agua fría, esta agua es almacenada para disponer.



Foto 5. Devanadores línea de galvanizado

Fuente: Autor



Foto 6. Cuba de lavado primario

Fuente: autor

- **Decapado:** El contacto con la atmósfera y el alambre mismo provoca una formación de capas de óxido, el objetivo principal del decapado es su eliminación, de tal manera que en la cuba de decapado el alambre se encuentra con una sección de ácido clorhídrico al 32 %, en esta cuba un 8% es ácido usado, la cuba cuenta con una capacidad de 1800 Litros y esta sección está diseñada para funcionar a una temperatura de 45°C. El ácido es adicionado por medio de un sistema de gravedad a las cubas, adicionalmente es

renovado cada 8 días, y el agua de este proceso es almacenada en isotanques y dispuesta cada mes.



Foto 7. Decapado

Fuente: Autor.



Foto 8. Cuba de decapado

Fuente: Autor.

- **Lavado 2:** Nuevamente se realiza el lavado con agua fría, agua que es cambiada y almacenada diariamente.



Foto 9. Lavado 2

Fuente: autor

- **Decapado 2:** El alambre pasa internamente por orificios a través de 4 cubas independientes cada una con la capacidad de 1m^3 y con un contenido de insumos como sulfato de zinc, cloruro de amonio, ácido bórico, sulfato de aluminio, ácido sulfúrico. Por medio de un rectificador eléctrico se lleva a cabo un proceso de electrólisis, de esta manera el zinc protege al hierro, la aplicación de un recubrimiento metálico tiene como finalidad de proteger de la corrosión a otro metal más barato¹¹. Es necesario resaltar que esta agua no se cambia, solo se realiza la adición de insumos y más agua tras su agotamiento, esto se realiza cada día, adicionalmente allí se maneja una temperatura de 40°C .

¹¹ <http://blog.utp.edu.co/metalografia/389-2/>



Foto 10. Decapado 2
Fuente: Autor.



Foto 11. Cubas de decapado 2 sin agua
Fuente: Autor.

- **Lavado 3:** Nuevamente se realiza un lavado del alambre con agua, esta agua es llevada por circulación a las 4 cubas anteriormente nombradas tras el agotamiento por evaporación.



Foto 12. Lavado 3
Fuente: Autor.

- **Sellado:** El alambre es introducido a un tanque con ácido crómico que además de dar un sellado a la superficie de zinc ayuda a darle un tono brillante al alambre, en esta actividad el agua del proceso es almacenada y dispuesta a través de un gestor autorizado.



Foto 13. Sellado
Fuente: Autor.

El caudal de agua que se aplica para los procesos de lavado es constante y no está relacionado con el tipo de producción.

1.6 Normatividad ambiental aplicada

Norma	Disposición
Ley 9 de 1979 Código sanitario y de medio ambiente	Reglamenta las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias
Decreto 2811 de 1974 Código nacional de recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente	En el capítulo II define la regulación en cuanto a la prevención y control de la contaminación
Ley 99 de 1993 Sistema nacional ambiental	Establece la reordenación del sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales renovables y establece las tasas retributivas por contaminación
Decreto 1594 de 1984	Reglamenta los usos del agua y el manejo de los residuos líquidos (derogado)
Ley 373 de 1997	El cual establece el programa para uso eficiente y ahorro de agua
Decreto 3930 de 2010	Establece disposiciones en cuanto a los usos del recurso hídrico, ordenamiento del mismo y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y alcantarillados
Resolución 1207 de 2014	Por el cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas
Resolución 0631 de 2015	Establece y regula la contaminación por sectores

	productivos en cuanto a los vertimientos puntuales al alcantarillado y cuerpos de agua superficiales
--	--

Tabla1. Normatividad aplicada

Fuente. Autor.

En el mes de marzo en el año 2015 se presenta la nueva norma de vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, esta nueva norma reglamenta el artículo 28 del decreto 3930 de 2010 y actualiza el decreto 1594 de 1984, de esta manera permitir el control de las sustancias contaminantes que llega a los cuerpos de agua, la presente norma tiene tres características principales:

- Establece los porcentajes máximos permitidos de vertimientos por actividad económica
- Se establece un límite máximo permitido por actividad económica
- Se observa la diferencia entre aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales
- Se realiza un cambio en la medición de la carga contaminante

De esta manera con la nueva norma se tiene por objetivo controlar y reducir las sustancias químicas que llegan a las fuentes hídricas y al sistema de alcantarillado, la resolución se establecen valores límites permisibles por sector económico, en el presente caso el sector económico el cual rige a Deralam s. a es revestimiento de metales.

A continuación se muestran cada uno de los parámetros y sus respectivos valores.

Parámetro	Unidades	Valores para el tratamiento y revestimiento de metales
Aluminio	mg/L	3,00
Arsénico	mg/L	0,10
Bario	mg/L	1,00
Cadmio	mg/L	0,05
Cinc	mg/L	3,00
Cobre	mg/L	1,00
Cromo	mg/L	0,50
Estaño	mg/L	2,00
Hierro	mg/L	3,00

Mercurio	mg/L	0,01
Níquel	mg/L	0,50
Plata	mg/L	0,20
Plomo	mg/L	0,20
Acidez total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Color	m ⁻¹	Análisis y reporte
pH	Unidades de pH	6 a 9
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	250
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L O ₂	100
Sólidos suspendidos	mg/L	50
Sólidos sedimentables	mg/L	2,00
Grasas y aceites	mg/L	10,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporte
Hidrocarburos totales	mg/L	10,00
Hidrocarburos aromáticos	mg/L	Análisis y reporte
BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno)	mg/L	Análisis y reporte
Fosforo total	mg/L	Análisis y reporte
Cianuro	mg/L	0,10

Tabla 2. Valores máximos permisibles para el revestimiento de metales
Fuente: resolución 0631 de 2015

1.7. Descripción del proceso de galvanizado

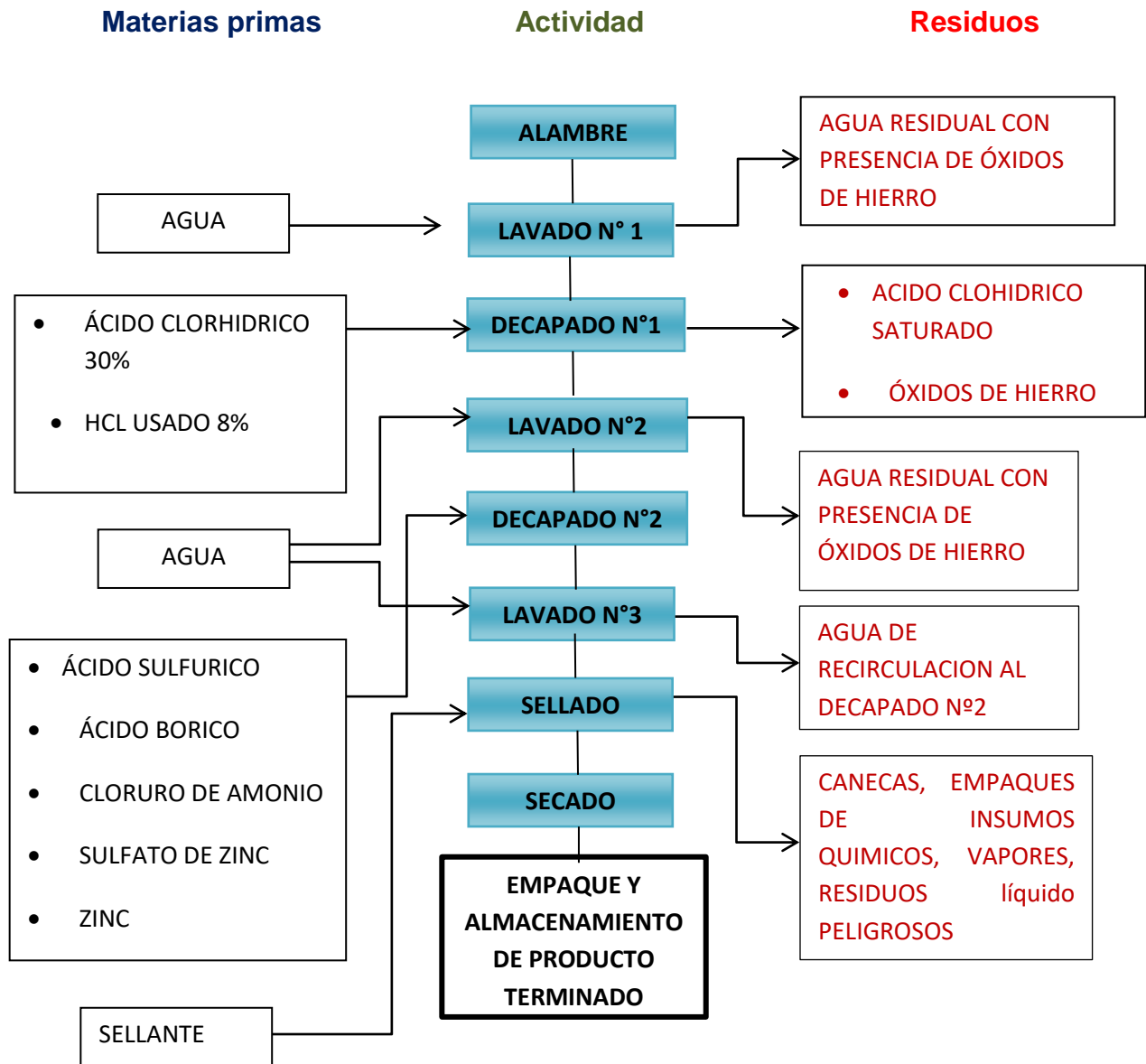


Diagrama 1. Descripción del proceso de galvanizado

Fuente: autor.

1.8. Efectos ambientales generados.

Con el objetivo de evidenciar los impactos generados en cada una de las etapas proceso de recubrimiento electrolítico, la tabla 3 esquematiza la matriz de impactos, de esta manera se indica el impacto que cada etapa tiene sobre cada uno de los recursos naturales.

Componente del ambiente			
	Humo, gases y vapores, polvos y particulares finas	Aguas ácidas, alcalinas, con grasas y aceites, cianuradas, crónicas, ricas en metales pesados	Lodos, cenizas, restos de materias primas recipientes vacíos y empaques
Proceso			
Tratamiento mecánico			X
Desengrase/enjuague		X	X
Decapado/enjuague	X	X	
Activado/enjuague		X	
Baño de recubrimiento	X	X	
Recuperador		X	
Enjuague		X	
Pasivado/enjuague		X	
Secado y pintado	X		X

Tabla 3. Matriz de impacto ambiental de los procesos de un recubrimiento electrolítico
Fuente: CNPML guía de producción más limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos

Los impactos anteriormente mencionados deben ser controlados y tratados mediante sistemas de fin tubo.

1.8.1. Evaluación de aspectos e impactos ambientales en el área de lavado de la empresa Deralam S.A.

Con la información obtenida en fuentes primarias se procede a realizar la identificación de aspectos e impactos ambientales en cada una de las etapas del proceso, de esta manera obtener una valoración a los mismos.

Para la evaluación de aspectos e impactos ambientales se aplica la metodología Conesa¹² siendo esta una metodología flexible que permite realizar un análisis directo entre la causalidad de la acción y el impacto generado, calificando de manera cuantitativa la magnitud del impacto generado en el área de lavado.

¹² Conesa V. Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental. 3 edición. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa; 1997. 73p.

A continuación en la tabla 4 se presenta la matriz de impactos ambientales referentes al área de lavado en Deralam S.A.

ACTIVIDAD	ASPECTO	IMPACTO	CI	I	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	IMPORTANCIA	CLASIFICACION
Lavado 1	Generación de residuos líquidos peligrosos	Contaminación del agua (efluentes con alta carga de metales pesados)	-	8	4	4	4	2	4	2	4	4	2	-58	SEVERO
	Consumo de agua	Agotamiento del recurso hídrico	-	8	1	1	2	2	4	2	1	1	4	-43	MODERADO
Lavado 2	Generación de residuos líquidos peligrosos	Contaminación del agua (efluentes con alta carga de metales pesados)	-	8	4	4	4	2	4	2	4	4	2	-58	SEVERO
	Consumo de agua	Agotamiento del recurso hídrico	-	8	1	1	2	2	4	2	1	1	4	-43	MODERADO

Tabla 4. Matriz de aspectos e impactos ambientales área de lavado Deralam S.A

Fuente. Autor.

La evaluación de los impactos se realiza de acuerdo con el procedimiento de identificación y evaluación que se describen a continuación:

Atributos de los impactos:

1. Carácter del impacto

Los impactos pueden ser positivos (+) o negativos (-), dependiendo de las distintas acciones que van a actuar en el medio.

2. Intensidad

Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor impactado en el área donde es producido el efecto.

La ponderación es la siguiente:

Baja.....	1
Media baja.....	2
Media alta.....	3
Alta.....	4
Muy alta.....	8
Total.....	12

3. Extensión

Se refiere al área de influencia del impacto, puede ser localizado (puntual) o extenderse (se le considera total).

Es ponderado de la siguiente manera:

Impacto puntual.....	1
Impacto parcial.....	2
Impacto extenso.....	4
Impacto total.....	8

4. Momento

Se refiere al tiempo transcurrido entre la acción y la manifestación del impacto.

El valor se asigna de la siguiente manera:

Inmediato.....	4
Corto plazo (menos de un año).....	4
Mediano plazo (1 a 5 años).....	2
Largo plazo (más de 5 años).....	1

1. Persistencia

Se refiere al tiempo que el efecto se manifiesta hasta que se retorne a la situación inicial en forma natural o por medidas correctoras.

Su ponderación es la siguiente:

Fugaz.....	1
Temporal (entre 1 y 10 años).....	2
Permanente (duración mayor a 10 años).....	4

2. Reversibilidad

Se refiere a la recuperación realizada de forma natural después de que la acción ha finalizado.

Se asigna la siguiente ponderación:

Corto plazo (menos de un año).....	1
Mediano plazo (1 a 5 años).....	2
Irreversible (más de 10 años).....	4

3. Recuperabilidad

La capacidad de recuperar total o parcial las condiciones de calidad ambiental iniciales como consecuencia de la aplicación de medidas correctoras.

Su ponderación es la siguiente:

- Si la recuperación puede ser inmediata.....1
- Si la recuperación puede ser a mediano plazo.....2
- Si la recuperación puede ser parcial.....4
- Si es irrecuperable.....8

4. Sinergia

Cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes o acciones supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales aisladas.¹³

Se valora de la siguiente manera:

- Si la acción no es sinérgica sobre un factor.....1
- Si presenta un sinergismo moderado.....2
- Si es altamente sinérgico.....4

5. Acumulación

Se refiere al aumento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste la causa.

Se asignan los siguientes valores:

- No existen efectos acumulativos.....1
- Existen efectos acumulativos.....4

6. Efecto

Se refiere a la relación causa-efecto, en otras palabras la manifestación del efecto sobre un factor.

Su valoración es la siguiente:

¹³ <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=1775>

Directo.....4.

Indirecto.....1

7. Periodicidad

Hace referencia al ritmo de aparición del impacto.

Se le asignan los siguientes valores:

Si los efectos son continuos.....4

Si los efectos son periódicos.....2

Si son discontinuos.....1

8. Importancia del impacto

$$I = \pm (3 IM + 2 EX + MO + PE + MC + SI + AC + EF + PR + RV)$$

Los valores de importancia varían entre 13 y 100 y son clasificados como:

Compatibles: cuando presentan valores menores a 25

Moderados: cuando presentan valores entre 25 y 50

Severos: cuando presentan valores entre 50 y 75

Críticos: cuando su valor es mayor a 75

CAPÍTULO II

2.1. Tratamiento de contaminantes inorgánicos

Las industrias de limpieza de metales y recubrimientos metálicos, en sus efluentes contienen gran cantidad de metales como cromo, cobre, mercurio, plomo, hierro, magnesio, manganeso y zinc, la presencia de dichos metales en el medio ambiente provoca diversos impactos negativos

entre los cuales se pueden mencionar la mortalidad de peces, mortalidad de plancton y el envenenamiento del ganado, adicionalmente cabe resaltar el cambio en las características del agua que provoca el vertimiento de este tipo de efluentes para la industria anteriormente mencionada, como lo son el color, la dureza, salinidad e incrustaciones.

Algunos de los metales pesados presentes en las aguas residuales industriales son indicados en la tabla 5, para lo cual Según (Romero, 2002) el cincado de metales pertenece a la actividad productiva de Deralam S.A.

INDUSTRIA	As	Ba	B	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Pb	Mn	Hg	Ni	Se	Ag	Zn
aleacion	x			x		x									
alimentos y bebidas								x						x	
baterias	x			x					x	x		x			
ceramica	x	x	x	x					x	x			x		
cincado de metales			x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x
colorantes	x	x		x	x		x	x		x		x	x		
cosmeticos y farmaceuticos			x								x				
curtiembres	x		x		x			x							
desinfectantes			x								x			x	
detergentes	x	x													
electronica y electrica		x					x				x		x		
estirado de alambre			x				x	x							
explosivos		x							x		x				
fertilizantes	x		x	x			x	x		x					
fotografia			x	x	x				x		x		x	x	
fundicion		x					x	x		x		x			x
fundicion no ferrosa	x			x	x		x		x			x	x		x
fungicidas				x							x				
herbicidas	x		x												
joyas							x							x	

Tabla 5. Principales metales en las aguas residuales
Fuente: tratamiento de aguas residuales teoría de principios y diseños

Para el adecuado tratamiento del agua proveniente del área de lavado es necesario un ajuste de pH con el objetivo del buen funcionamiento del coagulante. A continuación se describe los procesos efectuados en el laboratorio para la clarificación del agua.

2.1.2. Precipitación química con soda cáustica

La precipitación química de compuestos metálicos es llevada a cabo usualmente para tratamiento de efluentes industriales, lo que permite obtener efluentes finales con una concentración mínima

de contaminantes. La aplicación de la precipitación incluye varias etapas, las cuales son neutralización, coagulación y floculación, posteriormente la etapa de sedimentación.

