

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**CARACTERIZACIÓN, PROPUESTA DE
TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS
RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA GALVANIZADORA
DE TUBERÍA POR INMERSIÓN EN CALIENTE**

Mirna Beatriz Ramírez Valdivieso

Asesorado por Ing. Carlos Estuardo Caballeros García

Guatemala, marzo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recínos
VOCAL II	Ing. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Inga. Teresa Lisely De León Arana
EXAMINADORA	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CARACTERIZACIÓN, PROPUESTA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA GALVANIZADORA DE TUBERÍA POR INMERSIÓN EN CALIENTE.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha septiembre de 2003.

Mirna Beatriz Ramírez Valdivieso

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen María:

Por las infinitas bendiciones que me han dado en la vida; por darme cada día su amor y ser mis compañeros fieles.

A mis padres:

Carlos Ramírez y Consuelo Valdivieso de Ramírez. Mil gracias por todos su esfuerzo, ya que por ustedes soy la persona que soy. Esto es una muestra de gratitud por toda su paciencia y su entrega, y por sus miles palabras de ánimo.

A mis hermanas:

Sandra, Marie, Lety y Ara. Con mucho amor, esto es un triunfo más para todas.

A mis sobrinos:

Sara Jimena, Ana Valeria, Laura Sofía y Rodrigo André, con mucho cariño.

A Rafael Gil :

Con amor. Gracias por ese constante **TÚ PUEDES**, que me ayudó en los momentos difíciles.

A mis amigos:

Anny, Aury, Jessica, Laura, Patty, Brian, David, Hugo, Julio, Paco y Ramiro; su amistad, su apoyo, su compañerismo es algo que voy a recordar siempre.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	VI
GLOSARIO	VII
OBJETIVOS	VIII
RESUMEN	XI
INTRODUCCIÓN	X
1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	
1.1 Definición de hierro y acero	1
1.1.1 Clasificación del hierro	1
1.1.2 Definición de acero	2
1.1.3 Acero al carbono	3
1.2. Descripción del proceso de galvanizado por inmersión en caliente.	
1.2.1 Galvanizado por inmersión en caliente	4
1.2.2 Galvanizado de tubos	4
1.2.2.1 Baño de limpieza alcalina	5
1.2.2.2 Enjuague de limpieza alcalina	5
1.2.2.3 Baño de limpieza ácida (decapado)	6
1.2.2.4 Enjuague de limpieza ácida	7
1.2.2.5 Mordentado	7
2. AGUAS RESIDUALES	
2.1. Definición de agua residual	9
2.2 Características del agua residual	9

2.2.1	Características físicas del agua residual	10
2.2.1.1	Aspecto	10
2.2.1.2	Color	10
2.2.1.3	Turbiedad	11
2.2.1.4	Olor	11
2.2.1.5	Sólidos totales	12
2.2.1.6	Temperatura	12
2.2.2	Características químicas del agua residual	12
2.2.2.1	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	13
2.2.2.2	Demanda química de oxígeno (DQO)	13
2.2.2.3	Nitrógeno total y orgánico	14
2.2.2.4	pH	14
2.2.2.5	Acidez	15
2.2.2.6	Dureza total	14
2.2.2.7	Grasas y aceites	15
2.2.2.8	Gases	15
2.2.2.9	Características biológicas.	16
3.	TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES	
3.1	Procesos de tratamiento de aguas residuales	19
3.1.1	Procesos físicos	20
3.1.2	Procesos químicos	20
3.1.3	Procesos biológicos	21
3.2	Tipos de tratamiento de aguas residuales	21
3.2.1	Tratamientos preliminares	21
3.2.2	Tratamientos primarios	22
3.2.3	Tratamientos secundarios	23
3.2.4	Tratamientos terciarios y disposición de lodos	23
4.	BASES LEGALES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS	
4.1	Decreto 68-86 Ley de protección del medio ambiente	25
4.2	Reglamento de requisitos mínimos y límites máximos	

permisibles contaminación, para la descarga de aguas servidas, en el sector metalúrgico.	26
4.3 Propuesta de parámetros para la descarga de aguas residuales sector productivo gremial de metalurgia.	28
5. ANTECEDENTES	31
6. RESULTADOS	
6.1 Parámetros de control	33
7. PROPUESTA DE TRATAMIENTO	
7.1 Propuesta de tratamiento de aguas residuales del proceso	41
7.1.1 Diseño conceptual	41
7.1.2 Tratamiento de lodos	45
7.1.3 Dimensionamiento de equipos	51
7.1.4 Especificación de equipos	54
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Secuencias de operación de procesos de galvanizado en caliente	8
2. Temperatura del agua residual	34
3. Sólidos totales en el agua residual	35
4. Sólidos suspendidos en el agua residual	35
5. Sólidos sedimentables en el agua residual	36
6. pH del agua residual	37
7. DBO ₅ y DQO del agua residual	37
8. Grasas, aceites y nitrógeno total en el agua residual	38
9. Fósforo total y plomo en el agua residual	38
10. Contenido de hierro en el agua residual	39
11. Contenido de sulfatos en el agua residual	39
12. Balance de masa para DBO ₅ , DQO y sólidos suspendidos en el tanque de neutralización / oxidación	46
13. Diagrama de bloques para el sistema de tratamiento de agua residual	47
14. Diagrama de flujo para el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto.	48
15. Diagrama de proceso e instrumentación (P.&I.D), para el sistema de tratamiento de agua residual propuesto	49
16. Diagrama de disposición Lay out , para el sistema de tratamiento de agua residual propuesto	50
17. Dimensionamiento de equipos	53

TABLAS

I. Composiciones típicas del hierro forjado, hierro en lingotes, hierro en lingotes , hierro electrolítico y acero	2
II. Composición química de los aceros al carbono	3
III. Composición media de los baños agotados procedentes de empresas, que realizan procesos de galvanizado por inmersión en caliente	17
IV. Límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas de la industria procesadora de metales	27
V. Límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales	29
VI. Análisis bacteriológico del agua residual de la planta	33
VII. Características físicas del agua residual de la planta	34
VIII. Características químicas de la mezcla de agua residual en los tres puntos de muestreo	36
IX. Relación DBO ₅ /DQO para distintos tipos de agua residual	42
X. Dimensionamiento de equipo	51
XI. Diámetros de tubería	52
XII. Especificación de equipo	54
XIII. Especificación de tubería	55
XIV. Características químicas del agua residual cuba de enjuague alcalino	61
XV. Características químicas del agua residual cuba de decapado	61
XVI. Características químicas del agua residual cuba de enjuague ácido	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
m	Metros
g	Gramos
°C	Grados centígrados
mg	Miligramos
l	litros
SS	Sólidos en suspensión
m ³	Metros cúbicos
Kw	Kilovatio

GLOSARIO

Caracterización	Determinar con precisión.
Coagulante	Es el sólido utilizado para cuajar, o solidificar un líquido.
Efluente	Es el caudal de salida de un sistema.
Muestra	Es la fracción o parte de un producto considerada como representativa, que sirve para conocer la calidad obtenida.
NMP	Es el número más probable es la medida estadística de la concentración de coliformes en el agua, y está definida como el número por cada 100 cm ³ de agua.
Remoción	Es la extracción o movimiento de un objeto de un sitio a otro.

OBJETIVOS

General:

Caracterizar el agua residual de una industria de galvanizado de tubería, y proponer un sistema de tratamiento y disposición basado en los parámetros caracterizados.

Específicos:

1. Analizar el agua residual en diferentes puntos del proceso de galvanización de tubería.
2. Determinar la cantidad de contaminantes descargados y establecer el grado de contaminación de las aguas analizadas, sobre la base de la carga orgánica liberada.
3. Interpretar sobre la base de las normas , decretos y propuestas de ley, así como los resultados de dicha caracterización.
4. Proponer conceptualmente un diseño del sistema de tratamiento y disposición de las aguas residuales, que sea adecuado a los resultados obtenidos.

RESUMEN

Se evaluó la calidad del agua residual procedente de una industria galvanizadora de tubería por inmersión en caliente, tomando como base los reglamentos y propuestas de ley, para la descarga de contaminantes industriales.

Para determinar la carga contaminante de las aguas residuales, se recolectaron muestras del agua derivada de tres distintos puntos del proceso, cuba de enjuague alcalino, cuba de decapado y cuba de enjuague ácido; posteriormente se muestreó la mezcla alícuota de los tres puntos del proceso. Subsiguientemente se analizaron las muestras para determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Como resultado de los análisis, se determinó que las aguas residuales derivadas del proceso no cumplen con los parámetros legislados; se encontró que la relación DBO_5/DQO es de 0.385, lo que indica que las aguas analizadas contienen un alto contenido de compuestos no degradables reflejados en el alto contenido de DQO de 1297 mg/l.

Tomando en cuenta esta información, se propuso un sistema de tratamiento consistente en un proceso de precipitación química y neutralización de las aguas residuales, que involucra a la vez el tratamiento de lodos generados durante el proceso.

INTRODUCCIÓN

El acero es hasta el momento el metal más empleado en el mundo; sin embargo, existen una serie de limitaciones ya, que los aceros comunes no son muy resistentes a la corrosión. El galvanizado es uno de los métodos que se utilizan para mejorar la resistencia a la corrosión del acero mediante un recubrimiento de zinc en la superficie, las operaciones comprendidas en los distintos pasos del proceso productivo del tratamiento de la superficie metálica, así como los residuos líquidos que se generan en cada una de ellas son altamente contaminantes.

El agua eliminada, después de usarse, se descarga como agua residual, la cual ha sufrido alteraciones, es decir, que contiene una gran variedad de sustancias que afectan al ambiente. Lo anterior ha dado paso al surgimiento de estudios relacionados con el tratamiento de aguas residuales en las industrias.

Para que un proyecto de cualquier índole tenga éxito, es necesaria una planificación cuidadosa, por lo tanto, tratar adecuadamente las aguas residuales requiere que se tenga la información necesaria. Esto significa que antes de comenzar a reducir la contaminación, se necesita saber cuánto contamina, ya que a partir de ese conocimiento se pueden adoptar los procesos más adecuados.

El presente trabajo tiene como finalidad caracterizar el agua residual y proponer el tratamiento y disposición de los desechos generados en una industria galvanizadora de tubería. Los resultados que se obtendrán podrán servir de base para la evaluación posterior de la carga contaminante generada.

1.DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

1.1 Definición de hierro y acero

1.1.1 Clasificación del hierro

El hierro (Fe) no es comercialmente un metal de alta pureza, sino que contiene otros elementos químicos que tienen un gran efecto sobre sus propiedades físicas y mecánicas. La magnitud y distribución de estos elementos dependen del método de fabricación. A continuación, se enumeran las formas comerciales más importantes del hierro.

a) Arrabio o lingote de primera fusión

Es el producto de alto horno, que resulta de la reducción del mineral de hierro.

b) Fundición

Es una aleación de hierro que contiene tanto carbono, que al moldearse, no es apreciablemente maleable a ninguna temperatura.

c) Fundición gris

Es una fundición de hierro que al moldearse no tiene carbono combinado (en la forma de cementita Fe_3C).

d) Fundición blanca

Contiene carbono en forma combinada. La presencia de la cementita o carburo de hierro (Fe_3C) hace que este metal sea duro y frágil, y la ausencia de grafito da a la fractura un color blanco.

e) Hierro en lingotes

Es el que se obtiene en el horno de hogar abierto con muy bajo contenido de carbono manganeso y otras impurezas

A continuación, se presentan las composiciones químicas de los distintos tipos de hierro.