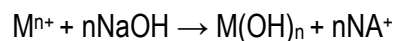
Existen diversos tipos de agentes precipitantes, los principales son la cal y la soda cáustica con el fin de aumentar el pH en los efluentes y de esta manera generar la precipitación de hidróxidos metálicos, no obstante también existen otras sustancias como lo son los sulfuros, siendo su uso limitado y restringido debido a la alta toxicidad presente en el lodo generado.¹⁴

En la siguiente tabla se describen las principales características de los compuestos anteriormente mencionados

Cal, Ca (OH)₂	Soda cáustica, NaOH	Sulfuros, NaSH Y FeS
Es económico	Su costo es más elevado que el de la cal	Tratamiento eficaz a bajas concentraciones
Genera mayor porcentaje de lodo	Genera menor porcentaje de lodo	Lodo aplicable a la recuperación de suelos
Los lodos generados son utilizados para la recuperación de suelos	Los lodos generados son utilizados para la recuperación de suelos	

Tabla 6. Características de los agentes de precipitación química
Fuente: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/02/83698>

La eliminación de metales contaminantes por medio de la neutralización/precipitación, consiste en retirar el metal contaminante mediante el ajuste del pH, de esta manera alcanzando el mínimo de solubilidad del hidróxido respectivo del metal en cuestión, de esta manera la reacción de neutralización que se presenta es la siguiente:



Mⁿ⁺= Metal en solución

El hidróxido de cada metal en particular presenta una curva de propia de solubilidad en función del pH, de esta manera y de acuerdo a las curvas de solubilidad de hidróxidos de metales, el pH en los cuales se tienen los mínimos de solubilidad son los siguientes¹⁵:

¹⁴ <http://www.revistaingenieria.uda.cl/Publicaciones/220003.pdf>

¹⁵ <http://www.pacificchemical.cl/eliminaciondemetalespesadosdeafuentes.html>

Metal	pH	log[metal]#	[metal] (mol/L)	[metal] (mol/L)
Calcio	12.2	-2.0	1,x10-2	400.8
Aluminio	5.1	-5.2	6.3x10-6	0.17
Cromo	6.8	-15.5	3.16x10-16	1.64x10-11
**Cromo	8.5	-6.3	5x10-7	2.6x10-2
*Molibdeno	1.9	-2.0	1x10-2	959.4
Hierro (II)	10.3	-7.4	3.9x10-8	2.2x10-3
Hierro (III)	7.8	-10	1x10-10	5.6x10-6
Níquel	10.1	-7.9	1.2x10-8	7.39x10-4
Cobre	9.0	-8.4	3x10-9	2.53x10-4
*Plata	11.9	-5.5	3.16x10-6	3.41x10-1
Zinc	9.1	-7.1	7.9x10-8	5.19x10-3
Cadmio	11.1	-7.5	3.1x10-8	3.5x10-3
Mercurio	3-15	-3.7	2x10-4	40.03
Plomo	9.3	-4.8	1.6x10-5	1.69
*Teluro	5.5	-7.1	7.9x10-9	1.01x10-2
Magnesio	10.4	-4.1	7.9x10-5	1.92

Tabla 7. pH de solubilidad mínima de hidróxidos de metales.

Fuente: <http://www.pacificchemical.cl/eliminaciondemetalespesadosdeafuentes.html>

2.1.2.1. Factores de dilución

El factor de dilución se puede definir como el número de veces que una disolución es más diluida, y se calcula dividiendo la concentración de la disolución más concentrada por la más diluida; dicho de otra manera, un factor de dilución corresponde al volumen de muestra y al volumen al cual será diluida la muestra, arrojando así el factor de dilución [preparación y estandarización de disoluciones <http://www.uco.es/~qe1marim/Practica3.pdf>] (2014).

Los factores de dilución son utilizados cuando se evidencia valores muy elevados para un determinado análisis físico químico en laboratorio al agua residual, de esta manera el cálculo corresponde al volumen total de la muestra diluida sobre el volumen de la muestra, el resultado corresponderá al número de veces que se diluyó la muestra.

2.3. Recolección de muestras y equipos utilizados

Los análisis físicos químicos medidos in-situ fueron realizados con los siguientes equipos:

Equipos de medición y toma de muestra	Especificaciones Generales
POTENCIOMETRO PORTÁTIL HI 9811-5 MARCA HUALIX	Realiza la medición de 4 parámetros, ellos son: pH, conductividad, SDT y temperatura, los rangos de lectura son los siguientes:



pH de 0 a 14, conductividad de 0 a 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, SDT de 0 a 3000, temperatura de 0 a 70°C.



FOTOMETRO P12
MARCA MACHEREY Y NAGEL



El Fotómetro PF-12 es un equipo compacto portátil Multiparametrico, el cual con los reactivos VISOCOLOR y NANOCOLOR TUBOS se obtienen resultados más exactos, precisos y reproducibles que con la evaluación visual

Más de 100 métodos pre-programados (VISOCOLOR® ECO y NANOCOLOR® test tubos)

- Completo análisis de agua y aguas residuales (Amonio, Cloro, Cloruro, Nitrógeno total, Fosforo Total, Nitrato, Nitrito, DQO y otros)
- Selección automática de la longitud de onda
- Pantalla gráfica
- Almacenamiento de datos de acuerdo a GLP
- Interface USB para transferencia de datos.
- Aplicaciones: Aguas municipales e industriales,

	<p>agua potable, aguas de calderas, agua superficial, aguas residuales entre otros</p>
<p>TEST DE JARRAS</p> 	<p>Se realiza test de jarras con un floculador eléctrico de 6 puestos, cuenta con una velocidad de 0 a 300 rpm.</p>
<p>CONO INHOFF</p> 	<p>Recipiente cónico transparente, de 1 litro de capacidad, utilizado para la determinación del volumen de materias decantables en las aguas y solidos sedimentables.</p>
<p>BALDE</p>	<p>Herramienta volumétrica que permite determinar el volumen</p>



		<p>obtenido por un tiempo.</p> <p>Volumen efectivo 12 litros</p>
<p>RECIPIENTE PARA MUESTRAS</p>		<p>Recipientes donde se almacenaron las muestras para su previo análisis</p>
<p>TERMOREACTOR</p>		<p>Equipo eléctrico utilizado en la medición de la DQO, ya que para la medición de dicho parámetro se requiere una temperatura exacta 180° y continua durante dos horas.</p>

Tabla 8. Equipos utilizados en las pruebas de tratamiento y análisis

Fuente: autor.

2.4. Medición de caudal

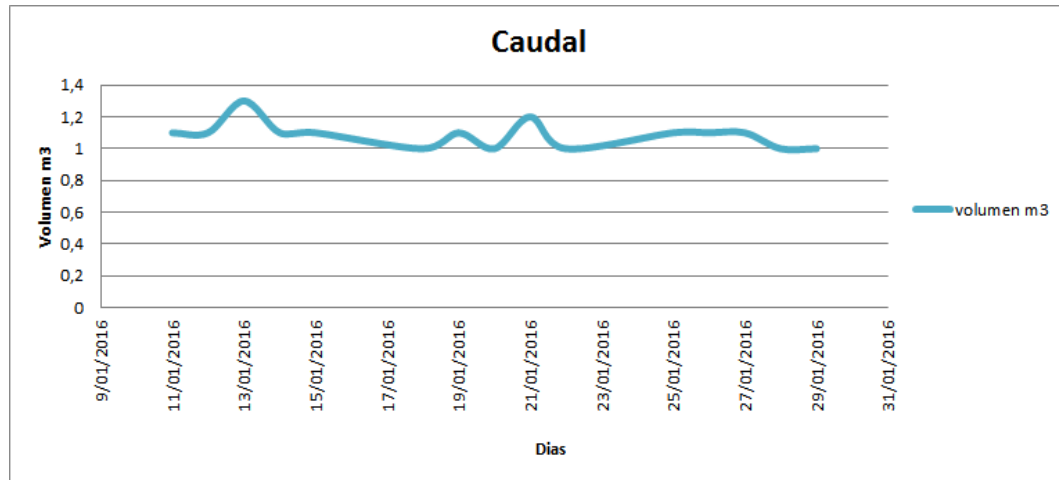
Para la determinación del caudal a tratar se procedió a realizar la medición de la descarga durante 15 días, teniendo en cuenta que, el agua es retirada de las cubas de lavado por un sistema de bombeo y posteriormente almacena en canecas, durante cada día mediante canecas aforadas se determinó el volumen a disponer diariamente; adicionalmente se corrobora este resultado por medio de la medición del consumo de agua con el contador presente en esta área productiva.

Luego de cada descarga, se decide integrar una muestra de 500ml diariamente con el objetivo de obtener una muestra representativa para la medición de los parámetros físico químicos, la preservación de este muestra para los parámetros que no son analizados in situ, se realiza de acuerdo a los métodos establecido por el IDEAM.

Fecha	volumen m3	volumen necesario para intregacion de muestra (litros)
11/01/2016	1,1	0,5
12/01/2016	1,1	0,5
13/01/2016	1	0,5
14/01/2016	1,1	0,5
15/01/2016	1,1	0,5
18/01/2016	1	0,5
19/01/2016	1,1	0,5
20/01/2016	1	0,5
21/01/2016	1,2	0,5
22/01/2016	1	0,5
25/01/2016	1,1	0,5
26/01/2016	1,1	0,5
27/01/2016	1,1	0,5
28/01/2016	1	0,5
29/01/2016	1	0,5
promedio caudal	1,087	volumen total 7,5 Lts

Tabla 9. Volumen del efluente a tratar

Fuente: autor.



Grafica 1. Comportamiento caudal de descarga

Fuente: autor.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos el valor promedio de descarga es de 1,086 m³ diario de agua residual a tratar.

2.5. Pruebas de tratabilidad y caracterización de las aguas residuales

Se realizan en 72 pruebas, entre las cuales se destacan las más representativas por factores como la dosis, clarificación, tiempo de sedimentación y la evaluación positiva en los parámetros fisicoquímicos.

Los productos químicos que se utilizaron en las pruebas fueron los siguientes:

- Soda
- Acuaflock C-20 (coagulante)
- Acuaflock 1101 (polímero)
- Ácido sulfúrico
- Precipitador de metales (agente inorgánico precipitador de iones metálicos en bajas concentraciones)
- Cal

El acuaflock C-20 es un coagulante inorgánico líquido a base de policloruro de aluminio, principalmente remueve materia coloreada y coloidal en suspensión en sistemas acuosos, como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas. El PAC, incluye una serie de productos que varían en el grado de su neutralización ácida, polimerización y concentración de AL₂O₃. Mientras el ácido es neutralizado en el proceso de producción, la parte

de aluminio del producto se vuelve más polimerizada, resultando en una mayor carga catiónica y en un aumento de la capacidad de desempeño¹⁶.

Por su parte el floculante acuaflock 1102 es un producto aniónico altamente efectivo para ser usado en tratamiento de efluentes de aguas residuales que contienen aceites, grasas, microorganismos, partículas coloidales. Puede ser utilizado efectivamente en un amplio rango de procesos de separación tales como asentamiento, filtración y flotación con aire disuelto.¹⁷

Los productos fueron preparados a diferentes concentraciones, con el fin de evaluar su eficiencia a diferentes dosificaciones, a continuación se presenta la tabla 8 en la cual se muestra las dosificaciones aplicadas en laboratorio.

Test de jarras	Soda caustica dosis (ml)	Acuaflock C-20 Dosis (ml)	Acuaflock 1101 Dosis (ml)	Ácido sulfúrico dosis (ml)	Clarifica	Tiempo de sedimentación (minutos)
Prueba No.1	15 [20%]	5 [5%]	3 [0,1%]	No se aplica	Aun presenta color	2
Prueba No.2	15 [20%]	5 [10%]	3 [0,1%]	No se aplica	Aun presenta color	3
Prueba No. 3	35 [60%]	8 [33%]	15 [0,1%]	0,4 [33%]	SI	1
Prueba No 4	20 [95%]	No se aplica	15 [0,1%]	0,4 [33%]	SI	1

Tabla 10. Determinación de dosificaciones
Fuente: autor.

[] = concentración del producto

ml = mililitros

A continuación se muestran los resultados físicos químicos de cada una de las pruebas de tratabilidad realizadas en el laboratorio.

¹⁶ www.awtsa.com

¹⁷ http://www.productosquimicosmexico.com.mx/floculante_anionico.aspx

Parámetro	Unidades	Cruda Sin tratamiento	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
pH	-	1	11	10	8	8
Conductividad	Microsimens	26300	5342	4523	3980	20
TDS	Ppm	13800	2671	2261	2470	10
SST	Ppm	2667	44	31	0	0
Color	PtCo	1375	400	367	50	0
Turbiedad	FAU	2750	40	24	19	0

Tabla 11. Resultados físico químicos en las pruebas de laboratorio
Fuente: autor.

PtCo = Unidades de platino cobalto

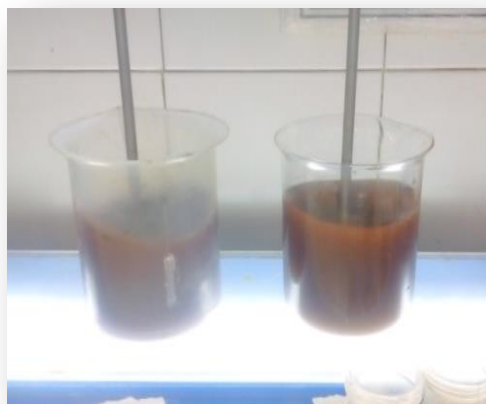


Foto 14. Agua residual cruda
Fuente: autor.

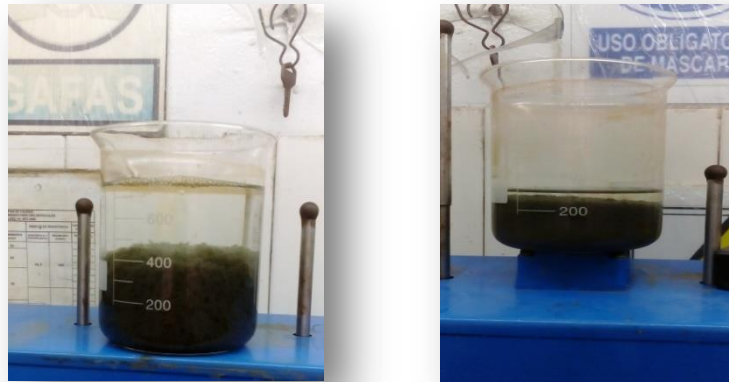


Foto 15. Agua residual clarificada con tiempo de sedimentación
Fuente: autor.

Teniendo en cuenta la tabla 10 se puede observar las diferentes preparaciones de los productos químicos utilizados, esto con el fin de determinar la concentración y la dosificación adecuada, siendo de esta manera la prueba N° 4 la más favorable para el tratamiento.

La mezcla de la soda cáustica fue de 1 minuto a 170 Rpm (revoluciones por minuto) posteriormente es adicionado el polímero con mezcla lenta de 40 Rpm durante 2 minutos. De acuerdo a lo anterior la prueba N° 4 cumple con los siguientes conceptos analizados en laboratorio:

- Menor porcentaje de lodo observado en laboratorio
- Menor tiempo de sedimentación
- Se obtuvo los mejores resultados en los parámetros fisicoquímicos medidos *in-situ*.

2.6. Análisis de resultados en laboratorio frente a la normatividad actual

Al obtener la clarificación de la muestra N°4 y observar los excelentes resultados medidos *in-situ*, se decide realizar por medio de una técnica analítica de espectrofotometría de absorción atómica el análisis de los metales pesados que actualmente exige la resolución 0631 de 2015.

Adicionalmente y de acuerdo a los resultados obtenidos en los demás parámetros analizados, se decide calcular los porcentajes de remoción por cada parámetro y la respectiva comparación con la norma actual vigente que a continuación se presenta en la tabla 12.

Parámetro	Unidad	Agua cruda sin tratamiento	Muestra N°4 tratada en laboratorio	Resolución 0631 / 2015
pH		2	8	6,00 a 9,00
DQO	Ppm	1600	222	250
DBO ₅	Ppm	800	88	100
SST	Ppm	2667	0	50,00
SSED	ml/L	100	0	2,00
GYA	Ppm	3	2	10,00
FENOLES	Ppm	<0,01	<0,01	0,20
SAAM	Ppm	<0,1	<0,1	AR
HTP	Ppm	2	1,5	10,00
HAP	Ppm	1	0,5	AR
BTEX	Ppm	0,0	0,0	AR
FOSFORO	Ppm	<0,30	<0,30	AR
CIANURO TOTAL	Ppm	<0,02	<0,02	0,10
SULFATO	Ppm	15	13	AR
ALUMINIO	Ppm	<0,49	<0,49	3,00
ARSENICO	Ppm	<0,56	<0,56	0,10
BARIO	Ppm	<0,19	<0,19	1,00
CADMIO	Ppm	0,08	0,04	0,05
CINC	Ppm	99,8	0,5	3,00
COBRE	Ppm	1,93	<0,03	1,00
CROMO	Ppm	4,34	<0,056	0,50
ESTAÑO	Ppm	<0,88	<0,88	2,00
HIERRO	Ppm	4860	0,72	3,00
MERCURIO	Ppm	<0,01	<0,01	0,01
NIQUEL	Ppm	4,25	<0,46	0,50
PLATA	Ppm	<0,028	<0,028	0,20
PLOMO	Ppm	<0,1	<0,1	0,20
ACIDEZ	mg/L CaCO ₃	0,2	7,0	AR
ALCALINIDAD	mg/L CaCO ₃	1250	2250	AR
DUREZA CALCICA	mg/L CaCO ₃	4,9	4,9	AR
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	200	200	AR
COLOR	m-1	1375	0	AR

Tabla 12. Resultados de análisis y comparación con la normatividad actual
Fuente: laboratorio Acuacontrol LTDA y UECCI

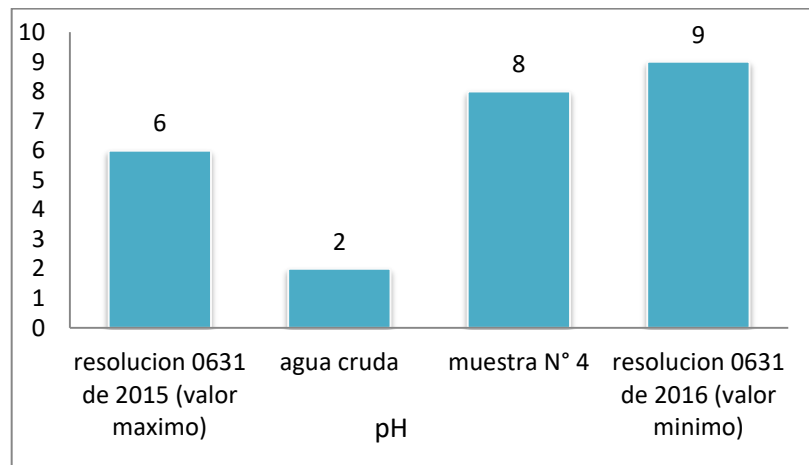
AR = Analice y reporte

De acuerdo a la anterior tabla y al resultado obtenido por cada parámetro, se decide realizar un análisis de los parámetros medidos teniendo en cuenta su cumplimiento y porcentaje de remoción.

2.6.1. pH

El primer lavado del alambre en la línea de galvanizado se realiza con solo agua, posteriormente el alambre es transportado por las cubas de ácido clorhídrico donde el siguiente lavado cuenta con un pH bajo, de esta manera en el igualamiento de las cargas se obtendría un pH 2, que luego de su posterior tratamiento debe ser ajustado a lo exigido por la resolución 0631 de 2015.

La metodología con la cual se tomó la medición del presente parámetro se encuentra anexa a este documento.



Grafica 2. Comparativo de resultado del pH con la normatividad actual
Fuente: autor

- **Método analítico para determinación de pH**

Equipo	Procedimiento
Medidor multiparametrico portátil: pH / CE/ TDS/ Temperatura HI 9811-5	Este equipo cuenta con una sonda multiparametrica la cual es introducida en la muestra. Para obtener el resultado de acuerdo al parámetro a analizar se debe presionar el botón correspondiente. La medición de este parámetro tanto para agua

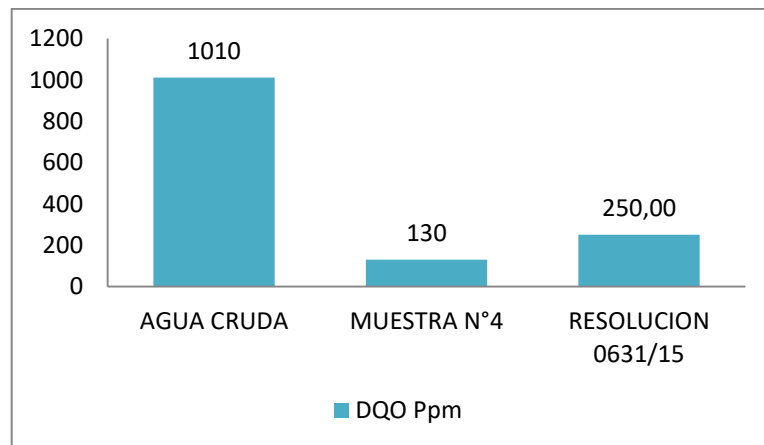
	cruda sin tratamiento como para agua tratada en laboratorio se realizó in-situ.
--	---

Tabla 13. Método analítico para el análisis de Ph
Fuente: autor.

2.6.2. DQO

La presencia de dicho parámetro en las aguas residuales industriales del sector de galvanizado es debido a que en su proceso de producción más exactamente en la trefilación al alambre se le debe aplicar un lubricante, posteriormente el alambre es llevado a los hornos de recocido por un tiempo establecido para así poder ser galvanizado.

De acuerdo a las pruebas de tratabilidad el porcentaje de remoción de este parámetro es de 87,13% cumpliendo con la normatividad actual.



Grafica 3. Comparativo de resultados DQO con la normatividad actual
Fuente: autor.

- **Método analítico para la determinación de DQO.**

NANOCOLOR® CSB 1500 / COD/DCO/DQO

MACHERY-NAGEL **MN**
www.mn-net.com

Method(e): 0291
100–1500 mg/L O₂

20–80%: 100 380 1220 1500 mg/L O₂

REF 985 029

1 Probe / Sample
Échant. / Muestra
2.0 mL

2 Schütteln / Shake
Agiter / Agitar
REF: 916 37

3 160 °C / 30 min
148 °C / 2 h

4 Schütteln / Shake
Agiter / Agitar
warm / hot
chaud / cálido

5 20 °C–25 °C
Abkühlen / Cool
Refroidir / Enfriar

6 Säubern / Clean
Nettoyer / Limpiar

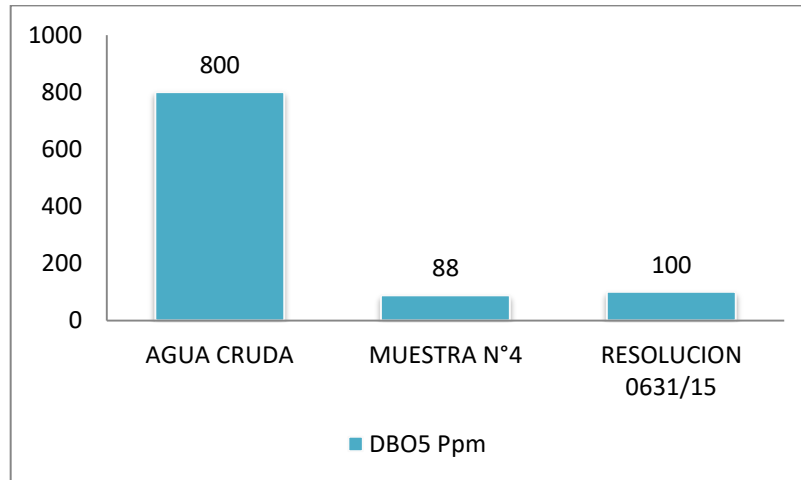
7 620 nm
Messen / Measure
Mesurer / Medir

A037167 / 985 029 / 05140

Imagen 1. Método analítico para la determinación de DQO
Fuente: <ftp://ftp.mn-net.com/Piktogramme/Rundkuevetten/pic985029.pdf>

2.6.3. DBO

El parámetro de la DBO es usado para medir la calidad de las aguas residuales industriales, determinando así la cantidad de oxígeno que se requiere para una estabilización biológica de la materia orgánica, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el laboratorio y según (Romero, 2002) se espera que la DQO sea aproximadamente igual a la DBO. De esta manera se obtuvo un porcentaje de remoción en laboratorio de 89%, cabe resaltar que el cumplimiento de este parámetro está próximo al valor máximo permisible, para lo cual tanto la DBO como la DQO son parámetros significativos a tener en cuenta.



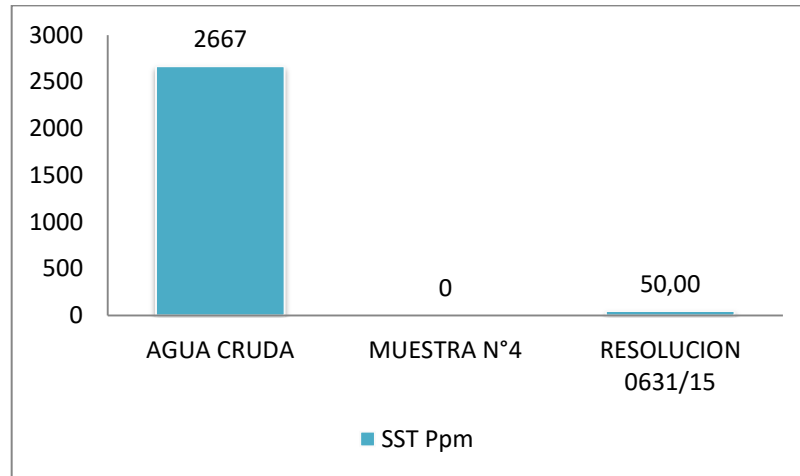
Grafica 4. Comparativo de resultados DBO con la normatividad actual
Fuente: autor.

- **Método analítico para la determinación de DBO5**

La determinación de este parámetro se realizó de acuerdo al método de test con cubetas de macherey nagel, ya que este método es bastante extenso, la ficha técnica de este parámetro se encontrara anexa a este documento.

2.6.4. Sólidos suspendidos totales

Este parámetro es importante como indicador ya que su presencia disminuye el paso de luz en el agua, interviniendo en actividades fotosintéticas así mismo la producción de oxígeno, de esta manera y por medio de la pruebas de laboratorio se obtiene el 100% de remoción del presente parámetro cumpliendo así mismo con la normatividad.



Grafica 5. Comparativo de resultados SST con la normatividad actual
Fuente: autor.

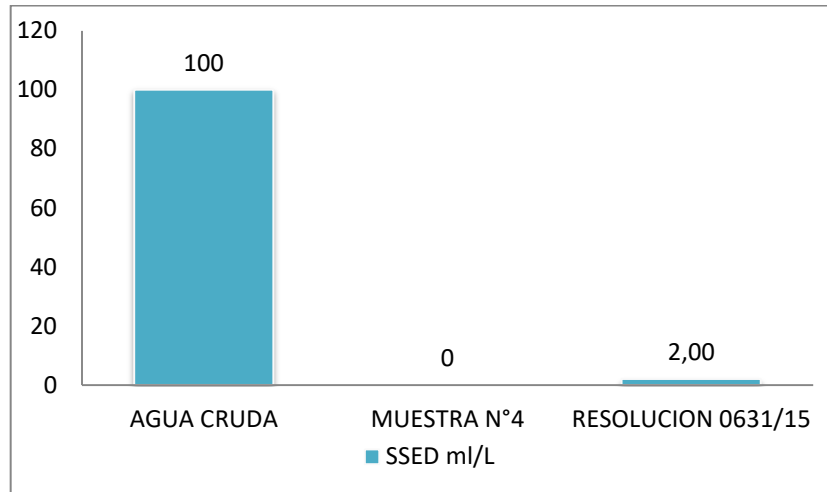
- **Método analítico para la determinación de sólidos suspendidos**

Equipo	Procedimiento
Fotómetro compacto PF 12	Para la determinación de este parámetro, se utiliza un tubo de ensayo el cual es llenado con la muestra de agua con 10ml posteriormente es puesto para su análisis en el fotómetro PF 12 presionando el código de programación correspondiente. La medición de este parámetro tanto para agua cruda sin tratamiento como para agua tratada en laboratorio se realizó in-situ.

Tabla 14. Método analítico para la determinación de solidos suspendidos
Fuente: autor.

2.6.5. Sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables son una medida para determinar el volumen de sólidos precipitados, la cantidad de dichos sólidos o fangos es aproximada a la cantidad que será eliminada mediante la sedimentación, de esta manera se obtuvo mediante las pruebas de laboratorio un porcentaje de remoción del 100% cumpliendo con la normatividad.



Grafica 6. Comparativo de resultados SSED con la normatividad actual
Fuente: autor.

- **Método analítico para la determinación de sólidos sedimentables**

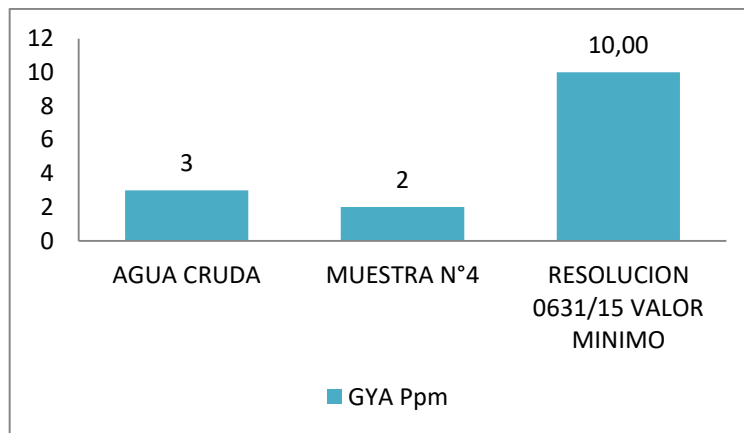
Equipo	Procedimiento
Cono imhoff y soporte	Para la determinación de este parámetro se debe realizar los siguientes pasos: <ul style="list-style-type: none">• Mezclar la muestra por agitación• Verter la muestra en el cono hasta la marca de 1L.• El equipo y la muestra deben permanecer inmóvil durante 60 min.• Transcurrido el tiempo el volumen de materia se

	depositará en el fondo.
--	-------------------------

Tabla 15. Método analítico para la determinación de solidos sedimentables
Fuente: autor.

2.6.6. Grasas y aceites

Para la obtención del alambre que se debe galvanizar, primero debe ser expuesto al proceso de trefilación donde debe ser lubricado, luego es llevado al horno de recocido y finalmente llevado a la línea de galvanizado, se puede observar en los resultados obtenidos en la tabla 12 hubo una remoción del 33,4%, los valores obtenidos tanto de agua cruda como de agua tratada en laboratorio no sobrepasan el valor límite permisible por resolución 0631 de 2015.



Grafica 7. Comparativo de resultado de GYA con la normatividad actual
Fuente: autor.

GyA = Grasas y aceites

- **Método analítico para la determinación de GyA**

Este parámetro fue analizado en el laboratorio de Acuacontrol Ltda, el procedimiento para la obtención de resultados tanto del agua cruda sin tratamiento como para el agua clarificada en laboratorio se describe a continuación:

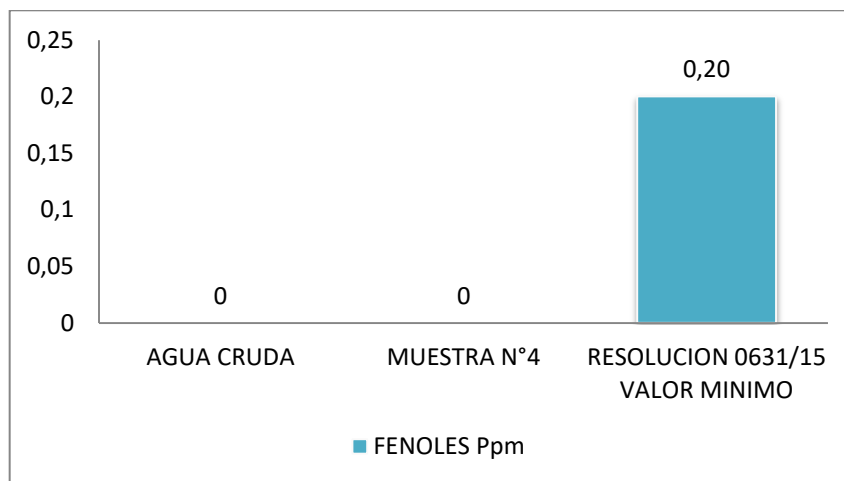
Equipo	Reactivos	Procedimiento
<p>Equipo de extracción Soxhlet: Matraz de extracción, embudo Soxhlet y refrigerante</p> <p>Bomba de vacío.</p> <p>Manta eléctrica de calentamiento.</p> <p>Estufa a 130°C.</p> <p>Embudo Buchner.</p> <p>Cono de extracción.</p> <p>Papel de filtro de 11cm de diámetro.</p> <p>Piedras de ebullición</p>	<p>Ácido Clorhídrico (1+1)</p> <p>Éter de petróleo con punto de ebullición entre 60°C a 70°C.</p>	<p>El pH se debe encontrar ≤ 2, de no ser así, se deberá adicionar HCL.</p> <p>Filtrar la totalidad de la muestra recogida. Pasar un papel filtro humedecido en solvente con embudo Buchner y por el frasco de muestreo, asegurándose de remover las películas de grasas y material solido presente. Juntar ambos filtros, envolverlos y colocarlos en el cono de extracción.</p> <p>Secar el cono de extracción por 30 min a 103°C.</p> <p>Pesar el matraz de extracción conteniendo perlas de ebullición</p> <p>Colocar el cono en el embudo Soxhlet. Agregar aproximadamente 200ml de éter de petróleo al frasco de extracción.</p> <p>Destilar el solvente del frasco de extracción en un baño de agua a</p>

		70°C. Enfriar el frasco de extracción en un desecador por 30 minutos y pesar.
--	--	--

Tabla 16. Método analítico para la determinación de grasas y aceites
Fuente: autor.

2.6.7. Fenoles

De acuerdo a los análisis obtenidos en laboratorio se puede observar que no se presenta remoción de este parámetro.



Grafica 8. Comparativo de resultado de fenoles con la normatividad actual
Fuente: autor.

- **Método analítico para la determinación de fenoles**

Con el objetivo de determinar la concentración de fenoles presentes en el agua provenientes del proceso productivo de galvanizado, se realiza el análisis por medio del método de determinación fotométrica con 4-nitroanilina diazotada, a continuación en la imagen 4 se describe el procedimiento para la obtención de resultados.