Tabla. I Composiciones típicas del hierro forjado, hierro en lingotes, hierro electrolítico y acero (en porcentajes)

MATERIAL	C	Mn	P	S	Si	Escoria en peso
Hierro forjado	0.06	0.05	0.068	0.009	0.10	2.0
Hierro en lingotes	0.015	0.020	0.005	0.025	Huellas	
Hierro electrolítico	0.006		0.005	0.005	0.005	
Acero de bajo contenido de carbono	0.06	0.40	0.012	0.030	0.009	

Fuente: Manual del Ingeniero Mecánico. Tomo 1 página 6-13

1.1.2 Definición de acero

Es una aleación maleable de hierro y carbono, que contiene generalmente cantidades apreciables de manganeso.

1.1.2.1 Acero al carbono

Es el acero que debe principalmente sus propiedades distintivas al carbono que contiene. Una serie de cuatro numerales designa la composición de los aceros AISI: los dos primeros indican el tipo de acero, y los dos últimos hasta donde es posible el contenido promedio de carbono en puntos o centésimas de porcentaje. Por tanto, el 1020 es un acero al carbono con un rango de carbono de 0.18 a 0.23%.

A continuación, se muestra una tabla de la composición, según su contenido de carbono con especificaciones AISI:

Tabla II: Composición química del los aceros al carbono AISI

Designación de grado AISI	Límites de la composición química %			
	C	Mn	P	S
1006	0.08 max	0.25-0.40	0.04 max	0.05 max
1008	0.10 max	0.30-0.50	0.04 max	0.05 max
1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04 max	0.05 max
1012	0.10-0.15	0.30-0.60	0.04 max	0.05 max
1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.04 max	0.05 max
1016	0.13-0.18	0.60-0.90	0.04 max	0.05 max
1017	0.15-0.20	0.30-0.60	0.04 max	0.05 max
1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.04 max	0.05 max
1019	0.15-0.20	0.70-1.00	0.04 max	0.05 max
1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.04 max	0.05 max
1021	0.18-0.23	0.60-0.90	0.04 max	0.05 max
1022	0.18-0.23	0.70-1.00	0.04 max	0.05 max
1023	0.20-0.25	0.30-0.60	0.04 max	0.05 max
1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.04 max	0.05 max

Fuente: Manual de Ingeniero Mecánico. México 1999.

1.2 Descripción del proceso de galvanizado por inmersión en caliente

1.2.1 Galvanizado por inmersión en caliente

Las piezas que se van a tratar se sumergen, y una vez que se ha limpiado previamente su superficie, en un baño de zinc fundido, que debe de estar a una temperatura de 445°C a 460°C. El zinc reacciona con el hierro o el acero (el acero de las piezas esta clasificado como acero al carbono 1008), para formar una serie de capas de aleación sobre la superficie, según su extensión, y de los aditivos del baño de zinc. La capa más externa suele ser zinc dúctil no aleado. Además, el zinc

se une metalúrgicamente al metal base, para formar un recubrimiento protector que posee una excelente resistencia a la corrosión.

1.2.2 Galvanizado de tubos

Para que una pieza esté correctamente galvanizada, es necesario que la superficie del hierro o acero se limpie a fondo, hasta la obtención de una superficie brillante, de tal forma que el hierro puede reaccionar con el cinc fundido. Por este motivo, las piezas que han de ser galvanizadas son sometidas a una serie de pretratamiento previos, que por lo general consisten en desengrase, lavado, decapado, lavado, mordentado y secado.

1.2.2.1 Baño de desengrase alcalino

Normalmente es necesario realizar un tratamiento de desengrase para eliminar los residuos de aceites y grasas, como aceites de corte procedentes de procesos de fabricación anteriores .

Un buen desengrase evita el arrastre de aceites y grasas a las fases de tratamiento posteriores, que facilitan además la valorización de los residuos/subproductos obtenidos.

El desengrase de las superficies metálicas consiste, básicamente , en una operación de limpieza de las mismas, y tiene por objeto la eliminación de todo tipo de grasas que en general pueda presentar el metal en su superficie; la composición básica de los baños de desengrase es el hidróxido sódico . La reacción química que sucede se ejemplifica así:



1.2.2.2 Enjuague del limpieza alcalina

Esto es importante, para evitar la contaminación en el baño de decapado y ayuda en la completa remoción de óxidos.

1.2.2.3 Baño de limpieza ácida (decapado)

El decapado es el método, mediante el cual se elimina el óxido y la cascarilla de la superficie de la pieza y requiere la utilización de soluciones ácidas. El objetivo de este proceso es la eliminación de la cascarilla, sin que llegue a atacar la superficie del acero, para lo cual es necesaria la adición de inhibidores, lo que hace que no haya prácticamente ataque al metal base. Los factores más importantes que influyen a la hora de mantener el baño de decapado son: concentración de ácido, temperatura del baño y duración del tratamiento.

La concentración del ácido sulfúrico es de un 10 a 14 % en peso, cuya temperatura de trabajo es de 60 a 80 °C . La actividad del baño de decapado va disminuyendo al aumentar la concentración en hierro, por lo que es necesario realizar adiciones periódicas de ácido para mantenerla. Este sistema puede mantenerse así hasta que alcanza el límite la solubilidad del sulfato ferroso en el propio ácido, por lo que una vez que se ha llegado a este límite, ya no será posible seguir decapando. Igualmente, si el contenido de hierro de la solución de decapado es superior a los 140 a 150 g/l , el baño de decapado estará agotado, por lo que es necesaria su renovación.

Las reacciones químicas que suceden pueden simplificarse así:



1.2.2.4 Enjuague de limpieza ácida

Después del baño de decapado, es necesario realizar una etapa de lavado de las piezas, con el fin de evitar que éstas arrastren ácido y sales de hierro a las etapas posteriores de mordentado y al baño de cinc. El arrastre de hierro al baño de cinc fundido provoca la formación de las denominadas matas de zinc, que consume así una mayor cantidad de este metal.

1.2.2.5 Mordentado

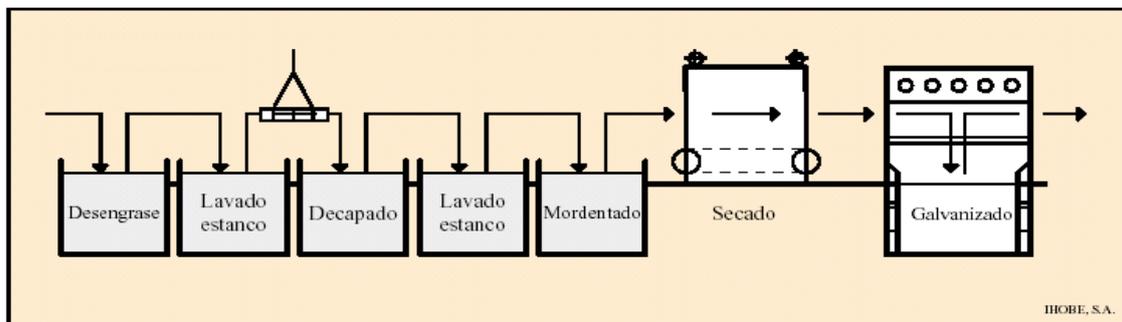
El mordentado es necesario para disolver y absorber cualquier resto de impurezas que queden sobre la superficie metálica, y para asegurar que la superficie limpia de hierro o acero se pone en contacto con el cinc fundido. La función del mordentado es la eliminación de las últimas impurezas y mantiene limpia la superficie, hasta que la pieza se sumerja en el baño de zinc y que posteriormente mantendrá la superficie de zinc libre de óxidos. Normalmente se utilizan mordientes a base de cloruro de amonio (NH_4Cl_2) y cloruro de zinc (ZnCl_2).

Las reacciones químicas se simplifican así:



A continuación, se presenta un gráfico que detalla el proceso de galvanización en caliente.

Figura 1: Secuencia de operación de procesos de galvanizado en caliente



Fuente: Libro blanco de minimización de residuos y emisiones en el sector de galvanizado en caliente. Comunicad Vasca, 2001

2.AGUAS RESIDUALES

2.1 Definición de agua residual

Es toda agua proveniente de un proceso realizado por el ser humano, la cual por sus características ya no tiene valor o uso y, por lo tanto, se convierte en un residuo o desecho. Contiene sustancias de origen natural o artificial, que pueden ser potencialmente dañinas para el medio ambiente.

2.2 Características de las aguas residuales

El agua, por ser el líquido de mayor abundancia en la tierra y el más elemental para la vida, ha sido estudiada con gran detalle por diversas disciplinas de la ciencia. Para efectos de este estudio, se pondrá atención a las siguientes características del agua residual:

2.2.1 Características físicas

Tienen la particularidad de ser fácilmente detectables por el ser humano, ya que por medio de sus sentidos puede hacerse una idea de la magnitud de las mismas. A continuación, se presentan las principales características físicas de las aguas residuales.

2.2.1.1 Aspecto

Se refiere a la descripción de su característica más apreciable a simple vista, por ejemplo: agua residual turbia, presencia de sólidos disueltos, presencia de sustancias flotantes ,etc. El agua con turbiedad evidente generalmente es rechazada por las personas, ya que tiene poco valor estético.

2.2.1.2 Color

Esta característica se divide en dos tipos: color aparente y color verdadero. El primero se encuentra ligado a la turbiedad. El color verdadero depende de los minerales disueltos en el agua, especialmente sales de hierro y manganeso, las cuales pueden inferirle un fuerte color a las aguas.

En un nivel cualitativo, el color de las aguas residuales puede servir para darse una idea de la edad de las mismas en conjunto con su olor. El agua residual reciente posee un color grisáceo y tiene un olor característico.

2.2.1.3 Turbiedad

Se utiliza en el análisis de las aguas residuales y en el agua para el consumo humano. Su medición se lleva a cabo por la comparación entre la intensidad de luz dispersa por la muestra y la luz dispersa, por un patrón de referencia de platino y cobalto a las mismas condiciones. Los procesos para eliminar la turbiedad son: coagulación, sedimentación y filtración.

El agua con turbiedad evidente generalmente es rechazada por las personas, ya que tienen poco valor estético.

2.2.1.4 Olor

Se debe generalmente a la presencia de sustancias inorgánicas y orgánicas disueltas, que poseen olor en si mismas. El olor característico de una agua séptica se debe al desprendimiento de sulfuro de hidrógeno (H₂S), que se genera a partir de la reducción de sulfatos a sulfitos, por acción de microorganismos anaeróbicos.

2.2.1.5 Sólidos totales

Son los materiales suspendidos y disueltos en el agua. Se obtienen evaporando el agua a 105 °C y pesando el residuo. Además, este residuo puede ser dividido en sólidos suspendidos y sólidos filtrables; los primeros pueden ser removidos por medio de filtración, mientras que los segundos no pueden filtrarse.