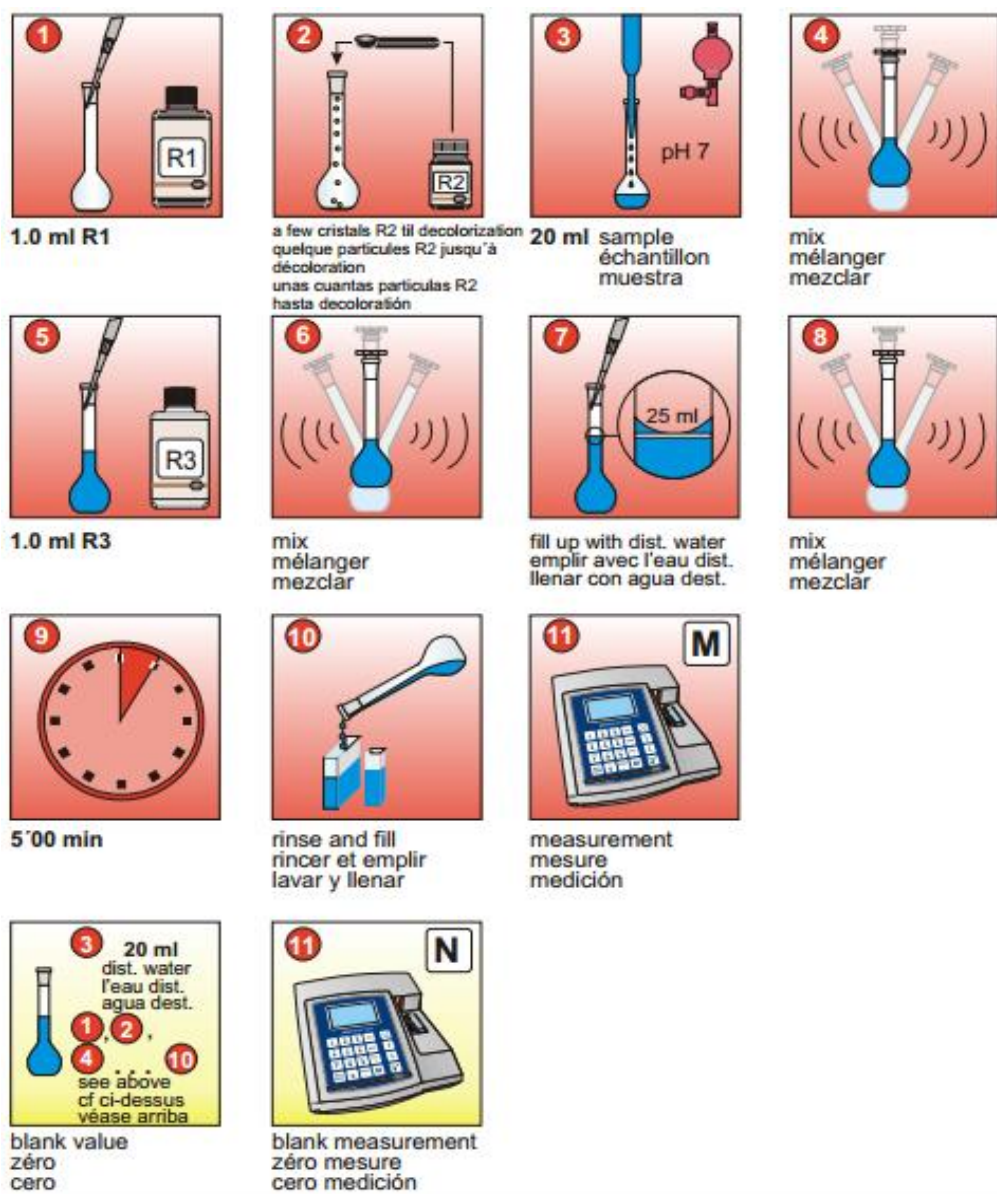


Imagen 3. Método analítico para la determinación de fenol.

Fuente: ftp://ftp.mn-net.com/english/Pictogram_colour_EN/standard_test/91875en.pdf

2.6.8. SAAM

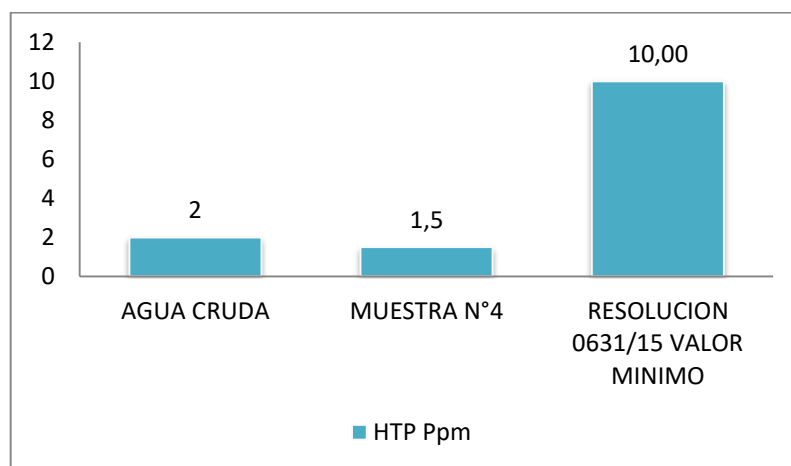
De acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio por medio de fotometría no se evidencia porcentaje de remoción, ya que los valores obtenidos son resultados menores a la curva de calibración del equipo.

- **Método analítico para la determinación SAAM**

Para la obtención de resultados de este parámetro se utilizó un kit de medición fotométrica de detergentes anionicos de macherey nagel, la Sustancia de referencia es metilo dodecibencenosulfonato, el procedimiento para dicho análisis se encuentra anexo a este documento.

2.6.9. HTP

Dados los resultados en la jarra 4, se evidencia una remoción de 25%, adicionalmente es evidente el cumplimiento del agua cruda con respecto a la normatividad vigente.



Grafica 9. Comparativo de resultado HTP con la normatividad actual
Fuente: autor.

- **Método analítico para la determinación de HTP**

Equipo	Reactivos	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Extractor soxhlet buchi B-810 • Desecado • Estufa • Balanza analitica 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Ácido clorhídrico • n-hexano • silica gel 60 • sulfato de sodio anhidro 	<ul style="list-style-type: none"> • tarar y pesar los vasos de extracción • disolver la grasa y aceites extraídos

		<p>por el método soxhlet en 100 ml de n-hexano</p> <ul style="list-style-type: none"> • tapar el recipiente con papel aluminio • agregar 3 gr de silica gel por cada 100 mg de aceite y grasa total • tapar y agitar por 5 min • filtrar por medio de un papel filtro humedecido con n-hexano • recolectar el filtrado en los vasos de extractor soxhlet previamente desecados y pesados por 30 min • iniciar la extracción hasta sequedad total • llevar los vasos de extracción al desecador hasta obtener pesos constantes determinando el peso final.
--	--	--

Tabla 15. Método analítico para la determinación de HTP.

Fuente: autor.

2.6.10. HAP

Las trazas de hidrocarburos presente en el agua de lavados, son provenientes de los agentes químicos en procesos anteriores. Dados los resultados obtenidos en la jarra 4, se puede observar una remoción del 50%.

- **Método analítico para la determinación de HAP**

Para la determinación de los HAP se realizó por medio de cromatografía líquida en el laboratorio de Acuacontrol Ltda., esta técnica es utilizada para separar los componentes de una mezcla y la separación de compuestos orgánicos semivolátiles, consiste en una fase estacionaria y una fase móvil.

2.6.11. BTEX

- **Método analítico para la determinación de BTEX**

Para la determinación cuantitativa de BTEX, se realiza por medio de la cromatografía de gases utilizando la técnica head-space, esto realizado en el laboratorio de Acuacontrol Ltda.

2.6.12. Fósforo

La medición de este parámetro se realiza por medio del kit nanocolor NanOx Metal, no se observan porcentajes de remoción debido a que el valor obtenido es menor a la curva de calibración del equipo tanto en agua cruda sin tratamiento como para el agua tratada en laboratorio.

- **Método analítico para la determinación de fósforo**

A continuación se presenta las instrucciones para la determinación de fósforo por medio del test de cubeta y adicionalmente la descomposición en bloque calefactor.

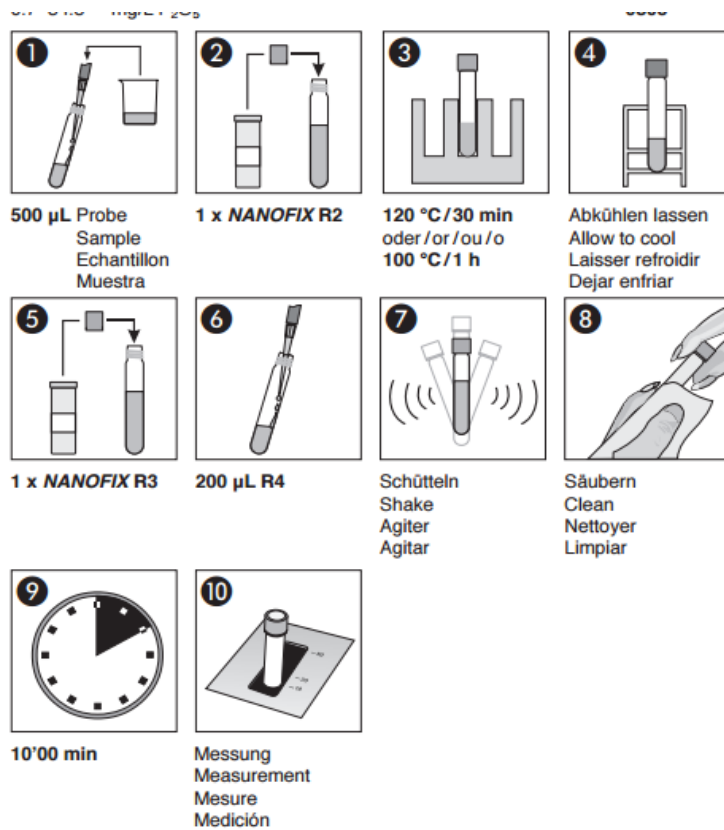


Imagen 2. Método analítico para la determinación de fosforo
Fuente: ftp://ftp.mn-net.com/deutsch/Piktogramme_500D/TA985080_1.pdf

2.6.13. Cianuro total

La determinación de este parámetro se realiza por medio de fotometría, los iones cianuro reacciona con cloramina T para formar el cloruro de cianógeno, que, con un derivado de piridina y ácido barbitúrico forma un colorante de polimetina. La prueba mide cianuro y cianuro complejos libres¹⁸.

De acuerdo a los resultados obtenidos no se observan porcentajes de remoción de acuerdo a la curva de calibración del equipo, la metodología para la determinación de cianuro se encuentra anexa a este documento.

- **Método analítico para la determinación de cianuro**

¹⁸ <http://www.mn-net.com/tabid/4695/default.aspx>

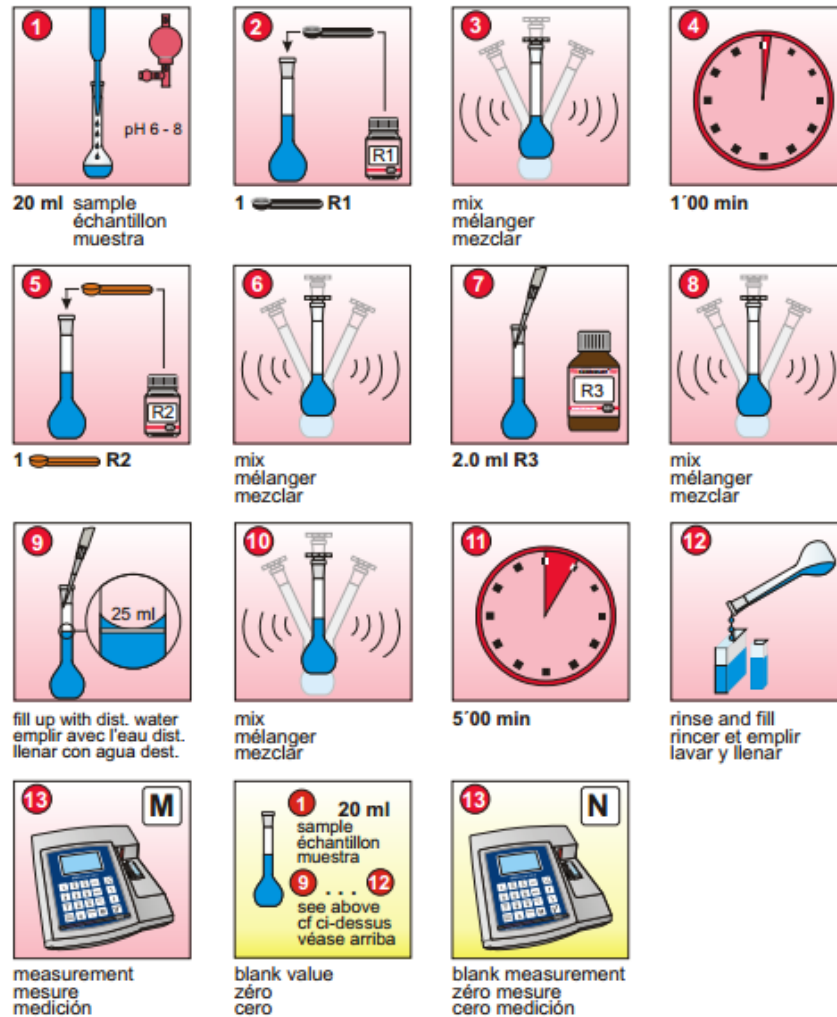


Imagen 3. Método analítico para la determinación de cianuro

Fuente: ftp://ftp.mn-net.com/english/Pictogram_colour_EN/standard_test/91830en.pdf

2.6.14. Sulfatos

De acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio se observa un porcentaje de remoción de 13,3%.

- **Método analítico para la determinación de sulfatos**

Este parámetro se determina por medio de fotometría como sulfato de bario, a continuación se presentan las instrucciones para la obtención del resultado.

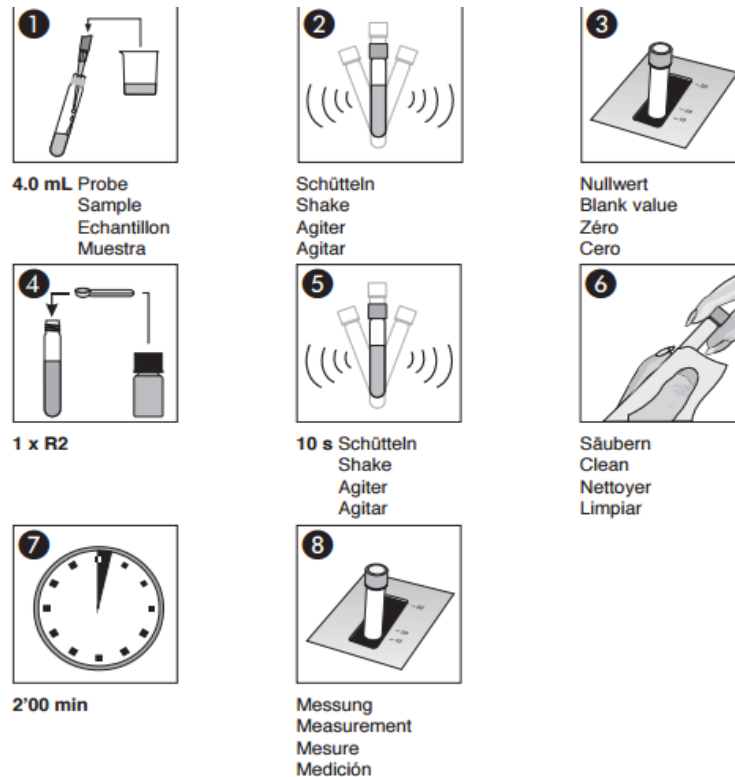


Imagen 4. Método analítico para la determinación de sulfatos
Fuente: ftp://ftp.mn-net.com/deutsch/Piktogramme_500D/TA985086.pdf

2.7 Resultados de los metales pesados

De acuerdo al proceso productivo en Deralam S.A, el afluente dispuesto a tratar cuenta con varios componentes inorgánicos los cuales fueron mencionados en la tabla 12. Estos parámetros fueron analizados por medio de espectrofotometría de absorción atómica, para el análisis de estos metales se debe tener:

Parámetro a analizar	Conservación	Máximo de almacenamiento
Metales en general	Para metales disueltos filtrar inmediatamente, adicionar HNO ₃ a pH<2	6 meses

Tabla 18. Preservación de muestra para análisis de metales pesados
Fuente: toma de muestras de aguas residuales IDEAM

- **Espectrofotometría de absorción atómica:**

Es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución.

En resumen, los electrones de los átomos en el atomizador pueden ser promovidos a orbitales más altos por un instante mediante la absorción de una cantidad de energía (es decir, luz de una determinada longitud de onda). Esta cantidad de energía (o longitud de onda) se refiere específicamente a una transición de electrones en un elemento particular, y en general, cada longitud de onda corresponde a un solo elemento.

Como la cantidad de energía que se pone en la llama es conocida, y la cantidad restante en el otro lado (el detector) se puede medir, es posible, a partir de la ley de Beer-Lambert, calcular cuántas de estas transiciones tiene lugar, y así obtener una señal que es proporcional a la concentración del elemento que se mide¹⁹.



Imagen 5. Equipo de absorción atómica

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia_de_absorci%C3%B3n_at%C3%B3mica_\(AA\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia_de_absorci%C3%B3n_at%C3%B3mica_(AA))

A continuación se realiza una descripción según los resultados obtenidos en laboratorio por cada metal analizado.

¹⁹ http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorcin_atmica

2.7.1. Aluminio

De acuerdo a los valores obtenidos en el laboratorio de la UECCI, no se registra remoción de este metal ya que son valores mínimos que no alcanzan a ser leídos por el equipo, cabe resaltar que de igual manera este parámetro no se sobrepasa los valores límites permisibles.

2.7.2. Arsénico

De acuerdo a los valores obtenidos en laboratorio no se evidencia una remoción debido a que los valores obtenidos son menores y no alcanzan a ser leídos por el equipo.

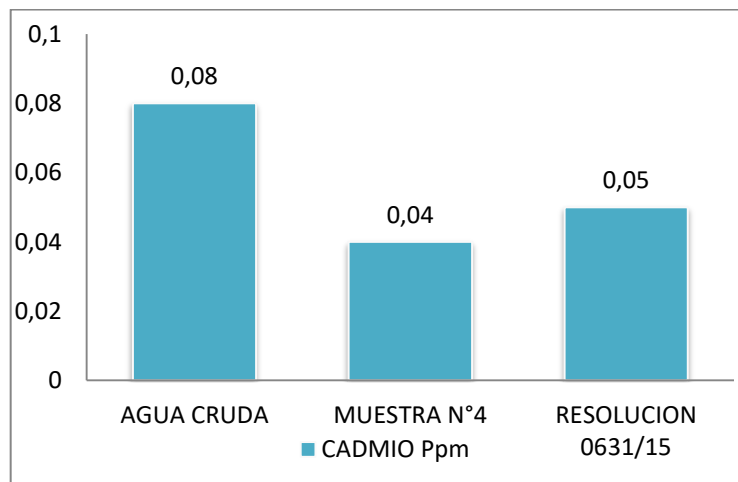
Según (Wirth, *s.f.*) cuando en el agua se encuentra la presencia del arsénico, al precipitar el hierro proporcionalmente precipitara arsénico, esto hace de la coagulación y la combinación de filtración un método efectivo para la eliminación de hierro y a su vez de arsénico.

2.7.3. Bario

Los valores obtenidos de bario, son menores a lo que puede ser leído por el equipo de absorción atómica por tanto no presentan un porcentaje de remoción, de igual manera dichos valores se encuentran entre los límites permisibles.