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica, los cuales dan un valor aproximado de la cantidad de fango que contiene el agua, y que se puede obtener por medio de una decantación primaria.

2.2.1.6 Temperatura

El aumento de temperatura de un liquido residual disminuye la solubilidad de oxígeno del entorno del cuerpo receptor, donde se vuelca el mismo, y puede provocar situaciones críticas para la vida acuática, ya que si el agua está contaminada térmicamente puede no ser apta para la vida, debido a su baja concentración de oxígeno.

Generalmente, la temperatura de las aguas residuales es mayor que la del agua potable para consumo humano, ya que va mezclada con efluentes de los procesos industriales, en donde uno de los desechos es calor.

2.2.2 Características químicas

El agua puede ser caracterizada desde muchos puntos de vista, ya sean los componentes químicos minerales que posee o los orgánicos, hasta los gases que en ella se encuentran disueltos. A continuación, se mencionan algunos de los componentes y características químicas del agua residual.

2.2.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno(DBO₅)

Expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación bioquímica de los compuestos orgánicos degradables, en 5 días. Es uno de los parámetros de calidad, tanto en aguas residuales como superficiales.

En las aguas residuales, se puede decir que DBO es la cantidad de oxígeno consumido en la estabilización biológica anaeróbica de la materia orgánica, a condiciones de temperatura, dilución y tiempo específicos.

2.2.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

En el proceso de descomposición de las aguas residuales, el consumo de oxígeno no se debe únicamente a procesos bioquímicos, en donde se ven involucradas bacterias y otros seres vivos, sino también a procesos químicos en donde no hay intervención de éstos.

La demanda química de oxígeno se define como la cantidad de oxígeno necesario para oxidar todo el contenido de la materia orgánica e inorgánica del agua. Al igual que la DBO, se utiliza tanto en análisis de aguas superficiales como aguas residuales.

El valor de la DQO siempre será mayor o por lo menos igual al de la DBO₅, ya que este último representa solamente la cantidad de materia orgánica oxidada por vía biológica, mientras que la DQO es por vía química que representa una oxidación más completa.

2.2.2.3 Nitrógeno total y orgánico

Se determina para ver la evolución de los tratamientos biológicos.

2.2.2.4 Potencial de hidrógeno (pH)

Es importante su determinación por la influencia que tiene en el desarrollo de la vida acuática; es un parámetro de amplio uso, ya que no sólo se utiliza en la determinación del agua, sino también en muchos procesos químicos.

2.2.2.5 Acidez

Se debe a la presencia de ciertos ácidos minerales y/o orgánicos. Puede causar acción corrosiva en las instalaciones.

2.2.2.6 Dureza total

Las aguas duras son generalmente consideradas por ser aguas que requieren considerables cantidades de jabón para producir espuma, y también por producir incrustaciones en contenedores, calderas y hervidores y otras unidades de transferencia de calor, que trabajan a temperatura elevada. La dureza es causada por iones metálicos divalentes; estos iones son capaces de reactivar los jabones en

formas precipitadas y con ciertos aniones presentando el incrustamiento. Las principales causas de la dureza del agua son: el calcio, el magnesio, estroncio, iones ferrosos y demás iones manganosos.

2.2.2.7 Grasas y aceites

Por grasa se reconoce a todas aquellas grasas animales y vegetales, aceites, ceras y otros constituyentes, que se encuentran en las aguas residuales. Son altamente estables y solamente se descomponen al interactuar con ácidos y álcalis. Con los primeros, producen ácidos grasos y glicerina. Con los álcalis, saponifican produciendo jabones, que son sales alcalinas.

Uno de los principales problemas que producen los aceites y grasas es formar una capa en la superficie del agua o el suelo, y evitar así su contacto con el aire y por tanto con el oxígeno, el cual es vital para los procesos de descomposición y tratamiento; una pequeña cantidad de aceite puede cubrir un área considerable de agua estancada.

2.2.2.8 Gases

Los más importantes son los de la descomposición de la materia orgánica. (sulfuro de hidrógeno, amoníaco, metano).

2.2.3 Características biológicas

Las propiedades microbiológicas del agua son de gran importancia ya que sirven como medida de la salubridad del agua. El agua es el medio de desarrollo de microorganismos de diferente naturaleza, como bacterias y hongos. La concentración de bacterias coliformes, específicamente *Escherichia coli*, es una medida ampliamente reconocida de contaminación microbiológica proveniente de excretas humanas y de animales .

Se ha utilizado el género coliforme, ya que las bacterias pertenecientes a esta familia forman parte de la flora intestinal de muchos mamíferos; además, los métodos de determinación de éstas son mucho más prácticos y dan resultados con relativa rapidez, aproximadamente un día para pruebas presuntivas. La principal característica de las bacterias coliformes es que fermentan la lactosa y producen gas.

La tabla III que se presenta a continuación muestra las composiciones promedio de las aguas residuales en las industrias de galvanización.

Tabla III: Composición media de los baños agotados procedentes de las empresas que realizan procesos de galvanizado por inmersión en caliente

PARÁMETRO	VALOR
Hierro g/l	>140
Cinc g/l	5-10
Plomo mg/l	4.7
Fósforo mg/l	0.7
Cobre mg/l	<0.4
Grasas y aceites mg/l	<6
H ₂ SO ₄ (Residual libre) g/l	30/50

Fuente: Libro blanco de minimización de residuos y emisiones en el sector de galvanizado en caliente. Comunidad Vasca, 2001.

3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

3.1 Procesos de tratamiento de aguas residuales

En la concepción, planteamiento y diseño de una planta de tratamiento, se pueden considerar objetivos diferentes, teniendo en cuenta la disponibilidad de los recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para descarga de efluentes.

Si tenemos en cuenta la gran cantidad de operaciones y procesos disponibles para el tratamiento de las aguas residuales, se acostumbra a hablar de:

1. Procesos físicos
2. Procesos químicos
3. Procesos biológicos

3.1.1 Procesos físicos

Se caracterizan principalmente en los procesos de remoción de las sustancias físicamente separables de los líquidos o que no se encuentran disueltos. Básicamente, tienen por finalidad separar las sustancias en las aguas residuales; en este caso, incluye la remoción de:

1. Sólidos gruesos
2. Sólidos sedimentables.
3. Sólidos flotantes

3.1.2 Procesos químicos

Son los procesos en los que se utilizan productos químicos y son raramente adoptados en forma aislada. Es utilizado cuando el empleo de procesos físicos y biológicos no actúan eficientemente en las características que desean reducir o remover.

Los procesos químicos comúnmente adoptados en el tratamiento de aguas residuales son:

1. Floculación
2. Precipitación química
3. Oxidación química
4. Cloración
5. Neutralización o corrección de pH.

3.1.3 Procesos biológicos

La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma, tanto coloidal, como en dilución. Los tratamientos biológicos también se emplean para eliminar el nitrógeno contenido en el agua residual.

3.2 Tipos de tratamiento de aguas residuales

3.2.1 Tratamientos preliminares

Su objetivo principal consiste en acondicionar las aguas residuales para proteger las instalaciones, facilitar las operaciones y funcionamiento de la planta. Entre algunas de las unidades de pretratamiento, están:

1. Rejillas de barras: con éstas, se retiene todo el material grueso; su principal objetivo es retener basuras, así como el material sólido grueso que pueda afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, aireadores, etc.
2. Desarenadores: son unidades diseñadas para retener arenillas, tierra y otros desperdicios minerales o vegetales. La remoción de estas partículas tiene como fin evitar obstrucción de tuberías, abrasión en las bombas y formación de sedimentos o lodos inertes en los tanques de digestión.

3.2.2 Tratamientos primarios

El principal objetivo del tratamiento primario es remover aquellos contaminantes que puedan sedimentarse, como los sólidos sedimentables y algunos sólidos suspendidos, o aquellos que pueden flotar como la grasas.

En un tratamiento primario convencional, se puede remover cerca de un 60% de los sólidos suspendidos y un 35% de la DBO presente en las aguas residuales. Entre algunas de las unidades de tratamiento, se encuentran:

1. Sedimentación primaria: se realiza en tanques rectangulares o cilíndricos, donde se remueve el 65% de los sólidos suspendidos y el 35% de la DBO presente en las aguas residuales; la sedimentación es de tipo floculento y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas.
2. Precipitación química (coagulación): la coagulación en el tratamiento de las aguas residuales es un proceso de precipitación química, en donde se agregan compuestos químicos con el fin de remover sólidos. Con el uso

de la precipitación química como tratamiento primario, es posible obtener eficiencias de remoción de sólidos suspendidos y DBO mayores que con sedimentación primaria. Con la precipitación química, es posible remover un 80 y 90% de los sólidos suspendidos, 40% y 70% de la DBO₅ y del 30% al 60% de la DQO.

3.2.3 Tratamientos secundarios

El objetivo del tratamiento secundario es remover la DBO₅ soluble que se escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos suspendidos. Estas remociones se realizan por medio de procesos biológicos. Un tratamiento secundario remueve un 85% de la DBO₅ y los sólidos suspendidos, aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno y fósforo, metales pesados, DQO y bacterias patógenas.

3.2.4 Tratamientos terciarios y disposición de lodos

Se hace necesario cuando se detectan los efectos de los compuestos que se escapan de los tratamientos secundarios de las aguas residuales. Entre éstos se pueden citar el nitrógeno, el fósforo, metales pesados, DQO soluble y el tratamiento y disposición de lodos.

4. ASPECTOS LEGALES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS

En Guatemala, se ha tratado de regular el vertido de las aguas residuales doméstica e industriales. A continuación, se describen los reglamentos, decretos y propuestas que intentan, a través de un marco legal, establecer parámetros de regularización y control de las aguas residuales.

4.1 Decreto 68-86 ley de protección del medio ambiente

En 1986, el Congreso de la República emite el Decreto 68-86 Ley de Protección del Medio ambiente, que surgió ante la ausencia de una ley ambiental. Fue elaborado de manera que su principal fin sea el de la protección de los sistemas atmosféricos, hídricos, líticos, edáficos, bióticos y demás recursos naturales del país.

Dentro de los principales conceptos que se introducen en esta ley están:

1. La creación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), como institución vigilante e inspector del cumplimiento de la ley del medio ambiente.
2. El establecimiento de la obligatoriedad del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, para todo proyecto que por su naturaleza pueda
3. Mantenimiento permanente de un control y revisión de los sistemas de aguas servidas.
4. Establecimiento de sanciones a toda persona o sociedad que violen la ley.

4.2 Reglamento de requisitos mínimos de contaminación para la descarga de aguas servidas , sector metalúrgico

En 1989, CONAMA siguiendo con las facultades que le proporcionó el decreto mencionado anteriormente emitió este reglamento, con el objetivo de regular las descargas de aguas servidas o de desecho, que procedían de las industrias, explotaciones agropecuarias y municipalidades del país, en los cuerpos receptores de las aguas superficiales.

En este reglamento, se establecen valores límite para las aguas servidas municipales, industrias de alimentos, beneficiado de café, caña de azúcar, procesadoras de metales y tenerías.

El artículo 12 del capítulo VI de dicho reglamento establece los parámetros y requisitos límites máximos permisibles de contaminación, que se describen en la tabla IV que a continuación aparece.

Tabla IV: Límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de las aguas servidas, provenientes de las industrias procesadoras de metales y de otras que emplean sales metálicas

	INDUSTRIAS	Galvánicas	Limpeza de superficies con ácido	Galvanoplastia	Bronceado	Zincado al fuego	Templado	Acumuladores y baterías	Pinturas
MUESTRAS TOMADAS AL AZAR									
Sólidos sedimentables	mg/ml	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
MUESTRAS MEZCLADAS POR DOS HORAS									
Demanda química de oxígeno	mg/ml	1200	200	200	400	400	1500	500	1500
Cadmio (Cd)	mg/ml	10				0.2		0.4	10
Mercurio (Hg)	mg/ml							0.1	
Aluminio (Al)	mg/ml	6	6	6					6
Nitrógeno Amoniacal	mg/ml	200				8		300	
Bario (Ba)	mg/ml						4		
Plomo (Pb)	mg/ml	2						4	2
Cloro (Cl)	mg/ml	1.0	1.0	1.0	1.0		10		
Cromo total (Cr)	mg/ml	4	2	2	2				2
Cromo IV	mg/ml	1.0	1.0	1.0	1.0				1.0
Cianuros (CN)	mg/ml	0.4					2		
Hierro (Fe)	mg/m	6	6		6	6		6	6
Fluoruro (F)	mg/m	100	40	100					
Cobre (Cu)	mg/ml	4	4					4	4
Nitrógeno de nitritos	mg/ml		20	10	20		10		
Sulfitos	mg/ml								
Zinc (Zn)	mg/ml	10	10	6		10		10	6

Fuente: Comisión nacional del medio ambiente (CONAMA). 1997

4.3 Propuesta de parámetros para la descarga de aguas residuales del sector productivo

En 1999, la Cámara de Industria de Guatemala emitió una propuesta de parámetros para la descarga de aguas residuales del sector productivo, que tiene como fin su inclusión dentro del Reglamento de requisitos por cumplir, previo a la descarga de aguas residuales que debe regir todo el país. En la actualidad, esta propuesta como la tratada anteriormente aún no han sido aprobadas.

Esta propuesta constituye un gran avance en cuestión ambiental, ya que para su elaboración se unieron diferentes sectores productivos del país. Muchos representantes de las gremiales, así como profesionales de la materia ayudaron aportando información como los valores de las descargas, proponiendo y discutiendo los límites máximos permisibles de contaminación de las aguas residuales. Es importante hacer mención que las industrias involucradas se comprometieron a alcanzar los valores dados en un plazo de nueve años, divididos en tres etapas, durante las cuales se van disminuyendo gradualmente las descargas de contaminantes.

La gremial de metalurgia propuso los siguientes parámetros, en los cuales se sugiere monitorear durante un año, hasta establecer límites de concentración reales. En la tabla número V, se presentan los límites máximos permisibles propuestos por la gremial de metalurgia.

Tabla V Límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales para las industrias productoras y transformadoras de metales

<i>Parámetros</i>		ETAPA 1 4 años	ETAPA 2 7 años	ETAPA 3 9 años
pH		5.5 – 9.0	6.5 – 9.0	6.5 – 8.5
Materia flotante		Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos en suspensión	mg/l	200	150	100
Sólidos sedimentables	mg/l	1.5	1	1
Sólidos totales	mg/	2.50%	1.50%	1%
DBO	mg/l	ELIMINARLA	ELIMINARLA	ELIMINARLA
DQO	mg/l	600	300	150
Temperatura	°C	25-30	25-30	25-30
Grasas y aceites	mg/l	50	20	10
Color		PENDIENTE	30	20
Nitrógeno total	mg/l	MONITOREAR	MONITOREAR	MONITOREAR
Fósforo total	mg/l	MONITOREAR	MONITOREAR	MONITOREAR
Níquel	mg/l	MONITOREAR	0.5	0.5
Cromo total	mg/l	MONITOREAR	0.5	0.5
Hierro	mg/l	MONITOREAR	3	2
Zinc	mg/l	MONITOREAR	5	3
Aluminio	mg/l	MONITOREAR	2	2
Plomo	mg/l	MONITOREAR	0.6	0.5
Cobre	mg/l	MONITOREAR	1	0.5

Fuente: Cámara de Industria de Guatemala. 1999

1. ANTECEDENTES

La empresa en estudio está dedicada a la fabricación de tubería y perfiles metálicos; comenzó a laborar el 17 de julio de 1961, y la primera línea de productos con los cuales inició fue tubería industrial y tubería ducto; posteriormente la fábrica amplió sus instalaciones con nuevas máquinas que fabricaban cañería negra, galvanizada y costaneras.

La tubería es galvanizada por inmersión en caliente; efectúan un tratamiento previo de las piezas, para obtener una superficie brillante como es el desengrase decapado y mordentado, además del proceso de enjuague de las piezas en cada uno de las anteriores etapas; es en estos procesos de limpieza y tratamiento en donde se generan las aguas residuales.

A nivel mundial, existe mucha preocupación por los residuos que generan las industrias del sector metálico. En muchos países, las industrias que se dedican a la galvanización de piezas metálicas han realizado estudios de caracterización de sus aguas residuales, las cuales son comparadas con leyes y estatutos vigentes que normalizan los parámetros permitidos para el desecho de efluentes líquidos.

Es por eso y ante la demanda de mejores niveles de calidad de vida y del manejo de residuos no perjudiciales para el medio ambiente, que se hace necesario efectuar una caracterización del agua residual, que permita determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas, además de las concentraciones de los constituyentes del efluente residual, que permitan adoptar un tratamiento y disposición acorde al efluente resultante.

El presente estudio surge como una respuesta a las tendencias mundiales, que han dado paso a que países como el nuestro consideren legislaciones que obliguen a que el desarrollo industrial esté en armonía con la conservación de sus recursos naturales.

2. RESULTADOS

6.1 Parámetros de control

Los parámetros de control se realizaron basados en las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales. Los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla VI. Análisis bacteriológico del agua residual de la planta

Punto de muestreo	Coliformes totales NMP/100 mL	Coliformes fecales NMP/100 mL	Escherichia Coli
Cuba de enjuague alcalino	<1.1	<2	Negativo
Cuba de decapado	<1	<2	Negativo
Cuba de enjuague ácido	<1	<3	Negativo

Tabla VII. Características físicas del agua residual de la planta

Parámetro		Cuba de enjuague alcalino	Cuba de decapado	Cuba de enjuague ácido	Promedio
Olor	Organoléptico	***	****	****	****
Color	Organoléptico	Amarillo claro	verde	verde	
Temperatura	°C	26.5	23.4	24	24.6
Materia flotante	mg/l	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos totales	mg/l	44508	38422	31220	38050
Sólidos en suspensión	mg/l	488	435	451	458
Sólidos sedimentables	mg/l	8.00	1.06	2.00	3.68