2.7.4. Cadmio

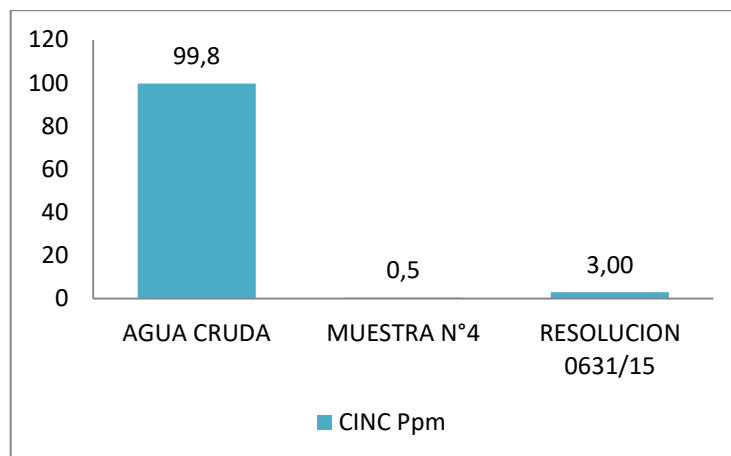
El cadmio al igual que el mercurio y plomo es un compuesto tóxico el cual debe recibir gran atención ya que son elementos que se magnifican biológicamente, para remover este metal es necesario el ajuste de pH, debe encontrarse en valores de 9 y 12, en laboratorio se observó un porcentaje de remoción del 50%, según (Romero, 2002) la filtración luego de la precipitación es conveniente para obtener un mayor porcentaje de remoción.



Grafica 9. Comparativo resultados cadmio con la normatividad actual
Fuente: autor.

2.7.5. Cinc

Compuestos como el cinc son esenciales para los organismos vivos, aunque según (Romero, 2002) compuestos como este en concentraciones superiores a 2 mg/L se considera tóxico, el proceso de galvanizado según la tabla 12 supera dicho valor, posterior a las pruebas de laboratorio se puede obtener un porcentaje de remoción del 99,5%, esto de acuerdo a la precipitación química dada por el ajuste de pH.



Grafica 11. Comparativo de resultado CINC con la normatividad actual

Fuente: autor.

2.7.6. Cobre

El presente parámetro ha demostrado ser esencial para los organismos vivos, según (Romero, 2002) en concentraciones altas superiores a 2 mg/L es tóxico, en la medición del agua clarificada en laboratorio se obtuvo un resultado de <0,03 mg/L teniendo en cuenta este valor, se puede decir que hubo un porcentaje de remoción de 98,45% cumpliendo así con la normatividad actual.

2.7.7. Cromo

En el resultado obtenido en la clarificación del agua de laboratorio se obtuvo un valor <0,056, teniendo en cuenta este valor se puede afirmar que se presentó un porcentaje de remoción del 98,7% de este metal.

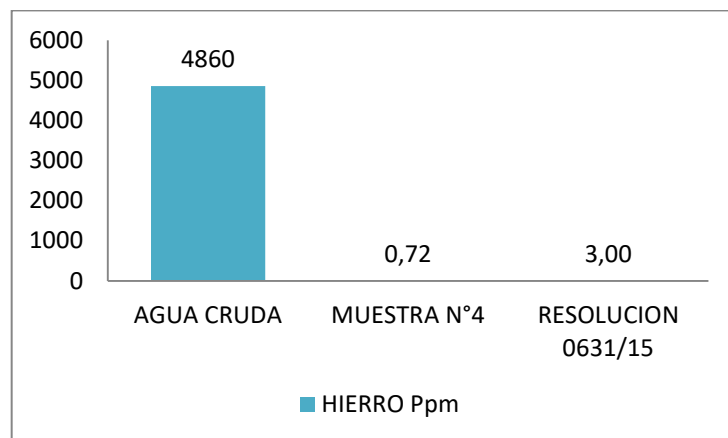
2.7.8. Estaño

De acuerdo al resultado obtenido en laboratorio, se observa que tanto para agua cruda sin tratamiento como para agua clarificada en laboratorio los valores obtenidos son <0,88, de esta

manera no se presenta un porcentaje de remoción, pero cabe afirmar que el agua cruda sin tratamiento cumple con la normatividad actual.

2.7.9. Hierro

El hierro demuestra ser uno de los parámetros de mayor importancia en el tratamiento del agua residual procedente del sector galvánico, dicho parámetro cuenta con una remoción del 99,9% en laboratorio, esto debido a la desestabilización del mismo de acuerdo al ajuste de pH dado al inicio en las pruebas de tratabilidad.



Grafica 12. Comparativo de resultado HIERRO con la normatividad actual
Fuente: autor.

2.7.10. Mercurio

Para obtener los valores de este parámetro, se realizó el análisis por medio de fotometría utilizando el método concentración mediante vapor frío.

Dados los resultados y teniendo en cuenta puede observar que los valores obtenidos tanto para agua cruda como agua tratada en laboratorio son los mismos, adicionalmente cabe afirmar que dichos valores se son menores a lo establecido en la norma.

2.7.11. Níquel

El control del níquel se realiza por medio del ajuste de pH la precipitación óptima ocurre en un pH superior de 9,5, de acuerdo al resultado obtenido en el agua clarificada en laboratorio se obtuvo <0,46 teniendo en cuenta este valor se puede decir que el porcentaje de remoción del 89%,

cumpliendo con la normatividad actual, pero cabe aclarar que demuestra ser un parámetro cerca del límite máximo permisible.

2.7.12. Plata

Los valores obtenidos en laboratorio tanto de agua cruda sin tratar como de agua clarificada en laboratorio son <0,028 ppm de esta manera no se obtiene un valor de remoción pero si cabe afirmar el cumplimiento a la norma del agua cruda sin tratar.

2.7.13. Plomo

En este parámetro no se obtiene un porcentaje de remoción ya que los valores obtenidos en el agua cruda sin tratamiento como en el agua clarificada en laboratorio son <0,1ppm de esta manera se puede afirmar el cumplimiento a la normatividad actual para el agua cruda sin tratamiento.

Los resultados obtenidos en el laboratorio de la universidad ECCI se encuentran adjunto a este documento

2.8 Otros parámetros para análisis y reporte

2.8.1. Acidez total

Para la determinación de la acidez total se utiliza el kit visocolor HE acidez AC 7, obteniendo así los resultados descritos en la tabla 12.

- **Método analítico para la determinación de acidez total**

Material	Método
kit visocolor HE acidez AC 7	<ul style="list-style-type: none">• se añade gota a gota una solución de valoración a un determinado volumen de solución de muestra. El producto activo en la solución de valoración reacciona con la sustancia a valorar en la muestra. Cuando la reacción se ha completado.• El punto en que la reacción se ha Completado (punto

	final o de equivalencia) se visualiza por el cambio de color del indicador añadido a la muestra ²⁰ .
--	---

Tabla 19. Método analítico para determinación de acidez total
Fuente: autor

2.8.2. Alcalinidad

Los valores obtenidos de alcalinidad se encuentran presentes en la tabla 12, adicionalmente se puede observar un aumento de la alcalinidad en el agua tratada en laboratorio debido a la dosificación de soda.

- **Método analítico para la determinación de alcalinidad**

Material	Método
Kit Alcalinidad (rango alto > 500 ppm)	➤ Para la determinación de la alcalinidad se debe tener en cuenta el pH de la muestra de agua a analizar, dependiendo si el pH es <4 se debe adicionar el reactivo # 1, de ser mayor se debe adicionar el reactivo 2, cada reactivo debe ser adicionado gota a gota hasta que el color cambie, para pH <4 el color cambiará de rosa a transparente y será multiplicado el número de gotas por una constante

²⁰ <http://www.ictsl.net/productos/instrumental/kitdeacidezac7visocolorvaloracionmn.html>

	<p>determinada por el proveedor.</p> <p>Para un pH mayor el color cambiará de verde a rojo, y el número de gotas deberá ser multiplicado por 25, valor determinado por el proveedor.</p>
--	--

Tabla 20. Método analítico para la determinación de alcalinidad
Fuente: autor.

2.8.3. Dureza cálcica

Para la obtención de la dureza cálcica se utilizó un kit visocolor para la determinación volumétrica de los iones de calcio, el método utilizado es la valoración complexométrica en solución muy alcalina.

Anexo a este documento se encuentran las instrucciones utilizadas para la obtención de los valores de este parámetro.

2.8.4. Dureza total

De acuerdo a los valores obtenidos en laboratorio se puede observar que no hubo remoción de la dureza, mas sin embargo estos valores indican que esta agua es de una dureza media.

- **Método analítico para la determinación de la dureza**

Material	Método
AquaDur® / AquaDur® tiras reactivas sensibles	Las tiras son sumergidas en la muestra de agua a analizar y luego son comparadas en la escala de colores.

Tabla 21. Método analítico para la determinación de la dureza
Fuente: autor.

2.8.5. Color

- **Método analítico para la determinación del color**

La determinación del color se realizó por medio de un equipo de fotometría in-situ.

2.9 Cálculo de volumen de lodos

Para la determinación del volumen de lodos luego de la floculación en el proceso de sedimentación se procede a determinar con ayuda de un cono Imhoff.

Luego de la clarificación en el agua se procede a dar un tiempo de sedimentación aproximadamente de 30 min con el objetivo que el lodo se compacte dentro de la misma, posteriormente se decide verter en el cono Imhoff la muestra de agua para observar con mayor detalle la cantidad de lodo generado (Cañas, 2005).

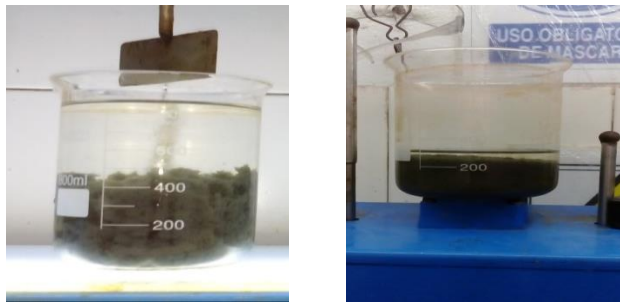


Foto 16. Sedimentación de lodo en pruebas de jarras

Fuente: autor



Foto 17. Medición del volumen del lodo generado

Fuente: autor.

Teniendo en cuenta el análisis anterior, el volumen de lodo generado fue de 200 ml en una jarra de 1000 ml, siendo este un porcentaje de 20%.

2.10. Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos y descritos anteriormente se puede afirmar que en cuanto al material orgánico presente en el agua, los valores obtenidos en las pruebas de tratabilidad dadas en laboratorio aunque actualmente cumplen con la normatividad, se encuentran cerca a los límites máximos permisibles según la resolución 0631 de 2015, es por esto que son parámetros que requieren de gran atención por ser de un aspecto ambiental significativo, de esta manera se hace necesario la implementación de un tren de filtración para eliminar trazas de estos contaminantes.

En cuanto al componente inorgánico en el agua y de acuerdo a los descrito en la tabla 12, se puede observar un valor menor a 0,56 ppm de arsénico tanto del agua cruda como del agua tratada en laboratorio, como se mencionó anteriormente estos valores son determinados por el método de espectrofotometría de adsorción atómica, los resultados obtenidos son el mínimo de lectura del equipo.

De esta manera y teniendo en cuenta lo anterior, el hierro es un componente esencial para la presencia de arsénico formando así arsenato As (V), esto hace que la coagulación sea llevado a cabo con éxito en la precipitación de hierro y posteriormente de arsenato (Wirth M., s.f). Como se identificó en la tabla 12, los valores de hierro presentes en el agua están en proporción a la cantidad de arsénico obtenida, de esta manera se puede afirmar que la remoción de hierro es proporcional a la remoción de arsénico, obteniendo así el cumplimiento a la norma.

Otros parámetros analizados de acuerdo a la norma, son la dureza, alcalinidad y color, aunque no exige un valor máximo, si indica que debe ser reportado ante la autoridad; los valores en cuanto a la dureza no demuestra ningún tipo de cambio, siendo los mismos en la entrada como en la muestra N° 4 luego de la clarificación, de esta manera el valor arrojado nos indica que es un agua moderadamente dura, esto no interfiere en el tratamiento químico.

En cuanto a la alcalinidad, según la tabla 12 se observa que en la muestra N° 4 tiene una concentración superior en el agua clarificada que al agua cruda del proceso, esto debido a la sobredosisificación de soda caustica realizada en laboratorio para la precipitación de metales.

CAPÍTULO III

3.1. Tratamiento de lodos

El lodo producido en los tratamientos primarios y secundarios debe ser tratado para reducir su volumen y peso. Los tratamientos que se deben dar a los lodos, dependerán de las características requeridas para que cumplan totalmente con los requisitos necesarios, ya sea para su reusó, revalorización (tratando en lo posible de recuperar su valor material) y darle un uso benéfico, utilizando para esto procedimientos viables de acuerdo a las características de los lodos generados en las industrias y a la disponibilidad de tecnología, los mismos que deben ser efectivos, fáciles de aplicar y que en lo posible no impliquen elevados costos²¹.

De esta manera y de acuerdo a las pruebas obtenidas en laboratorio se propone para el tratamiento de lodos un espesador y posteriormente un sistema de filtración a presión.

A continuación se realiza una descripción de los equipos anteriormente propuestos.

3.1.1. Espesado de lodos

El lodo proveniente del clarificador, tiene un alto contenido de agua que es necesario disminuir para reducir el volumen del lodo antes de continuar hacia el siguiente proceso, de esta manera de acuerdo al caudal y el porcentaje de lodos calculado en laboratorio se determinará el volumen del equipo y el tiempo de retención del mismo.

3.1.2. Filtración a presión

Es aplicable a casi todos los lodos, como lo describe su título la filtración es llevada a cabo mediante presión y la operación se realiza de forma discontinua.

El filtro consiste de platos, un medio filtrante y una estructura fija, el lodo es bombeado entre los platos que están cubiertos con un filtro de tela y el agua se escurre a través de la misma, dejando los sólidos entre los platos. Cuando los espacios entre los platos están llenos, estos son separados y los sólidos removidos.

²¹ <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html>

A medida que se va formando la torta, la presión se incrementa. Esta presión es limitada por las condiciones de operación del filtro, normalmente estos filtros están diseñados para operar en un rango de presión entre 340 y 1.600 psig (50 a 225 kg/m²) y un periodo de ciclo de entre 30 minutos y 2 horas. (Lipesa, 1998, p. 314).

Una de las ventajas de los filtro prensa es que pueden aceptar lodo con distinta capacidad de filtración. Es recomendable espesar el lodo antes de la operación en el filtro de prensado. Los filtros de prensa aceptan igualmente lodo con condiciones poco precisas para su filtrado. Esta tolerancia significa que el sistema presenta condiciones de operabilidad seguras y con pocos riesgos²².

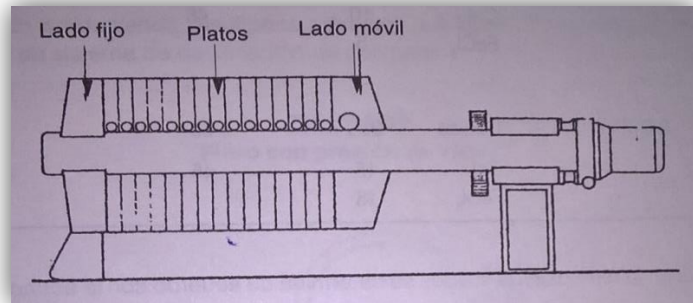


Imagen 6. Vista lateral de un filtro prensa.
Fuente: Lipesa, 1998.

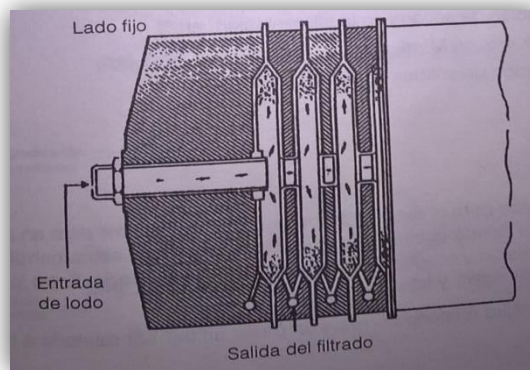


Imagen 7. Parte interna de un filtro prensa
Fuente: Lipesa, 1998.

²² <http://www.lenntech.es/filtro-de-prensa-para-lodos.htm>

CAPÍTULO IV

4.1. Cálculo de dosificación según pruebas de tratabilidad.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio se calcula matemáticamente la cantidad de producto químico que se debe adicionar al sistema de tratamiento teniendo en cuenta el caudal actual.

De esta manera es necesario tener en cuenta lo siguiente:

Según (Cortes, 2013) el cálculo para determinar las ppm y el consumo de producto es:

$$\text{Ppm} = \text{mg/L} \approx \text{gr/m}^3$$

$$\text{Ppm} = (\text{volumen de producto dosificado ml} / \text{volumen de la muestra}) * (\text{densidad del producto gr/cc}) * (1000\text{L} / 1\text{m}^3) * (\text{concentración del producto químico}) \approx \text{gr/m}^3$$

Se debe tener en cuenta que 1 gr de agua es igual a 1 ml de la misma y un kg de agua equivaldría a un 1lt en condiciones de temperatura ambiente.²³

Por lo anterior en la tabla 18 se presentan los resultados de dosificaciones obtenido en el laboratorio.

Datos	Dosis según pruebas en laboratorio
Caudal	2 m ³ /día
Soda caustica	20 ml
Acuaflok 1101	15 ml
Ácido sulfúrico	0,4 ml

Tabla 22. Dosis actuales en laboratorio

Fuente: autor.

²³ <http://www.laenergiadelcambio.com/cuanto-pesa-el-agua>

4.1.2. Cantidad de consumo de producto según concentración.

A continuación se evidencia las ppm puras como las preparadas en laboratorio:

Productos	Concentración de preparación	Ppm producto preparado	Ppm producto puro
Soda cáustica	95%	75000 ppm	71250
Acuaflok 1101	0,1%	45000 ppm	45
Ácido sulfúrico	0,33%	1800 ppm	594

Tabla 23. Calculo de ppm reales en pruebas de tratabilidad.

Fuente: autor.

Ppm = partes por millón

CAPÍTULO V

5.1. Metodología de diseño de la planta de tratamiento de agua residual

De acuerdo a los análisis de los capítulos anteriormente descritos, en el presente capítulo se dará a conocer el método propuesto para el tratamiento y los equipos empleados, así mismo la determinación del presupuesto.

El método a emplear será por batch, ya que el caudal a manejar es de 2 m³/día, según este método las aguas residuales pueden ser almacenadas durante un periodo de tiempo y al final ser tratado mediante el uso de reactivos, es un método económico en este tipo de instalaciones²⁴.

Teniendo en cuenta lo anterior las aguas residuales serán transportada a un tanque de almacenamiento quien alimentara el sistema, posteriormente el agua será transportada por una bomba centrífuga a un floculador estático, donde se encontrara con una dosificación en línea de soda cáustica, tras su dosificación un potenciómetro en línea mostrará el pH actual y enviará una señal de dosificación mayor o menor a la bomba en caso de no ser alcalino, ya que para la precipitación de metales el pH debe llegar a 12, esto determinado según las pruebas en laboratorio.

²⁴ <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=4176>

Luego el agua pasara por una dosificación de polímero (Acuaflock 1101), posteriormente el agua será transportada a un tanque donde mantendrá una mezcla lenta de 20 rpm (revoluciones por minuto) por 20 min y un tiempo de reposo de 2 horas.

Pasadas las dos horas por medio de un temporizador una bomba centrífuga enviará el agua clarificada a un floculador estático, el flujo de agua se encontrará con una dosificación de ácido sulfúrico, después de esta dosificación se encontrará un potenciómetro en línea el cual mostrará el pH actual del líquido, este deberá ser neutro, en caso de no ser así, enviara una señal a la bomba dosificadora.

Luego el agua será transportada hacia un tren de filtración, el cual cuenta con dos filtros ubicados en serie, el primero contará con grava y arena el cual eliminara trazas de sólidos en suspensión que hayan quedado en el agua tras su tratamiento, y el segundo de carbón activado con el objetivo de disminuir la cantidad de compuestos orgánicos.

El manejo de los lodos provenientes del tanque clarificador será de la siguiente manera:

Luego de pasadas las 2 horas en las cuales se efectuará la sedimentación y la bomba centrífuga enviará el agua clarificada a otra parte del tratamiento, tan pronto el agua haya sido enviada en su totalidad, por medio de una bomba neumática se evacuarán los lodos, el volumen aproximado según las pruebas en laboratorio será de 400 Litros, los cuales serán movidos a un tanque de 500 Litros, contarán con una adición de polímero con el objetivo de compactar el lodo, adicionalmente tendrán una agitación de 20 min.

Pasados los 20 minutos, el lodo será enviado al filtro prensa con el objetivo de reducir su volumen y el agua aun presente en el mismo, el filtro prensa cuenta con una capacidad de comprensión 60%, el agua removida del lodo será enviada a cabeza del proceso.

Teniendo en cuenta la anterior descripción a continuación se presenta un esquema con el objetivo de hacer más claro el proceso de tratamiento, posteriormente se describirá cada uno de los equipos y materiales a utilizar teniendo en cuenta sus capacidades y manejos técnicos de los mismos

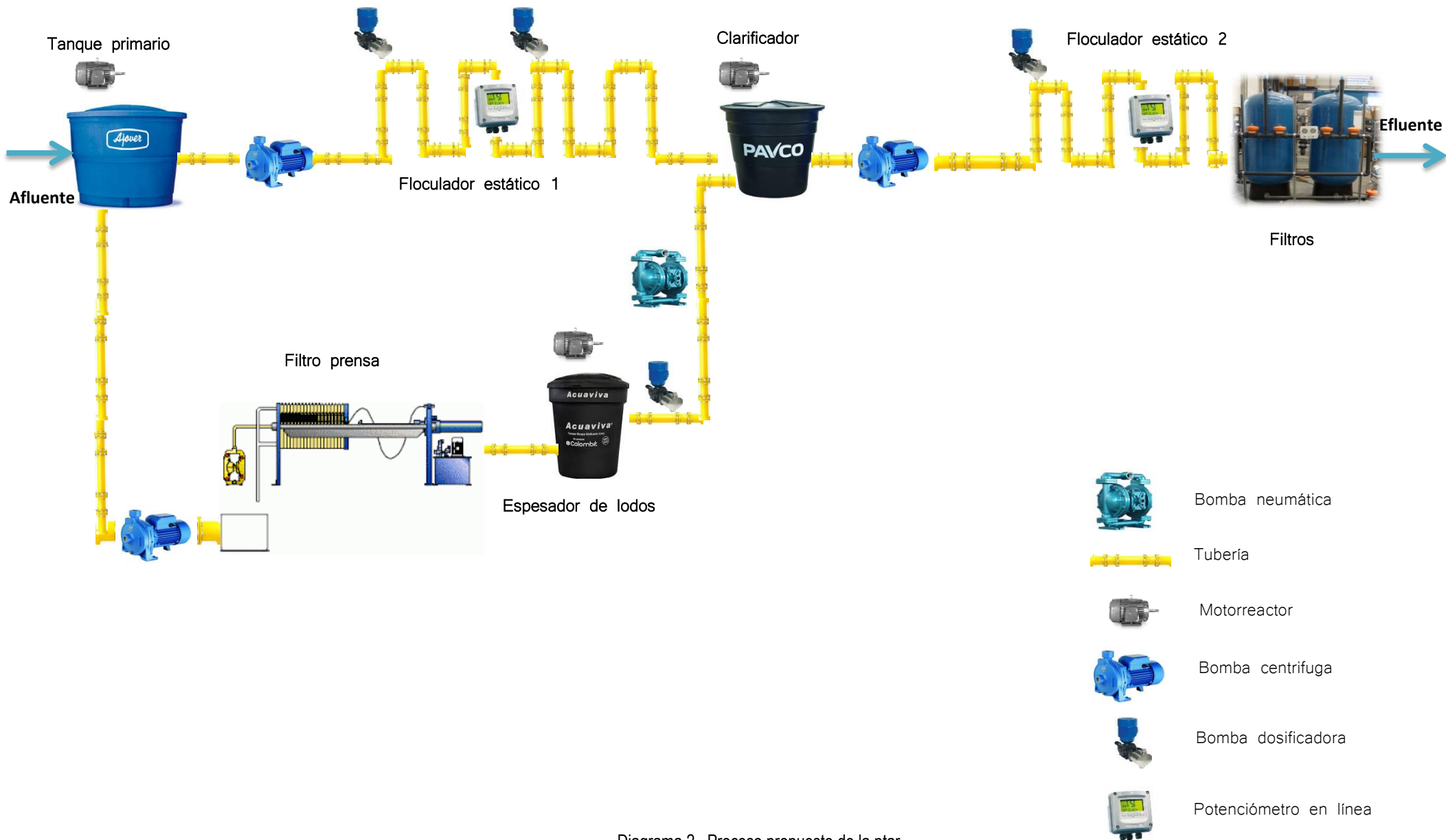


Diagrama 2. Proceso propuesto de la ptar
Fuente: autor.

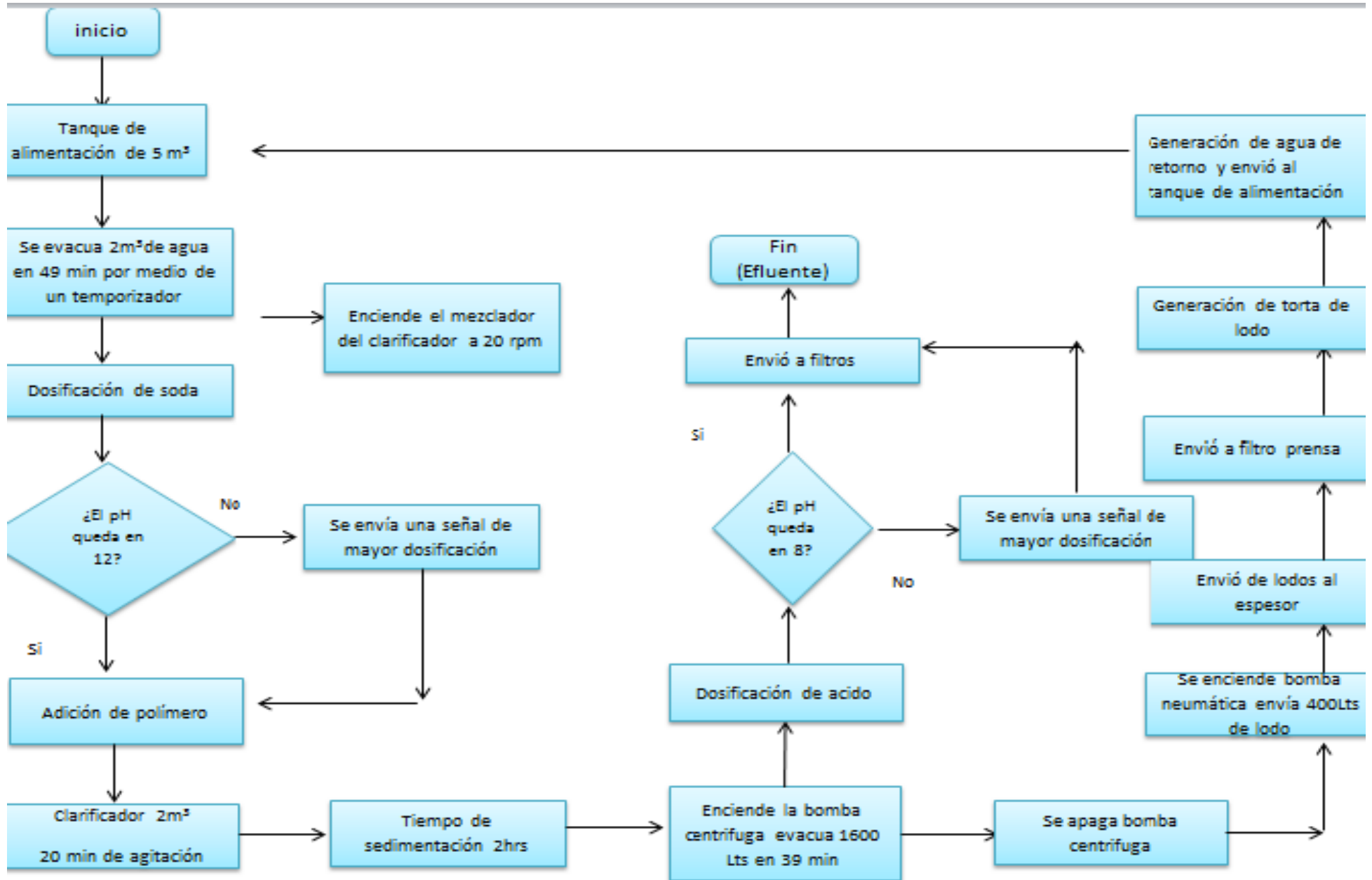


Diagrama 3. Diagrama de proceso de la ptar
Fuente: autor.

5.2. Descripción de equipos y cálculo de diseño

5.2.1. Tanque primario

El agua de los lavados llegara al tanque primario por un sistema de bombeo que actualmente maneja la empresa, de acuerdo al caudal a tratar que en este caso es de 1,086 m³, se debe tener en cuenta el retorno de agua proveniente del filtro prensa este retorno será de 0,24 m³ aproximadamente, adicionalmente en caso de una contingencia y entendiendo que el sistema funcionara por batch se propone un tanque primario de 5 m³, este tanque contará con un motorreactor quien mantendrá una mezcla homogénea y en constante agitación tras la puesta en marcha del tratamiento.

Por lo anterior y de acuerdo al tratamiento que se desea proponer, el manejo del caudal será de 2 m³día esto por dictaminado por las siguientes razones.

- Debido a que el caudal a tratar es poco, el sistema se maneja por batch.
- El sistema de filtración a presión cuenta con un retorno del 60% de la compactación total del volumen de lodo generado, esto quiere decir que aproximadamente 0,24 m³ serán devueltos a cabeza de proceso²⁵.



Imagen 8. Tanque primario
Fuente: <http://www.abacol.co/agua.html>

²⁵ <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=4176>

El agua será transportada por medio de tubería pvc con un diámetro de 1" ½ durante todo el tratamiento, contara con un temporizador el cual estará encargado de enviar la señal a la bomba centrifuga indicando que el volumen a tratar será de 2 m³.

- Bomba centrifuga



Imagen 9. Bomba centrifuga de alimentación

Fuente: <http://www.pedrollo.com.co/es/productos/superficie-3/centrifugas-38>

La primera bomba del proceso de la planta será de ½ caballo de fuerza, contará con un caudal máximo de 2400 Lts/hr según las especificaciones técnicas del proveedor, adicional a esto como se mencionó anteriormente contará con un temporizador el cual tendrá la función de enviar 2 m³ de agua a tratar al sistema, de esta manera el tiempo estimado para la evacuación del volumen a tratar es calculado de la siguiente manera:

Capacidad máx. De la bomba = 2400 lts/hr

Volumen de agua a tratar = 2000 lts

$$x = \frac{2000 \text{ lts} * 1 \text{ hr}}{2400 \text{ lts}} = 0,83 \text{ hr}$$

Es necesario convertir las horas a minutos, de esta manera se obtiene lo siguiente:

$$x = \frac{0,83 \text{ hr} * 60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} = 49,8 \text{ min}$$

De esta manera el temporizador funcionara durante 49 minutos enviando al sistema 2 m³.

Tan pronto encienda la bomba de alimentación, el agitador del clarificador también se encenderá.

5.2.2. Floculador estático 1

El agua será transportada por la bomba descrita anteriormente hacia un floculador estático el podrá operar colocado en la pared, con el objetivo de disminuir el espacio utilizado en la pta y generar mezcla rápida, este equipo estará ubicado a una altura de 2 metros, el material de este equipo será en tubería pvc y su diámetro será de 1" ½ contara con las siguientes características:

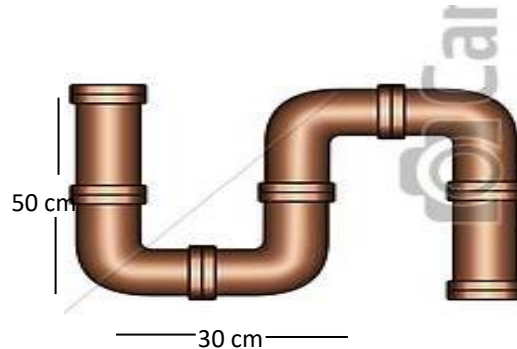


Imagen 10. Floculador estático

Fuente: <http://www.canstockphoto.es/cobre-tuber%C3%ADa-guarniciones-3d-carta-s-10393931.html>

El floculador tendrá una longitud total de 2,1 m, en la primera curva se hará la dosificación de soda, posteriormente luego de 2 curvas se ubicara el potenciómetro en línea con el objetivo de obtener un pH 12, luego de esto se hará la dosificación de polímero.

- Bombas dosificadoras



Imagen 11. Bomba dosificadora

Fuente: <http://www.jcpsupplies.com/productos/bombas/bombas-dosificadoras/>

Las especificaciones técnicas de la bomba son las siguientes:

Modelo seleccionado	LPD4
Amplitud de succión	100%
Velocidad De succión	100%
Capacidad de salida	21 GPD
Flujo deseado	15 GPD
Ajuste velocidad de succión al 80%	
Capacidad de salida	$0.80 * 21 = 16.8$ GPD

Tabla 24. Especificaciones técnicas de la bomba dosificadora
Fuente: http://pulsatron.salesmrc.com/pdfs/pulsatron_series_iom_pt.pdf

GPD = Galones por día

De acuerdo al diagrama 2 se propone dos bombas dosificadoras en la primera etapa del proceso, la primera para la dosificación de soda y la segunda para la dosificación de polímero, de esta manera se deben calcular la cantidad de gramos a dosificar de acuerdo a las ppm obtenidas en laboratorio.

Según (Cortes, 2013) Para determinar la cantidad de gramos de producto por periodo de tiempo se realiza el siguiente cálculo:

$\text{Ppm puras} * \text{caudal} = \text{dosificación del producto}$

$\text{Gr/m}^3 * \text{m}^3/\text{min} = \text{gr de producto}/\text{min}$

Datos	Dosis para el sistema
Caudal	0,040 m ³ /min
Soda cáustica	2850 gr/min \approx 3000 ml/min
Acuaflock 1102	1,8 gr/min \approx 1,8 ml/min

Tabla 25. Cantidad de producto químico a dosificar en la primera etapa
Fuente: autor.

Teniendo en cuenta lo anterior se deben instalar dos canecas para la preparación de los productos químicos, tanto de soda como de polímero, cada caneca deberá tener un motorreactor con el objetivo de mantener una mezcla homogénea y evitar que el polímero precipite en coágulos.

El producto químico será dosificado directamente a la tubería con una manguera de 3/8".



Imagen 12. Manguera para dosificación de producto químico

Fuente: http://polmangueras.com/index.php?main_page=index&cPath=102_105

- Potenciómetro en línea

Es un sistema modular para una red de sensores completa ideal para diversas necesidades de instalación. El modular sistema puede aceptar sensores adicionales fácilmente, este es un sistema de gran alcance para continuamente medir los parámetros de calidad del agua en cualquier parte una instalación para el control de procesos



Imagen 13. IQ sensor Net 182

Fuente: www.wtw.com



Imagen 14. SensoLyt® 700 IQ
Fuente: www.wtw.com

En la imagen 14 se puede observar la Sonda para medición de pH y potencial Redox para ser integrada al sistema multiparamétrico IQ, este modelo cuenta con todas las partes húmedas son de titanio y plástico y por lo tanto son extremadamente resistentes a la corrosión. 700 IQ - armadura de pH / ORP digital con preamplificador integrado y sensor de electrodo es rápido y sin complicaciones²⁶.

La ficha técnica de este equipo se encuentra anexa al presente documento.

5.2.3. Clarificador

En esta parte del proceso se ubicará un tanque de 2 m³ adicionalmente contará con un motorreactor con el fin de generar una mezcla lenta de 20 rpm por 20 minutos, este equipo tendrá un tiempo de retención de 2 horas.