Figura 2. Temperatura del agua residual

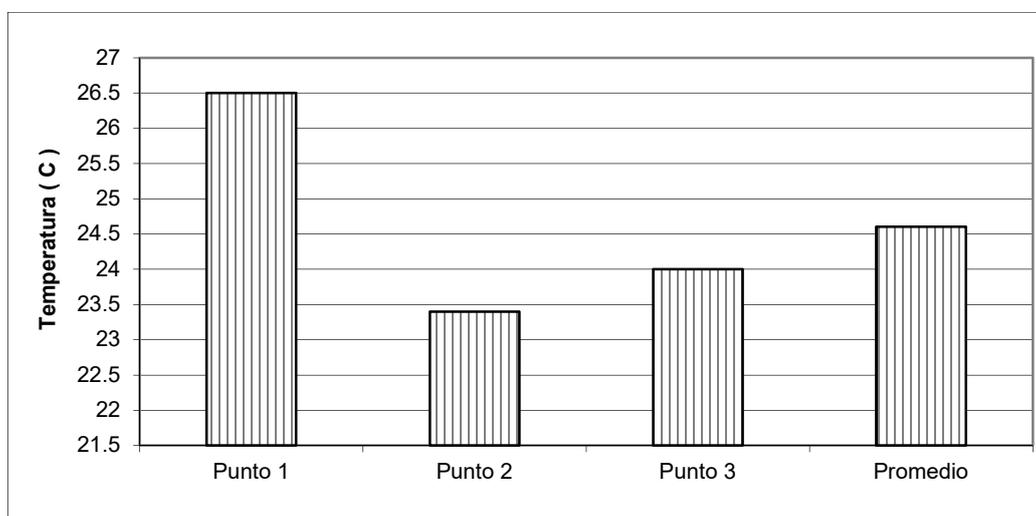


Figura 3. Sólidos totales en el agua residual

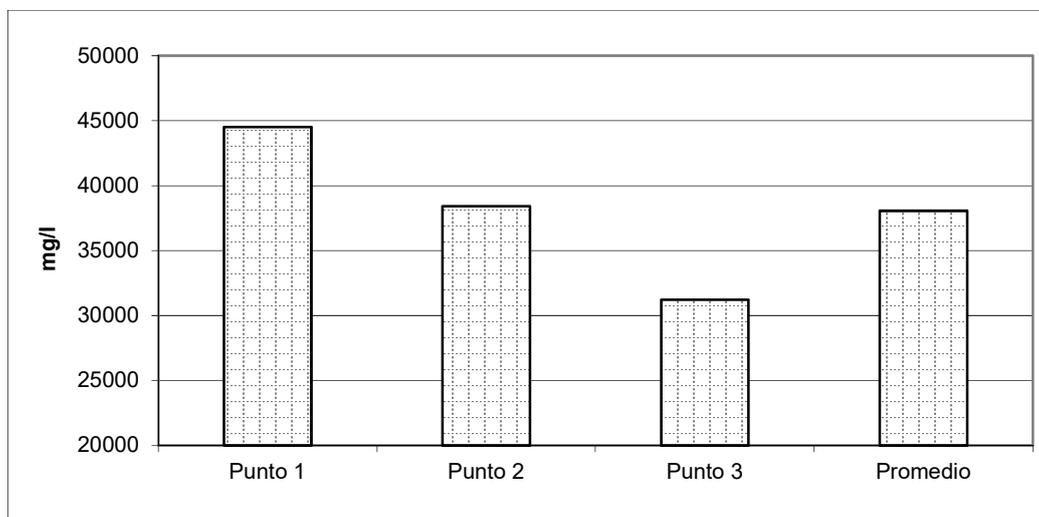


Figura 4. Sólidos suspendidos en el agua residual

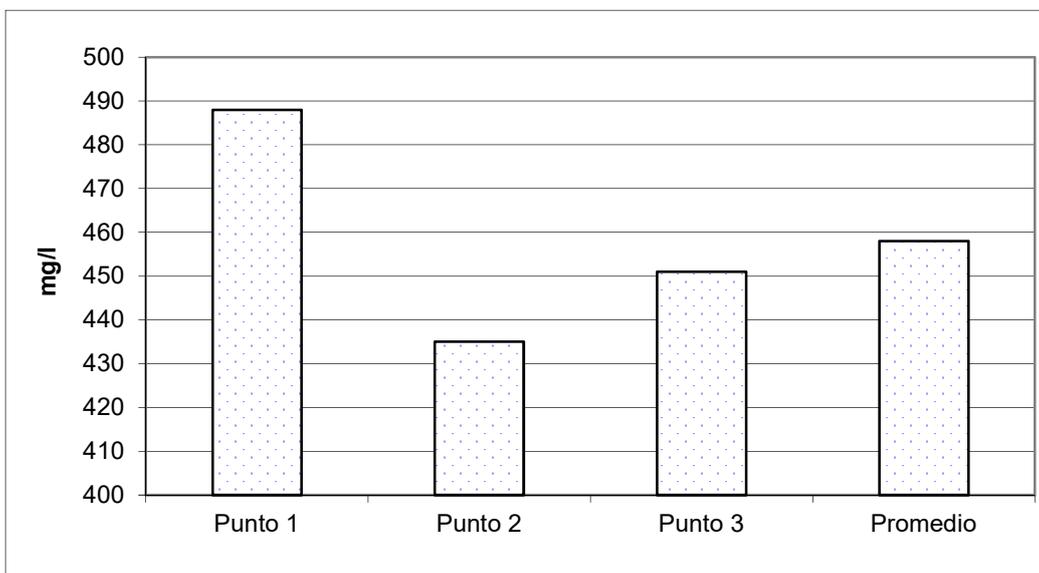


Figura 5. Sólidos sedimentables en el agua residual

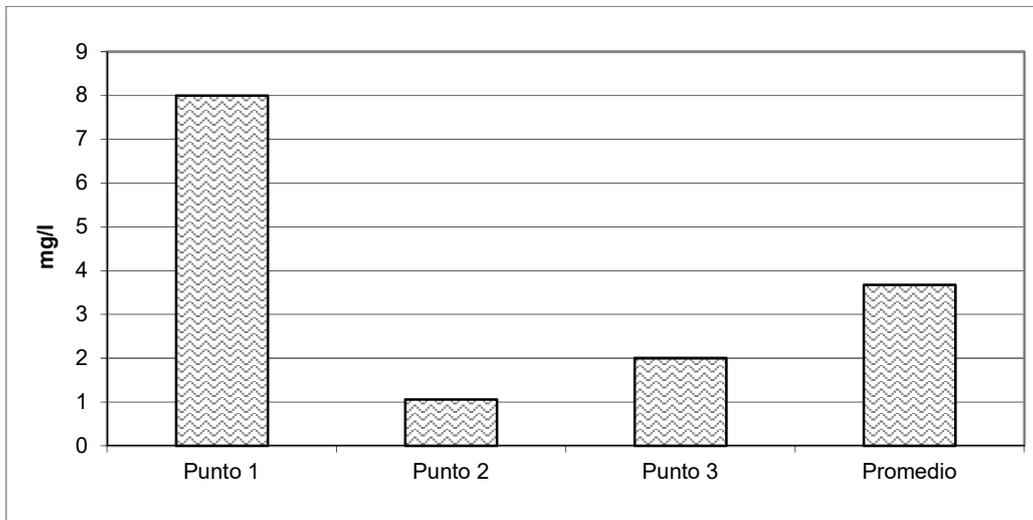


Tabla VIII. Características químicas de la mezcla del agua residual de los tres puntos de muestreo

Parámetro	Unidades	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio
pH		1.48	1.77.	2.37	1.23	1.59
DBO ₅	mg/l	496	521	473	512	500
DQO	mg/l	1110	1336	1260	1485	1297
Grasas y aceites	mg/l	18	20	14	12	16
Nitrógeno total	mg/l	35.0	41.2	26.4	32.3	34
Fósforo total	mg/l	0.7	0.55	0.2	0.18	0.40
Níquel	mg/l	****	****	****	***	***
Cromo total	mg/l	****	****	****	****	***
Hierro	mg/l	1234	1815	1563	1985	1649
Aluminio	mg/l	****	****	****	****	****
Plomo	mg/l	1.0	1.3	0.9	1.0	1.05
Cobre	mg/l	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Sulfatos	mg/l	26533	10121	49385	32319	29590