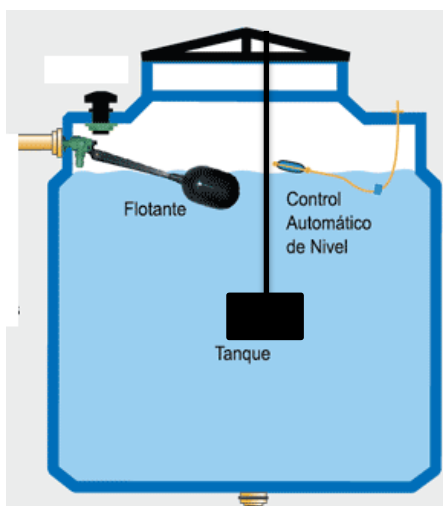


Imagen 15. Tanque clarificador
Fuente: www.conmixargentina.com

²⁶ www.wtw.com

Tras pasadas las dos horas, por medio de un temporizador, la bomba dosificadora empezará a evacuar el agua clarificada al siguiente proceso, tan pronto se efectue este paso, la bomba centrífuga se apagará automáticamente y de esta manera se procederá a encender la bomba neumática evacuando los lodos procedentes de la sedimentación.

Cada bomba contará con un sensor de nivel, para que la bomba se encienda y apague automáticamente, la bomba centrífuga evacuará 1600 litros de agua clarificada, esta bomba será de una capacidad de ½ caballo de fuerza, contando con las mismas especificaciones de la imagen 9.

Para conocer el tiempo que se gastaría la bomba centrífuga en mover el agua clarificada se procede a realizar la siguiente operación:

Capacidad máx. De la bomba = 2400 litros /hora

Volumen de agua a evacuar = 1600 litros

$$x = \frac{1600 \text{ lts} * 1 \text{ hr}}{2400 \text{ lts}} = 0,66 \text{ hr}$$

Es necesario convertir las horas a minutos, de esta manera se obtiene lo siguiente:

$$x = \frac{0,66 \text{ hr} * 60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} = 39,6 \text{ min}$$

- Bomba neumática

Tan pronto la bomba centrífuga envíe el agua clarificada en los 39 minutos, se encenderá la bomba neumática evacuando los lodos, estos serán enviados al espesador.



Imagen 16. Bomba neumática
Fuente: www.directindustry.es.

A continuación se describen las especificaciones técnicas:

Caudal	170 l/min
Presión Max	8,3 bar 120 psi
Tubería entrada	1"
Tubería de salida	1"
Material	Propileo

Tabla 26. Especificaciones técnicas bomba neumática
Fuente: <http://www.cramix.com/pdf/bombas-de-diafragma-01.pdf>

De acuerdo a las anteriores especificaciones se deberá efectuar una reducción de la tubería a su paso por la bomba neumática de 1" ½ a 1".

5.2.4. Floculador estático 2

El agua proveniente del clarificador es movida por la bomba centrífuga, enviando así 1600 litros en 39 minutos, Este equipo tendrá las mismas especificaciones descritas en el floculador 1 y la imagen 10, tendrá una longitud de 1,5 m, en la primera vuelta del flocular se encontrará la dosificación de ácido sulfúrico, posteriormente se ubicará un potenciómetro en línea con el fin de mantener un pH 8, las características de este equipo se encuentran descritas en la floculador estático 1.

Se debe calcular la cantidad de gramos a dosificar de acuerdo a las ppm obtenidas en laboratorio.

Para determinar la cantidad de gramos de producto por periodo de tiempo según (Cortes, 2013) se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{Ppm puras} * \text{caudal} = \text{dosificación del producto}$$
$$\text{Gr/m}^3 * \text{m}^3/\text{min} = \text{gr de producto/día}$$

Datos	Dosis para el sistema
Caudal	0,041 m ³ /min
Ácido sulfúrico	24 gr/min ≈ 24 ml/min

Tabla 27. Dosificación de ácido sulfúrico
Fuente: autor

El producto químico será dosificado directamente a la tubería con una manguera de 3/8" de igual manera como se mencionó en el floculador 1.

5.2.5. Filtros

El agua luego de pasar por la clarificación y la dosis de ácido para obtener un pH neutro, será enviada a un tren de filtración en serie, de manera que se puedan remover los sólidos suspendidos que hayan quedado presentes luego de la sedimentación.

El primer filtro contará con un lecho de medio granulares siendo estos grava y arena, en estos filtros el agua fluye de manera que las propiedades del medio causan que el agua tome caminos erráticos y largos trayectos lo cual incrementa la probabilidad de que el sólido tenga contacto con otras partículas suspendidas, y con el medio formado en la superficie del gránulo de grava o arena, siendo de esta manera retenido entre el material filtrante²⁷.

El segundo filtro será de carbón activado con el fin de eliminar trazas de material orgánico, La activación del carbón produce una excelente superficie de filtración y le permite al carbón activado tener una gran capacidad de absorción de impurezas del agua. La absorción es el

²⁷ <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>

proceso mediante el cual la materia se adhiere a la superficie de un absorbente, en este caso el carbón activado²⁸.

- Especificaciones técnicas de los filtros



Imagen 17. Filtros

Fuente: <http://es.hayward-pool.com/shop/es/pools/pro-series-a-fspros--1>

Área de filtración	0,099 m ²
Diseño tasa de flujo	94,5 Litros/minuto
Dimensión ancho	36,83 cm
Dimensión alto	81,28 cm
Peso de lecho filtrante	25 kg

Tabla 28. Especificaciones técnicas filtros

Fuente: <http://es.hayward-pool.com/shop/es/pools/pro-series-a-fspros--1>

5.2.6. Espesado de lodos

Luego de la evacuación de los lodos provenientes de la sedimentación en el tanque de clarificación, son movidos a una tanque de 500 litros, ya que el 20% del caudal a tratar son lodos, de esta manera se dosificará nuevamente polímero para hacer el lodo más compacto.

²⁸ <http://www.solucionesparaagua.com.mx/Productos/FCarbonActivado.php>

Los polímeros son eficientes como acondicionar de lodos favoreciendo la aglomeración; en laboratorio se determinó la eficiencia de la dosis del polímero como acondicionador de lodos observando en jarras la mejora del floc.

El ensayo consistió en una adición de diferentes dosis (1 a 6 ml) sobre un volumen de lodo de 500 ml y con una agitación constante de 20 rpm durante 20 min.

Se pudo observar que la dosis favorable para la compactación del lodos es de 3 ml, de esta manera nuevamente se procede a realizar el cálculo de las ppm a dosificar en el sistema.

Productos	Concentración de preparación	Ppm producto preparado	Ppm producto puro
Acuaflok 1101	0,1%	7200 ppm	7,2 ppm

Tabla 29. Calculo de ppm de polímero para el espesamiento de lodos

Fuente: autor.

Para determinar la cantidad de gramos de producto por periodo de tiempo se realiza el siguiente cálculo:

$\text{Ppm puras} * \text{caudal de la bomba neumática} = \text{dosificación del producto}$

$\text{Gr/m}^3 * \text{m}^3/\text{min} = \text{gr de producto}/\text{min}$

Datos	Dosis para el sistema
Caudal de la bomba neumática	0,17 m ³ /min
Acuaflok 1101	1,224 gr/min ≈ 1,224 ml/min

Tabla 30. Dosis de polímero para el espesamiento de lodos

Fuente: autor.

En el tanque de espesador de lodos se manejará una mezcla lenta de 20 rpm por un tiempo de 20 minutos, luego estará en reposo durante un tiempo de retención de 2 horas.

La bomba que alimentara el espesador será una bomba neumática la cual tendrá las mismas especificaciones descritas en la tabla 26.

5.2.7. Filtro prensa

Los sólidos son bombeados al filtro prensa a una presión de 700 kPa, forzando el líquido a través de un medio filtrante y dejando una torta de sólidos atrapada entre las telas de filtración que cubren las placas huecas. El filtrado drena por medio de los conductos internos y se descarga por el extremo de la prensa. Al final, las placas operan y la torta cae por gravedad.

Actualmente Deralam S.A cuenta con un filtro prensa y cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

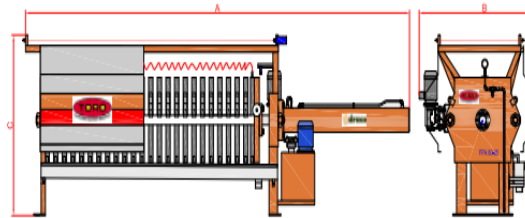


Imagen 18. Filtro prensa

Fuente: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/190001/FP-Draco-Toro-Equipment-Especificaciones-Te--769-cnicas-WEB.pdf

Modelo	FPA 47/
N° de placas	5
N° de cámaras	4
Longitud A (mm)	1.300
Longitud B (mm)	1.120
Altura C (mm)	1.270
Peso en vacío (kg)	630
Peso en carga Max (kg)	680
Superficie filtrante total (m ²)	1,4
Espesor de torta (mm)	30
Volumen total de la torta (l)	19
Tamaño de placas y telas	470
Caudal bomba (cm ³ /ciclo)	25
Volumen de depósito (l)	5

Tabla 31. Especificaciones técnicas del filtro prensa

Fuente: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/190001/FP-Draco-Toro-Equipment-Especificaciones-Te--769-cnicas-WEB.pdf

De acuerdo a lo descrito en el presente capítulo, es necesario tener en cuenta lo siguiente:

Área total de la planta	Tiempo total de tratamiento
10 m ²	8 horas aproximadamente.

Tabla 32. Área total y tiempo del tratamiento
Fuente: autor.

De acuerdo al caudal a tratar y a las especificaciones descritas para el tratamiento, la planta de tratamiento será una planta compacta, con una capacidad para realizar 2 tratamientos al día o por cada turno de trabajo.

5.3. Automatización de la planta de aguas residuales

Para la automatización de la planta es necesario que exista un control de arranque en secuencia, de esta manera los motores se conectan de tal forma que no pueda arrancar hasta que haya un mando externo o un control de usuario. Esto significa que en los sistemas de control de motores no puede iniciar hasta que el otro no haya terminado el proceso anterior, de esta manera el diseño de la planta de Deralam S.A, depende de un tiempo anterior, es decir deben arrancar en una determinada secuencia.

Para el sistema secuencia del diseño de la planta de tratamiento de Deralam S.A, se realiza utilizando un control secuencial programado en un PLC LOGO, para realizar las rutinas de control de procesos para las etapas de potencia se van a utilizar relevos electromecánicos y relevos térmicos para controlar cada una de las bombas. Las señales que darán arranque a las bombas dependerá de los sensores que interactúan con el PLC (controlador lógico programable).

Los dispositivos de control son los siguientes:

Cantidad	Dispositivo	Descripción
2	Medidor de pH electrónico	Control de pH en dos procesos
2	Válvulas diferenciales	Control de químicos
3	Flotador electrónico	Control del llenado de tanques
1	PLC-logo	Controlador lógico programable
7	Relés electromecánicos	Control de motores
7	Relés térmicos	Control de motores

Tabla 33. Dispositivos para la automatización de la planta
Fuente: autor.

Control de procesos:

- Por medio de un pulsador (start) se realizará el llenado del tanque primario mediante una bomba (1) centrífuga, hasta que el flotador envíe la señal de llenado a una capacidad de 5m^3 , en ese momento se apagará la bomba (1), este tanque contará con un motor (1) el cual mantendrá la mezcla en agitación y homogénea.
- Posteriormente se encenderá la bomba (2) centrífuga, la cual durante 49 min enviará 2m^2 al tanque clarificador pasando primero por una inyección de químicos, adicionalmente habrá un medidor de pH el cual verificará que el agua tenga un pH de 12, de no presentar este pH, se enviará la señal al PLC el cual estará controlando la inyección de soda cáustica con una señal PWM, variando la apertura de la bomba la cual es directamente proporcional a la cantidad de soda a dosificar en el sistema, a su vez el PLC enviará una señal de apagado a la bomba (2) cuando se cumpla el tiempo establecido, encendiendo el motor (2) de agitación del tanque clarificador durante 20 minutos.
- Luego de los 20 minutos el sistema estará en reposo durante 2 horas, durante este tiempo se ejecutará la sedimentación, al transcurrir este tiempo, el PLC enviará una señal encendido a la bomba (3) centrífuga, con el fin de retirar del tanque la parte clarificada, 1600 litros de agua en 39 minutos serán evacuados a la siguiente parte del sistema, pasaran a través del segundo floculador estático donde se dosificará ácido con el fin de tener un pH neutro, de esta manera de no presentarse un pH neutro, se encenderá la electroválvula diferencial, disminuyendo o aumentando la cantidad de dosificación de ácido, luego del paso por la inyección de ácido pasaran a través de los filtros donde finalmente podrán ser enviados al alcantarillado.
- Posteriormente se encenderá la bomba (4) neumática, la cual enviará el lodo a un tanque espesador el cual contará con una adición de polímero y un tiempo de sedimentación de 2 horas donde posteriormente se enviará este lodo al filtro prensa, luego de terminado este proceso se podrá iniciar un nuevo ciclo y empezar un nuevo tratamiento.

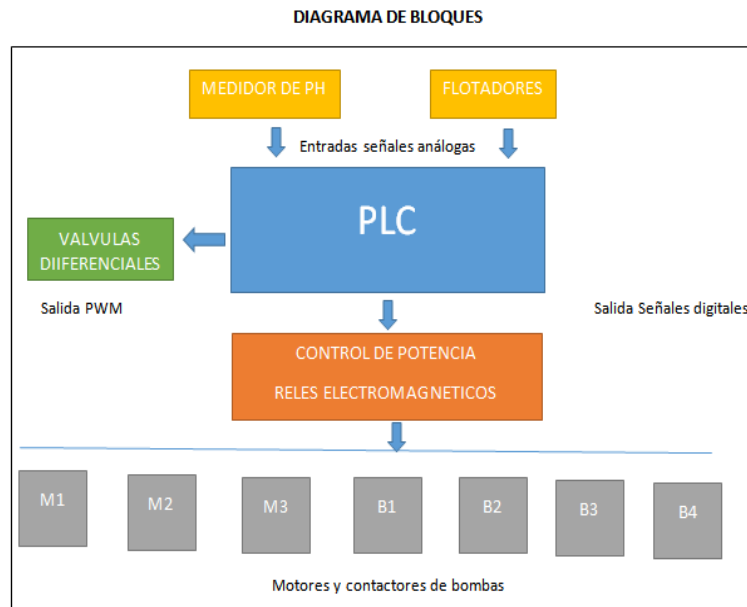


Diagrama 4. Diagrama de bloques
Fuente: autor.

5.3.1. Contactores

Si el receptor que tiene que gobernar el relé tiene un consumo elevado, éste tiene que tener unas características especiales para soportar los altos valores del receptor (Intensidad, Potencia, tensión etc.), en este caso ya no se habla de relé, se refiere a un contactor.

Un contactor es de constitución parecida a la del relé pero tiene la capacidad de soportar grandes cargas en sus contactos principales, aunque la tensión de alimentación de su bobina sea pequeña. Principalmente consta de 10 bornas de conexión (esto variará según modelo y marca):

- para la alimentación de la bobina.
- para un contacto abierto o cerrado usado en el circuito de control (contacto auxiliar). Este contacto se puede suplementar con bloques específicos de contactos que se asocian físicamente al contactor; pueden ser NC-NC; NC-NO-NO-NC; NO-NO, etc.
- para la conmutación de las líneas de potencia (Contactos principales).

La representación del contactor es una bobina (mando electromagnético) con las siglas KM n°, donde “M” indica principal y “n°”, el número que conlleva dentro del esquema, por ejemplo KM 3 indica que es un contactor principal número 3 (se entiende que en el esquema habrá otros contactores KM 1 y KM 2). La numeración de sus contactos es diferenciada en dos aspectos; los que son utilizados para señales de mando (tipo relé) se numeran como se indicó anteriormente, y

los contactos que representan “la potencia” o alimentación de receptores se numeran del 1 al 6 según el esquema. Donde se aprecia claramente cuáles son los contactos de potencia y cuales los de mando (Arjona, 2013). En la imagen 19 se observa el grosor de las líneas de potencia.

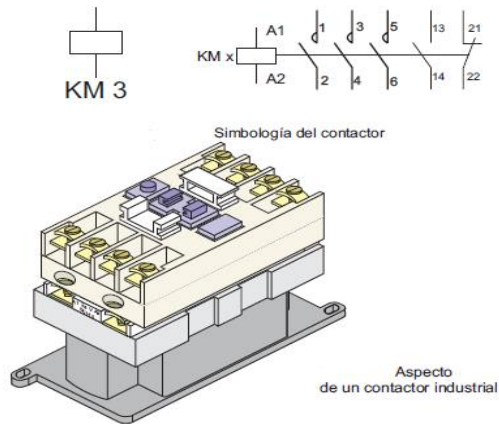


Imagen 19. Contactor industrial
Fuente: www.aulaelectronica.es

CAPÍTULO VI

6.1. Presupuesto

De acuerdo a lo descrito en el capítulo 5, a continuación se presentan los costos evaluados para el diseño de la planta.

6.2. Costos de disposición actual en la organización

Como se ha mencionado anteriormente Deralam S.A dispone sus aguas residuales con un gestor autorizado, de esta manera se calcula el costo mensual de disposición de líquido.

Volumen litros /mes = caudal litros/día * 30

Volumen en litros/mes a disponer	Precio por Kg (Kg/\$)	Total \$ / mes	Total \$/ anual
32580	710	23.131.800	277.581.600

Tabla 34. Costos de disposición actual
Fuente: autor.

6.2. Costos de operación

6.2.1. Costos del tratamiento químico

Según (Cortes, 2013) determinadas las ppm puras del producto se dispone a calcular los costos del producto por medio de la siguiente formula:

Se debe convertir las ppm de gr/m³ a kg/m³.

Posteriormente,

kg por día = kg/m³ * caudal (m³/día)

Consumo mes en kg = kg por día * 30 días.

Productos	Precio por Kg (Kg/\$)	Consumo mes Kg	Precio total \$ IVA incluido
Soda cáustica	900	4275	3.847.500
Acuaflok 1101	16.000	3,13	50.112
Ácido sulfúrico	800	36	28.512
Total			3.926.124
Total anual			47.113.488

Tabla 35. Costos del tratamiento químico

Fuente: autor.