Figura 6. pH del agua residual

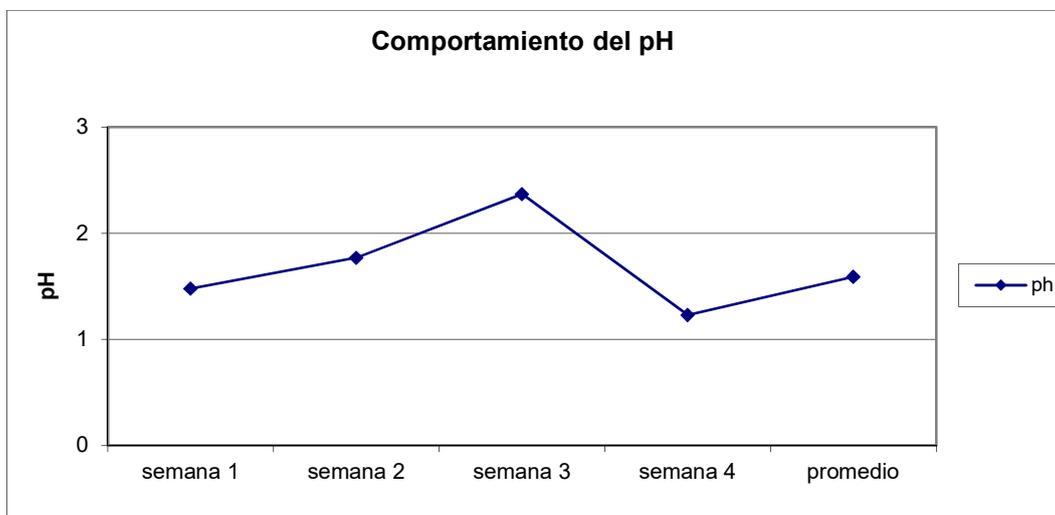


Figura 7. DBO₅ Y DQO del agua residual

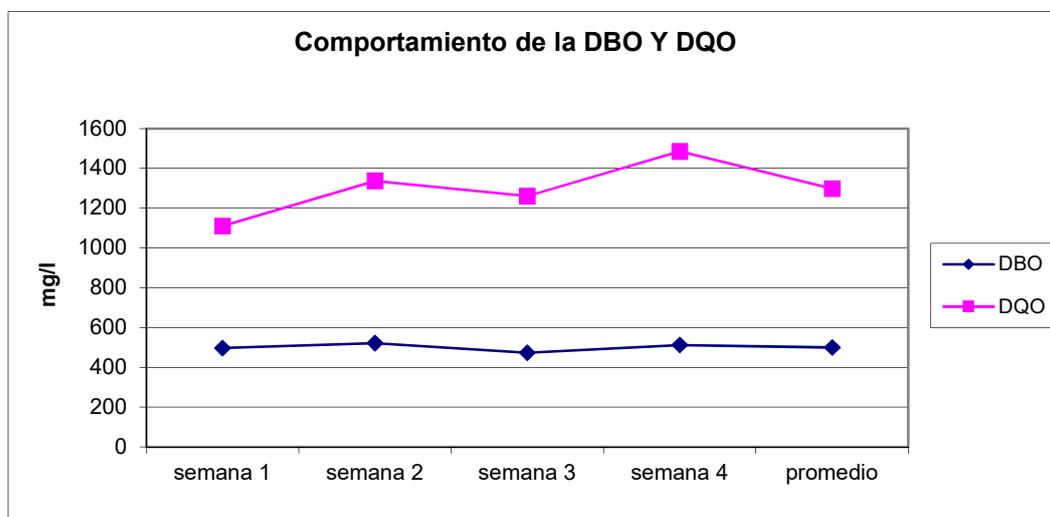


Figura 8. Grasas, aceites y nitrógeno total en las aguas residuales

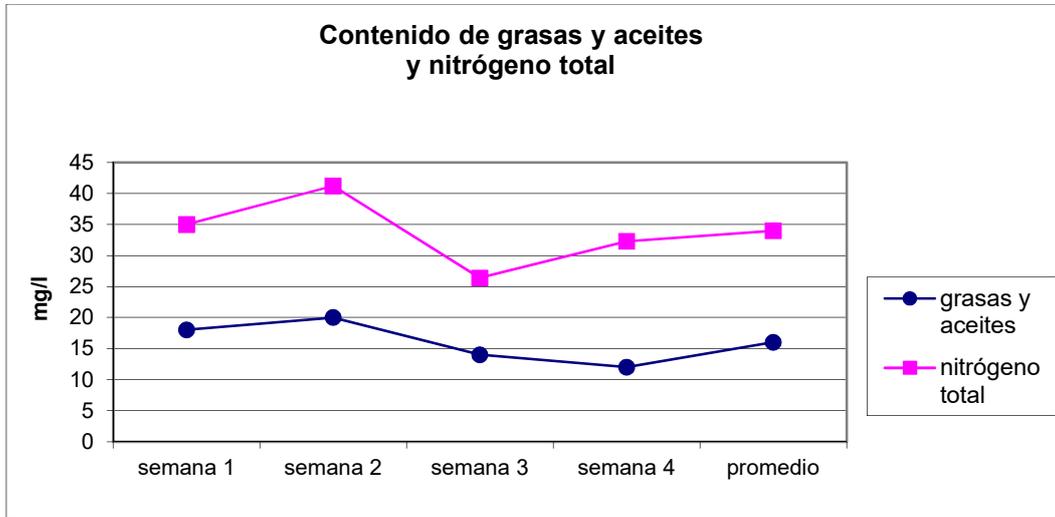


Figura 9. Fósforo total y plomo en el agua residual

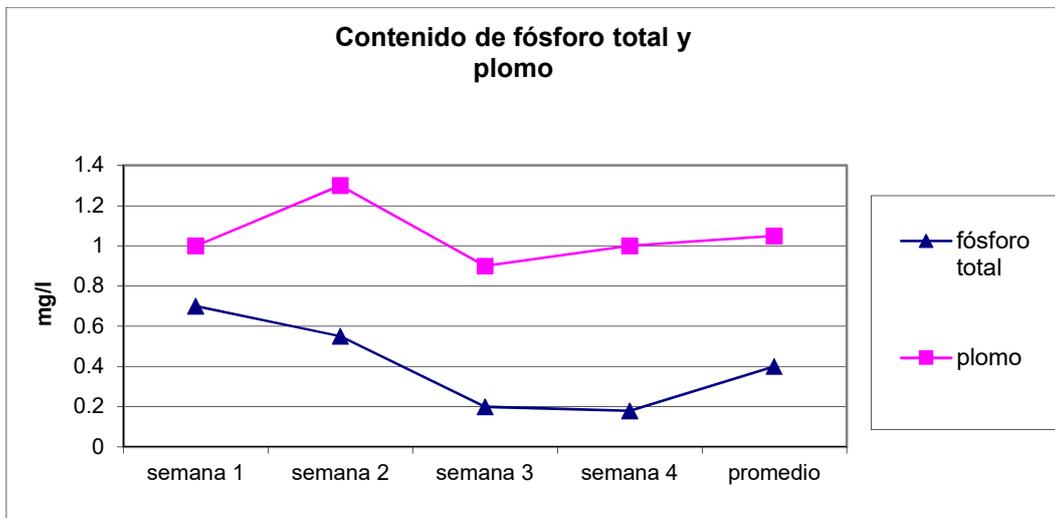


Figura 10. Contenido de hierro en el agua residual

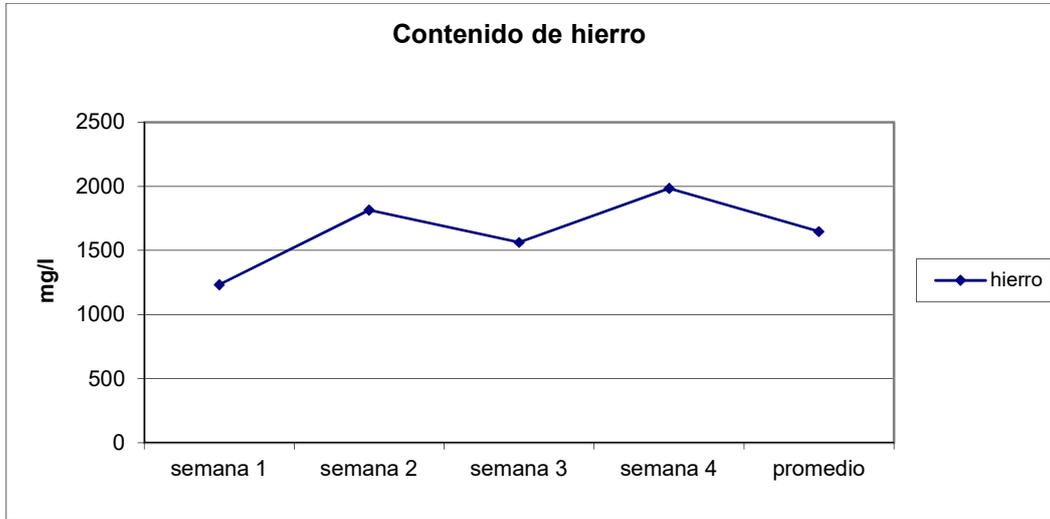
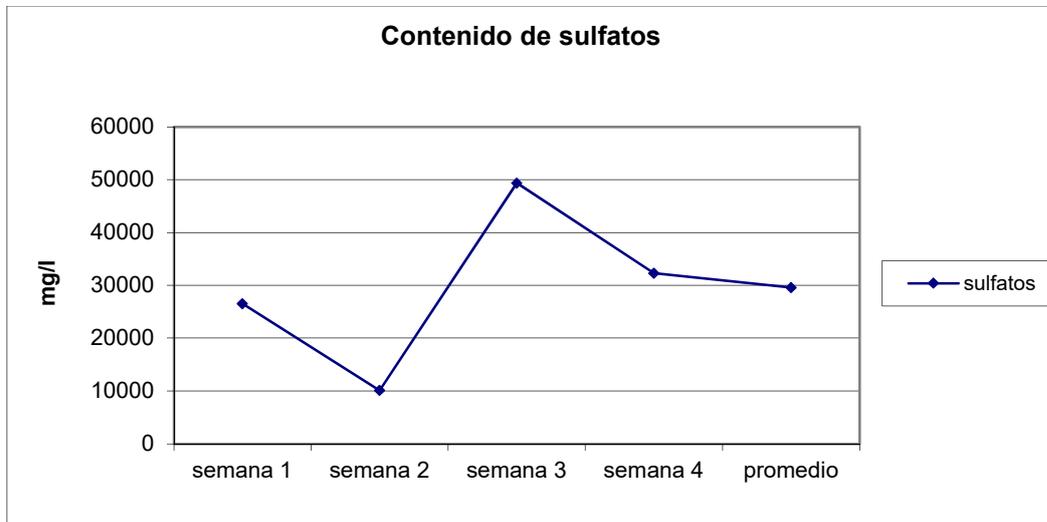


Figura 11. Contenido de sulfatos en el agua residual



7. PROPUESTA DE TRATAMIENTO

7.1 Propuesta de tratamiento de las aguas residuales del proceso

Con base en los resultados de los parámetros de control, se analizaron las condiciones de los efluentes y sus posibles tratamientos, tratando de regular el contenido de la carga contaminante y el cumplimiento de las propuestas de ley, para la descarga de aguas residuales provenientes de industrias transformadoras de metales.

7.1.1 Diseño conceptual

Las aguas residuales pueden tratarse por diferentes métodos, ya sea por métodos químicos o métodos biológicos; para cualquiera de los dos métodos, existe equipo que puede adaptarse a las condiciones del efluente por tratar. Para determinar el método que se va a utilizar, la cooperación técnica alemana (GETZ) establece criterios en su Manual de disposición de aguas residuales, con los cuales se puede establecer si éstas pueden ser tratadas por métodos biológicos con éxito, a partir del cociente DBO_5/DQO , que relaciona diferentes tipos de agua residual.

Tabla IX. Relación DBO_5/DQO para diferentes tipos de agua residual

Tipo de agua residual	Coefficiente DBO ₅ /DQO
Aguas residuales domésticas	~0.5
Aguas residuales comerciales	<0.5
Aguas residuales industriales	>0.5

Respecto a las aguas residuales industriales, un coeficiente mayor de 0.5 indica que un método de tratamiento biológico puede extraer eficientemente la cantidad de sustancias productoras de DBO₅ y DQO. Si se presentaran valores menores, es posible que los compuestos presentes en el efluente residual sean degradados difícil o parcialmente, que conlleva a que los métodos biológicos utilizados sean inhibidos, como resultado de efectos tóxicos.

Es por eso que la Corporación técnica alemana proporciona las siguientes conclusiones, con base en los coeficientes DBO₅/DQO:

- Aguas residuales fáciles de tratar biológicamente 0.6
- Aguas residuales accesibles a un tratamiento biológico 0.4
- Aguas inaccesibles a un tratamiento biológico o que necesitan aclimatación 0.2
- Ambiente tóxico que no permite aclimatación 0.0

En las aguas residuales analizadas, el cociente DBO₅/DQO es de:

$500/1297 = 0.385$, el cual las ubica dentro de aquellas inaccesibles a un tratamiento biológico. Como medida de acondicionamiento de las aguas residuales industriales, se propone el siguiente proceso que se ilustra en las figuras 14,15 y 16.

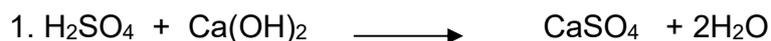
Como tratamiento preliminar para el acondicionamiento de las aguas residuales, se propone la instalación de una rejilla , con el fin de retener todo el material grueso y basuras, que pueda afectar los equipos posteriores.

Seguido de esto se propone, para el tratamiento, un proceso de precipitación química y neutralización de las aguas residuales, con el objeto de lograr la remoción de la DBO₅, DQO, sólidos suspendidos y la remoción de contaminantes que puedan precipitar. El proceso de tratamiento involucra dos pasos:

1. Neutralización del ácido sulfúrico presente.
2. Neutralización del ácido por oxidación.

En el primer paso, se propone la neutralización del ácido con cal y la utilización de un floculante, con lo cual se pretende que el ácido presente se neutralice, se precipite como sulfato de calcio y se logre que el pH del efluente esté entre 8 y 9. Luego de esto, se someterá el efluente a una aireación intensiva, para lograr una neutralización del ácido por oxidación, con la ayuda de un aireador con esto el hierro se oxidará a su forma férrica y se precipitará, si el pH es cercano a 8.

Las reacciones y consecuencias de estas etapas son las siguientes:



Posteriormente, se utilizará una bomba centrífuga para enviar el líquido neutralizado hacia un sedimentador vertical, para retener en reposo los fluidos filtrados y separare los lodos formados por gravedad, los cuales serán enviados a un filtro prensa, con el objeto de separar y deshidratar los lodos formados.

El líquido superior del sedimentador será enviado a un filtro de arena , el cual retendrá el resto de sólidos suspendidos, que pudiera arrastrar el agua neutralizada y libre de hierro; el efluente resultante será dispuesto en el drenaje municipal.

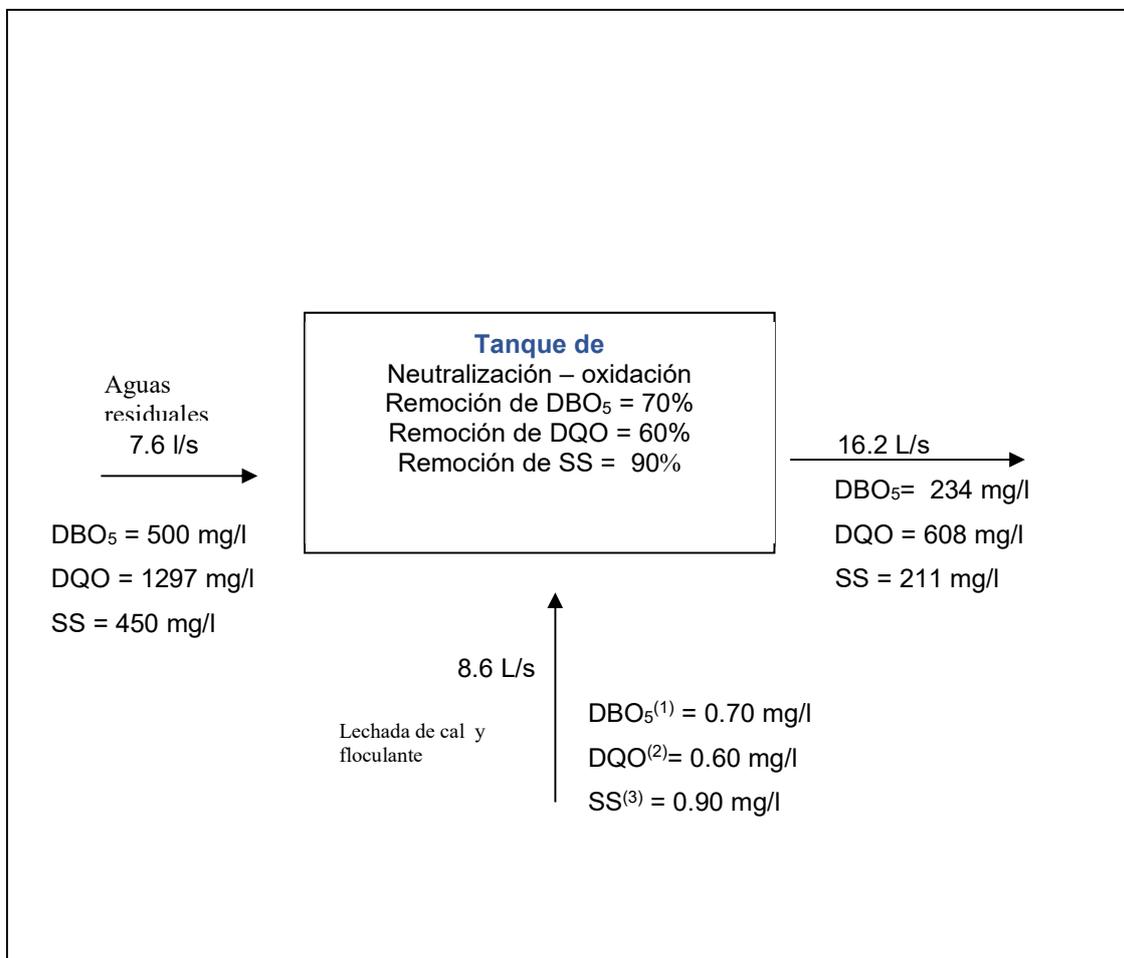
Con el tratamiento propuesto, se pretende una remoción del 70% de la DBO_5 , 60% de la DQO y 90% de los sólidos suspendidos ; con esto se lograría que el efluente residual se encuentre dentro de los parámetros establecidos por las leyes reguladoras de aguas residuales . El balance de masa en el tanque de neutralización-oxidación se muestra en la figura 12, en donde se observa que utilizando dicho método; se logra que los parámetros descritos anteriormente lleguen a niveles establecidos por la ley, como lo indican las tablas IV y V.