El consumo mensual del polímero acuaflock 1102 es la suma de las ppm puras de la dosificación en el floculador estático y el espesador de lodos.

6.2.2. Costos del volumen de lodos a disponer

De acuerdo a las especificaciones del filtro prensa el volumen de la torta generada es de 19 litros, de esta manera se decide calcular los costos de disposición de la siguiente manera:

Volumen de lodo litros/mes = volumen de la torta *30

Volumen de lodo litros/mes	Precio por Kg (Kg/\$)	Precio total \$/mes
570	710	404.700

Tabla 346. Costos del volumen de lodos a dispones

Fuente: autor.

Costos mantenimiento preventivo

Con el fin de mantener un buen funcionamiento de la operación es necesario realizar un mantenimiento y revisión del sistema, a continuación se presenta una descripción de este ítem.

Costo de la revisión \$	Total de revisiones por año	Costo total \$/año
200.000	4	800.000

Tabla 37. Costos de mantenimiento
Fuente: autor.

6.3. Presupuesto

De acuerdo a las características y equipos establecidos para el diseño se efectúa el costo de cada uno de los mismos detalladamente, a continuación se presenta la tabla 38 con la descripción de cada uno de los materiales necesarios.

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario iva incluido	Valor total
1.	Tanque primario				
1.1	Bomba centrífuga	Unidad	1	\$ 195.000,00	\$ 195.000,00
1.2	Tubería 1" 1/2	m	15	\$ 27.900,00	\$ 418.500,00
1.3	Codo 90°	Unidad	2	\$ 5.900,00	\$ 11.800,00
1.4	Tanque 5000 Lts	Lts	1	\$ 1.420.000,00	\$ 1.420.000,00
1.5	Válvulas rosca 3/4"	Unidad	2	\$ 28.900,00	\$ 57.800,00
1.6	Moto reactor	Unidad	1	\$ 1.300.000,00	\$ 1.300.000,00
1.7	Temporizador	Unidad	1	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00
1.8	Flotador	Unidad	1	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
1.9	Mano de obra	labor	-	\$ 1.465.240,00	\$ 1.465.240,00
1.10	Subtotal				\$ 5.128.340,00
2.	Floculador estatico 1				
2.1	Bomba dosificadora	Unidad	2	\$ 750.000,00	\$ 1.500.000,00
2.2	Tubería 1" 1/2	m	20	\$ 27.900,00	\$ 558.000,00
2.3	abrazaderas	Unidad	14	\$ 2.300,00	\$ 32.200,00
2.4	Codo 90°	Unidad	14	\$ 5.900,00	\$ 82.600,00
2.5	tanque 200 Lts	Unidad	2	\$ 120.000,00	\$ 240.000,00
2.6	Válvulas rosca 3/4"	Unidad	2	\$ 28.900,00	\$ 57.800,00
2.8	Potenciómetro en línea	Unidad	1	\$12.000.000,00	\$12.000.000,00
2.9.	soldadura para tuberías	gal	1/4	\$ 63.900,00	\$ 63.900,00
2.10.	Manguera 3/8	m	15	\$ 35.000,00	\$ 525.000,00
2.11.	Uniones	Unidad	10	\$ 1.050,00	\$ 10.500,00
2.12.	Mano de obra	labor	-	\$ 2.263.800,00	\$ 2.263.800,00
2.13.	Subtotal				\$17.333.800,00

3.	Clarificador					
3.1.	Bomba centrífuga	Unidad	1	\$ 195.000,00	\$ 195.000,00	
3.2.	Tubería 1" 1/2	m	8	\$ 27.900,00	\$ 223.200,00	
3.3.	Codo 90°	Unidad	4	\$ 5.900,00	\$ 23.600,00	
3.4.	Tanque 2000 Lts	Unidad	1	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00	
3.5.	Válvulas rosca 3/4"	Unidad	2	\$ 28.900,00	\$ 57.800,00	
3.6.	Moto reactor	Unidad	1	\$ 1.300.000,00	\$ 1.300.000,00	
3.7.	Flotador	Unidad	2	\$ 40.000,00	\$ 80.000,00	
3.8.	Bomba neumática	Unidad	1	\$ 1.100.000,00	\$ 1.100.000,00	
3.9.	Temporizador	Unidad	1	\$ 220.000,00	\$ 220.000,00	
3.10.	Mano de obra	labor		\$ 1.519.840,00	\$ 1.519.840,00	
3.11.	Subtotal				\$ 5.319.440,00	
4.	Floculador estatico 2					
4.1.	Bomba dosificadora	Unidad	1	\$ 750.000,00	\$ 750.000,00	
4.2.	Tubería 1" 1/2	m	5	\$ 27.900,00	\$ 139.500,00	
4.3.	Uniones	Unidad	10	\$ 1.050,00	\$ 10.500,00	
4.4.	Codo 90°	Unidad	12	\$ 5.900,00	\$ 70.800,00	
4.5.	Caneca 200 Lts	Unidad	1	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00	
4.6.	Válvulas rosca 3/4"	Unidad	1	\$ 28.900,00	\$ 28.900,00	
4.7.	Potenciómetro en línea	Unidad	1	\$ 12.000.000,00	\$ 12.000.000,00	
4.8.	Manguera 3/8	m	2	\$ 35.000,00	\$ 70.000,00	
4.9.	Mano de obra	labor	-	\$ 463.680,00	\$ 463.680,00	
4.10.	Subtotal				\$ 13.633.380,00	
5.	Filtros					
5.1.	Tubería 1" 1/2 (mt)	m	5	\$ 34.000,00	\$ 170.000,00	
5.2.	Filtro de arena	Unidad	1	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00	
5.3.	Filtro de carbón activado	Unidad	1	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00	
5.4.	Lecho filtrante de arena	kg	13	\$ 19.000,00	\$ 247.000,00	
5.5.	Lecho filtrante de grava	kg	13	\$ 19.000,00	\$ 247.000,00	
5.6.	Lecho filtrante de carbon	kg	25	\$ 19.000,00	\$ 475.000,00	
5.7.	Subtotal				\$ 5.139.000,00	
6.	Espesador					
6.1.	Moto reactor	Unidad	1	\$ 1.300.000,00	\$ 1.300.000,00	
6.2.	Tanque 500 Lts	Unidad	1	\$ 180.000,00	\$ 180.000,00	
6.3.	Válvulas	Unidad	4	\$ 28.900,00	\$ 115.600,00	
6.4.	Manguera 3/8	m	2	\$ 35.000,00	\$ 70.000,00	
6.5.	Bomba neumática	Unidad	1	\$ 1.100.000,00	\$ 1.100.000,00	
6.6.	Mano de obra	Unidad		\$ 1.529.840,00	\$ 1.529.840,00	
6.7.	Bomba dosificadora	Unidad	1	\$ 750.000,00	\$ 750.000,00	
6.8.	tubería 1" 1/2	m	10	\$ 27.900,00	\$ 279.000,00	
6.9.	tubería 1"	m	2	\$ 15.000,00	\$ 30.000,00	
	Mano de obra	labor	-	\$ 214.177,00	\$ 214.177,00	
6.10.	Subtotal				\$ 5.568.617,00	
7.	Filtro prensa					
7.1.	Bomba centrífuga	Unidad	1	\$ 190.000,00	\$ 190.000,00	
7.2.	Subtotal				\$ 190.000,00	
8.	automatizacion de la planta					
8.1.	Costo de la automatizacion				\$ 1.500.000,00	
9.	Total				\$ 53.812.577,00	
9.1.	ADMINISTRATIVOS				10%	\$ 5.381.257,70
9.2.	IMPROVISTOS				5%	\$ 2.690.628,85
9.3.	UTILIDADES				10%	\$ 5.381.257,70
9.4.	Total				\$ 67.265.721,25	

Tabla 38. Presupuesto

Fuente: autor.

6.4. Cálculo retorno de la inversión

Con el objetivo de tener claro la recuperación de la inversión y teniendo en cuenta los costos actuales de disposición y el gasto anual, se presenta a continuación el siguiente cálculo:

$$ROI = \frac{\$23.131.800 * 3 \text{ meses}}{1 \text{ mes}} = 69.395.400$$

Teniendo en cuenta el valor total del presupuesto del diseño de la planta de tratamiento, y el gasto mensual en los costos de disposición, se puede observar que en un tiempo aproximado de 3 meses el retorno de la inversión.

CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo al diagnóstico inicial realizado en la empresa, se puede observar la necesidad del tratamiento químico al agua proveniente de los lavados de la línea de galvanizado, esto debido principalmente a los consumos de agua y los costos de disposición de este residuo líquido peligroso. Los vertimientos provenientes de este tipo de industrias las cuales generan gran cantidad de contaminantes tóxicos deterioran la calidad ambiental de los recursos naturales, es por esto que el presente documento podrá servir también como apertura de nuevas investigaciones para tratamientos y alternativas de solución en este tipo de sector productivo

Se cuantificó los consumos de agua determinando el caudal de diseño y caudal a tratar en el diseño siendo de $2\text{m}^3/\text{día}$, de esta manera el tratamiento a efectuar será por batch.

Se caracterizó el afluente teniendo en cuenta los parámetros exigidos por la normatividad actual vigente, donde se pudo identificar los parámetros críticos a tratar en el sistema, como lo son los metales pesados en especial el hierro y el zinc.

Dadas las pruebas de tratabilidad, fue evidente omitir la adición de coagulante, ya que se pudo observar según las mediciones de laboratorio una mayor remoción de sólidos con la únicamente de soda cáustica y polímero.

De acuerdo a los análisis obtenidos del laboratorio para la determinación de los metales pesados presentes en el agua cruda sin tratamiento y agua clarificada en laboratorio, es preciso omitir un tratamiento terciario y de pulimento, a cambio de esto se propone un sistema de filtración con el objetivo de remover trazas presentes de estos contaminantes.

Se calculó la dosis de cada producto químico, esto determinado a los mejores porcentajes de remoción observados en las pruebas de laboratorio y de acuerdo al tiempo establecido de sedimentación.

Al evaluar los costos del tratamiento, se observa que si se implementará el proyecto se reduciría los costos de disposición aproximadamente en un 98,2% al mes, a partir de tres meses se tendrán utilidades dentro de la organización ya que el retorno de la inversión se verá efectuado.

La planta de tratamiento será compacta de acuerdo al caudal, adicionalmente se propone un sistema de control semiautomático por medio de un controlador lógico programable, con el objetivo de mantener un orden secuencial en el funcionamiento de la operación.

RECOMENDACIONES

Dadas las pruebas de laboratorio y los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos en el agua clarificada podría ser re utilizada en el proceso y/o en servicios dentro de la organización.

Adicionalmente como se ha mencionado, este documento podrá servir como base para el estudio en cuanto al ciclo de uso del agua en el proceso, determinando así la cantidad de veces que el agua podrá ser utilizada en el tratamiento de revestimiento de metales.

Es recomendable para Deralam S.A la implementación de este proyecto, ya que en relación al análisis costo/beneficio se puede observar la rentabilidad del proyecto luego de los 3 meses de su implementación.

BIBLIOGRAFIA

Arboleda, V. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*, Bogotá, Colombia: Editorial interamericana.

Romero, J. A. (1996). *Acuquímica*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería

Noguera, J. B. (1995). *Tratamiento básico de aguas residuales*. Bogotá, Colombia: Ediciones Uninorte.

Peña, M. R. (1989). *Tratamiento de aguas residuales, Aguas de proceso y residual*. Barcelona: Boixareu.

Universidad Pontificia Bolivariana CIDI, Universidad de Antioquia CIA. (1997). *Manual de caracterización de aguas residuales industriales*. 2da Edición. Medellín, Colombia.

Martinez, S., Rodriguez, M. (2005). *Tratamiento de aguas residuales con matlab*. Mexico D.F: Editorial reverté.

Romero, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá, Colombia: Editorial colombiana de ingeniería.

Hernández, J, & Flórez, I. (2010). *Formulación de plan integral de gestión ambiental de la empresa inversiones suarez Ltda.* (Tesis de pregrado). Sena, centro de gestión industrial, Bogotá, Colombia.

Ramalho, S. (1996). *Introduction to wastewater treatment processes*, second edition. Londres, Inglaterra: editorial reverté, s.a.

Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales*. Bogotá, Colombia: Editorial nomos s.a.

Manahan, S. (2007). *Química ambiental*. México DF, México: Editorial reverté, s.a.

Glynn, H. & Gary, H. (1999). *Ingeniería ambiental*. México DF, México: Editorial assistant.

Sawyer, C., McCarty, L. & Parkin, G. (2001). *Química para la ingeniería ambiental*. Cuarta edición, Bogotá, Colombia: Editorial nomos s.a.

Castañeda, L., & Montealegre, L. (2003). *Diseño de un sistema de neutralización de aguas residuales industriales en el proceso de galvanizado*. (Monografía de pregrado). Universidad de la sabana, Bogotá, Colombia.

Acosta, G., Cristancho, D., Ospina, E & Morales, N. (s.f). *Identificación del manejo de metales en vertimientos de la industria galvánica*. Universidad militar nueva granada, Bogotá, Colombia.

Lipesa. (1998). *Tratamiento químico del agua Lipesa S.A*. Bogotá, Colombia: Editorial impregraf.

Metcalf & Eddy. (1977). *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. Barcelona, España: Editorial Labor s.a.

Lapeña, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España: Editorial marcombo s.a.

Aguilar, M., Saez, J., Llorens, M., Soler, A. & Ortuño, J.F. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales, coagulación – floculación*. Primera edición, Madrid, España.

Cañas, C. (2005). *Estudio de aplicabilidad e implementación del policloruro de aluminio como coagulante primario en la planta la flora. Del amb S.A E.S.P* (Tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Cortes, D. (2013). *Diagnóstico y formulación de la optimización del agua residual domestica para el centro empresarial OIKOS CIEM*. (Tesis de maestría). Universidad UNINI, Bogotá, Colombia.

➤ PAGINAS WEB

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000. 1st ed. Bogotá, Colombia: Recuperado de: http://cra.gov.co/apc-afiles/37383832666265633962316339623934/7.Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf. Leído el 5 de enero del 2016.

Los metales pesados en las aguas residuales (2008). Madrid, España: Recuperado de: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/02/83698>. Leído el 22 de enero de 2016.

Recubrimientos electrolíticos (s.f). Recuperado de: <http://www.istas.net/fitema/att/li1.htm>. Leído el 1 de febrero de 2016.

Protección del acero por galvanizado (s.f). Recuperado de: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn104.html>. Leído el 1 de febrero de 2016.

Recubrimientos metálicos, galvanizado electroquímico y por inmersión (s.f). Pereira, Colombia: Recuperado de: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/389-2/>. Leído el 1 de febrero de 2016.

Presentación de la nueva norma de vertimientos (2015). Bogotá, Colombia: Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1700:minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais>. Leído el 12 de febrero de 2016.

Porras, A., Montenegro, D., Granados, E., (2009). Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas residuales galvánicas. *Revistas ingenierías universidad de Medellín*, 8(14), 3-8. Recuperado de: <http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/37>. Leído el 12 de febrero de 2016.

Eliminación de metales pesados contenidos en efluentes (s.f). La reina, Santiago de Chile: Recuperado de: <http://www.pacificchemical.cl/eliminaciondemetalespesadosdeafluentes.html>. Leído el 13 de junio de 2016.

Ras 2000, título E. tratamiento de aguas residuales (2000). Bogotá, Colombia: Recuperado de: http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf. Leído el 13 de junio de 2016.

Tratamiento de aguas residuales y disminución de la DQO (s.f). Asturias, España: Recuperado de: <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo>. Leído el 20 de julio de 2016.

Sólidos suspendidos totales (2002). Pasto, Colombia: Recuperado de: <http://corponarino.gov.co/modules/wordbook/entry.php?entryID=367>. Leído el 20 de julio de 2016.

Tecnologías de eliminación de arsénico en agua (s.f). Madrid, España: Recuperado de: <http://www.miliarium.com/bibliografia/Monografias/Arsenico/MetodosReduccionArsenico.asp>. Leído el 21 de julio de 2016.

Revisión de los productos químicos para la precipitación de metales en el tratamiento de superficies (2011). Sao paulo, Brasil: Recuperado de: http://www.abts.org.br/boletim/newsletter/2011/espanol/mar/boletin_acabados_superficiales_3_m_at6.html. Leído el 2 de agosto de 2016.

Tratamiento de lodos (s.f). Recuperado de: <http://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-tecnicas.htm>. Leído el 8 de agosto.

Análisis de aguas (s.f). Recuperado de: <http://www.mn-net.com/>. Leído el 8 de agosto.

Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamiento (1999). Quito, Ecuador: Recuperado de: <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html>. Leído el 8 de agosto de 2016.

Filtro prensa (s.f). Recuperado de: <http://www.lenntech.es/filtro-de-prensa-para-lodos.htm>. Leído el 8 de agosto de 2016.

Automatización de plantas de tratamiento (s.f). Recuperado de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1285/6/Automatizacion%20de%20Plantas%20de%20Tratamiento%20de%20Aqua.pdf>. Leído del 10 de agosto de 2016.

Filtro prensa (s.f). Recuperado de: <http://www.engineeringfundamentals.net/FiltroPrensa/fundamentos.htm>. Leído el 11 de agosto de 2016.

Manuales para filtros (s.f). Recuperado de: <https://es.hayward-pool.com/shop/es/pools/manuals#FiltersSand>. Leído el 11 de agosto de 2016.

Filtro de carbón activado (s.f). Recuperado de: <http://www.solucionesparaagua.com.mx/Productos/FCarbonActivado.php>. Leído el 13 de agosto de 2016.

Tratamiento de aguas (s.f). Granada, España. Recuperado de: <http://www.gedar.com/industriales/deshidratacon-de-lodos/filtroprensa.htm>. Leído el 13 de agosto de 2016.

➤ **LEGISLACION**

Resolución N° 0631. Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia 17 de marzo de 2015.

Decreto N° 1076. Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. Bogotá, Colombia 26 de mayo de 2015.

Acuerdo 043. Por el cual se establecen los objetivos de calidad de agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020. Bogotá, Colombia 17 de octubre de 2006.

Resolución N° 1207 de 2014 por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Bogotá, Colombia 25 de julio de 2014.