7.1.2 Tratamiento de lodos

Para realizar el tratamiento y disposición final de los lodos, se realizará una serie de pasos, como se puede observar en la figura 14 y 15; del tanque de neutralización se enviará por medio de una bomba el líquido neutralizado y los lodos formados a un sedimentador vertical, en donde los lodos se espesarán y concentrarán para reducir su volumen. Estos serán enviados a un filtro prensa, con el objeto de eliminar la mayor cantidad posible de agua de los lodos, hasta obtener una pasta compacta, con menor contenido de humedad y menor volumen; de esta manera se hace más fácil su disposición final.

Los lodos deshidratados consistirán básicamente de hidróxido férrico, sulfato de calcio e hidróxido de calcio en exceso. Estos residuos no están clasificados como peligroso, y serán dispuestos finalmente en una fosa construida como relleno para el desecho de los lodos.

Figura 12. Balance de masa para DBO₅, DQO y sólidos, que están suspendidos en el tanque de neutralización-oxidación



Nota:

- (1) Asumiendo una remoción por el método de precipitación del 70%.
- (2) Asumiendo una remoción por el método de precipitación del 60%.
- (3) Asumiendo una remoción por el método de precipitación del 90%.

Figura 13. Diagrama de bloques para el sistema de tratamiento de agua residual propuesto

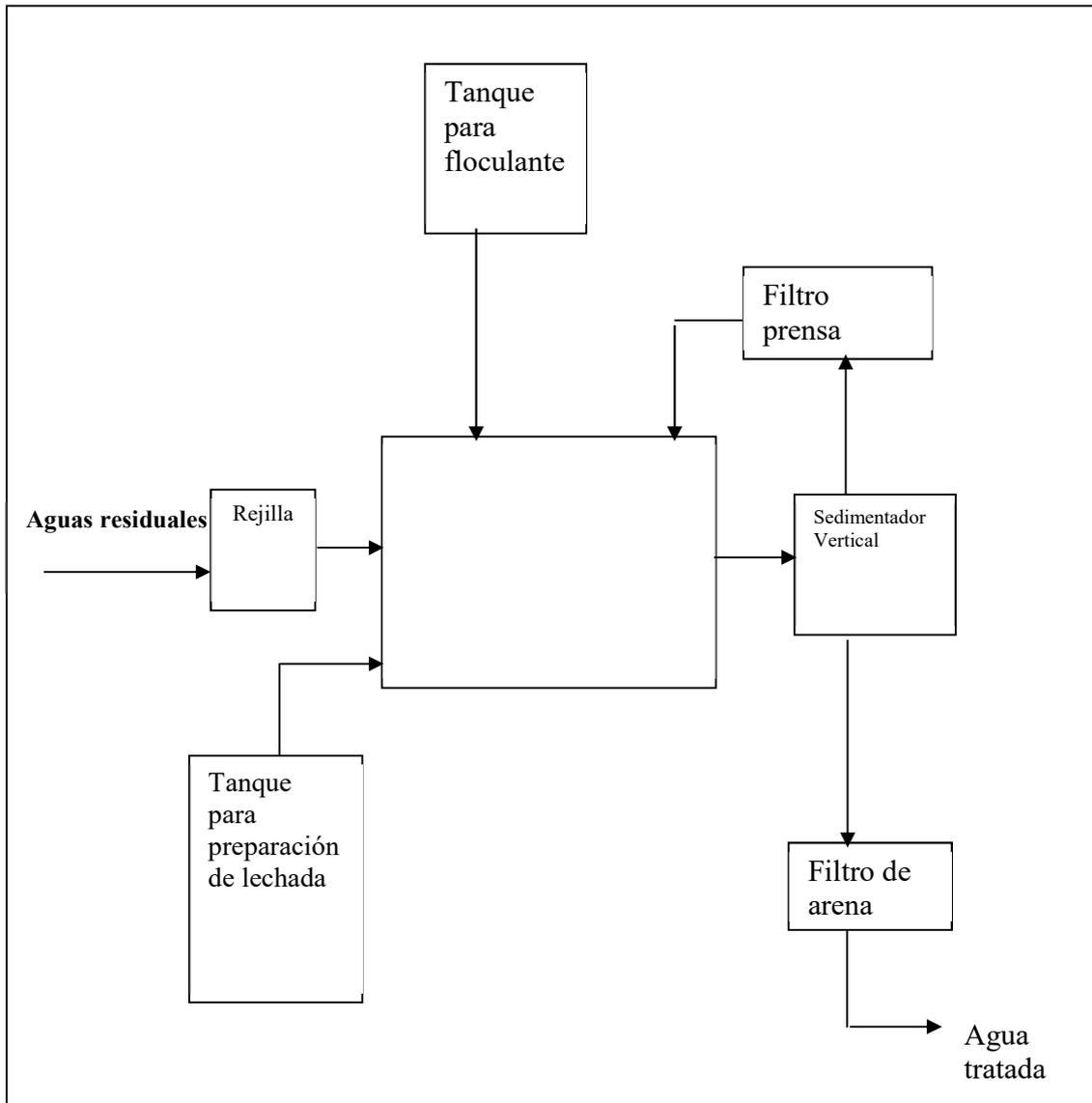


Figura 14. Diagrama de flujo para el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto

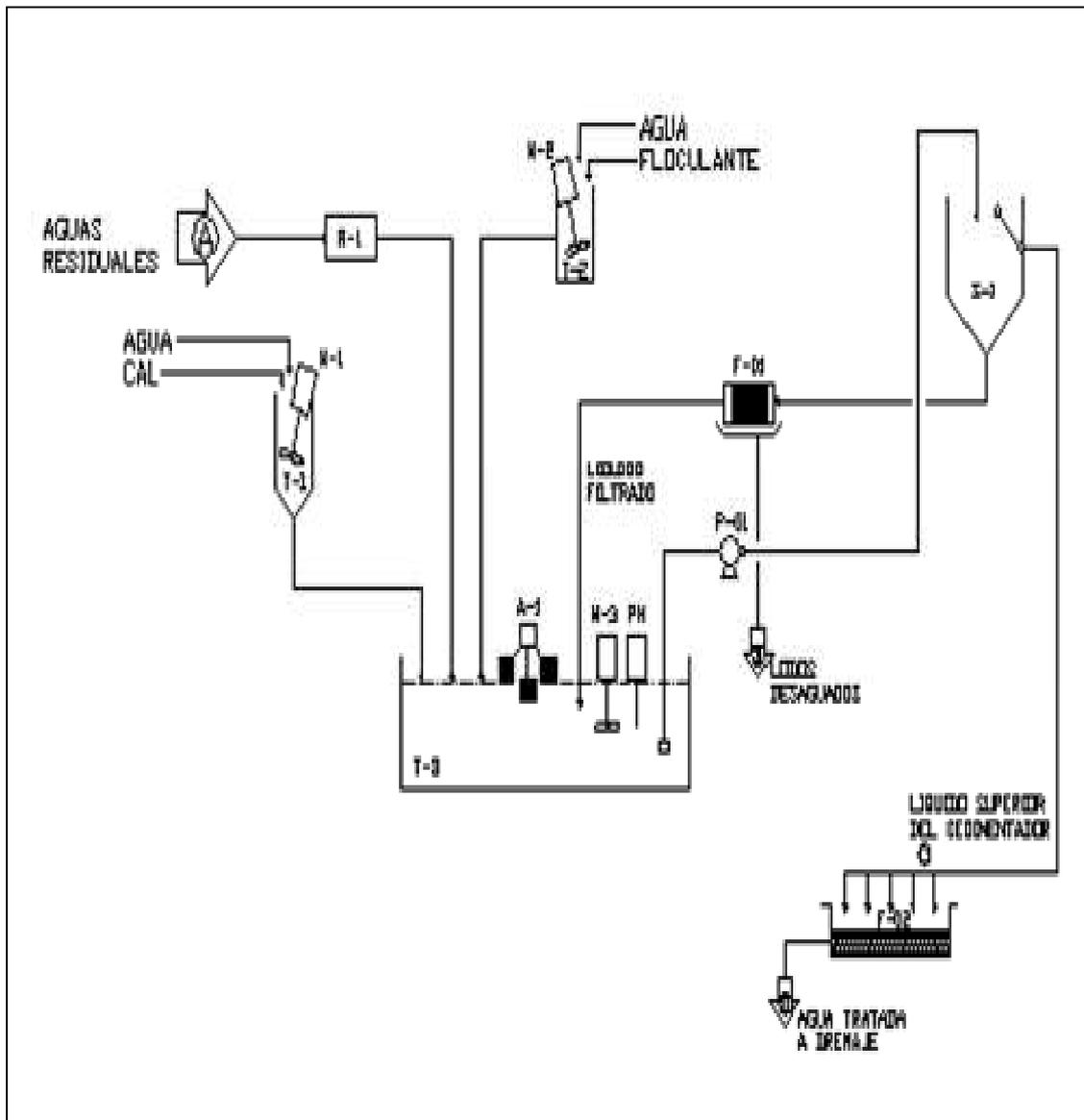


Figura 15. Diagrama de proceso e instrumentación (P.&I.D), para el sistema de tratamiento de agua residual propuesto

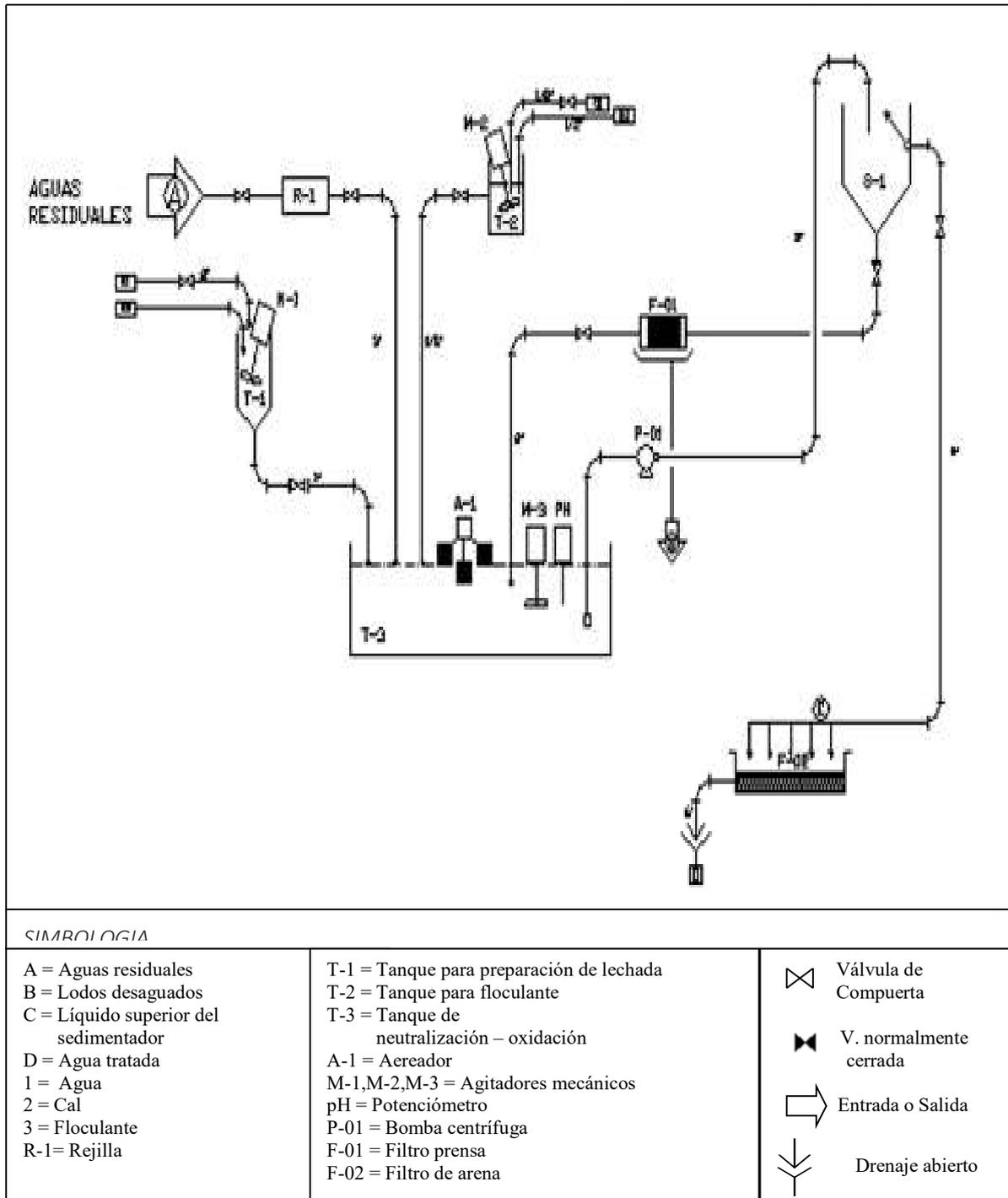
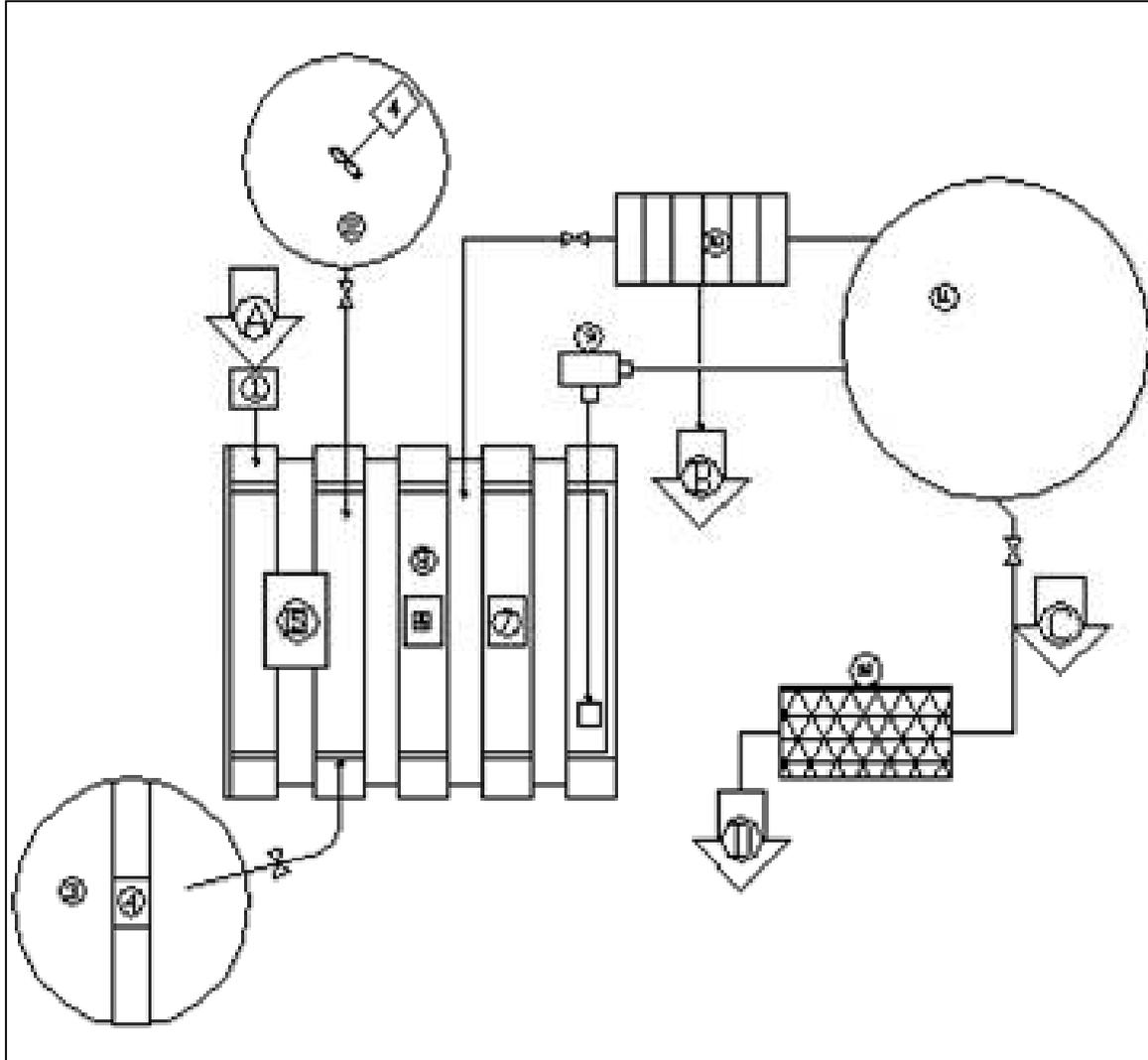


Figura 16. Diagrama de disposición (Lay out), para el sistema de tratamiento de agua residual propuesto.



DESCRIPCION DEL EQUIPO	
A = Aguas residuales	4 = Agitador mecánico
B = Lodos desaguados	5 = Aireador
C = Líquido superior del sedimentador	7 = Potenciómetro
D = Agua tratada	8 = Tanque de neutralización- oxidación
1 = Rejilla	9 = Bomba centrífuga
2 = Tanque para floculante	10 = Filtro prensa
3 = Tanque para preparación de lechada	11 = Sedimentador vertical
	12 = Filtro de arena

7.1.3 Dimensionamiento de equipos

Las dimensiones de los equipos requeridos en la unidad de tratamiento se detallan a continuación:

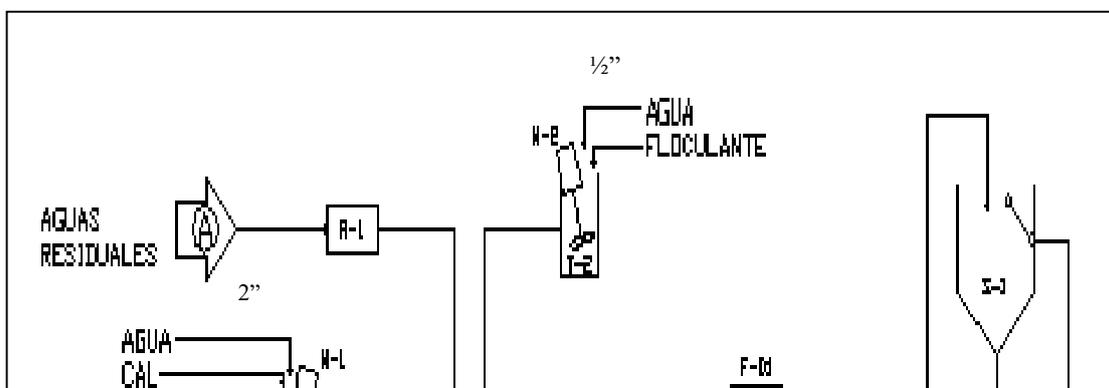
Tabla X. Dimensionamiento de equipo (figura 17)

No.	CLAVE	EQUIPO	CAPACIDAD
1	R-1	Rejilla	Abertura máxima de 2.5 mm
1	T-1	Tanque para preparación de lechada	15 m ³
1	T-2	Tanque para floculante	180 litros
1	T-3	Tanque de neutralización / oxidación	30 m ³
1	pH	Potenciómetro	***
1	S-1	Sedimentador vertical	15m ³
1	F-01	Filtro prensa	1.5m ³ de retención
1	F-02	Filtro de arena	***
1	P-01	Bomba centrífuga	6 Kw.
1	A-1	Aereador	7.0 Kw.
1	M-1	Agitador mecánico tanque preparación de lechada	3 Kw.
1	M-2	Agitador mecánico tanque floculante	0.25 Kw.
1	M-3	Agitador mecánico tanque neutralización / oxidación	6 Kw.

Tabla XI. Diámetros de tubería (figura 17)

Recorrido		Diámetro en pulgadas
Desde	Hacia	
A	R-1 y T-3	3
T-11	T-3	3
T-2	T-3	½
F-01	T-3	2
T-3	S-1	3
S-1	F-01	3
F-01	T-3	2
S-01	F-02	2
AGUA	T-1	2
AGUA	T-2	½
F-02	DRENAJE	6

Figura 17. Dimensionamiento de equipos



7.1.4 Especificación de equipos

La especificación de los equipos requeridos, en la unidad de tratamiento de aguas residuales, se detallan a continuación.

Tabla XII. Especificación de equipo

CLAVE	EQUIPO	Material y Especificación	CAPACIDAD
R-1	Rejilla	Material = acero inoxidable Barras de 65mm x 10mm Abertura máxima = 2.5mm	*****
T-1	Tanque para preparación de lechada de cal	Material : hierro Diámetro = 2 m	15 m ³
T-2	Tanque para floculante	Material : plástico	180 litros
T-3	Tanque de Neutralización / oxidación	Material : concreto	30 m ³
pH	Potenciómetro		
S-1	Sedimentador vertical	Material: hierro Diámetro = 3m	15 m ³
F-01	Filtro prensa	60 marcos 1m X 1m Área de filtración = 100m ²	Retención de 1.5 m ³ de lodos deshidratado
F-02	Filtro de arena	Area = 2 X 3 m Material filtrante = grasa y arena	****
P-01	Bomba centrífuga		6 Kw.
A-1	Aerador		7.0 Kw.
M-1	Agitador mecánico Tanque preparación de lechada	Volumen de agitación = 15 m ³	3 Kw.
M-2	Agitador mecánico tanque floculante	Volumen de agitación = 0.2 m ³	0.25 Kw.
M-3	Agitador mecánico Tanque neutralización / oxidación	Volumen de agitación 30m ³	6 Kw.

Tabla XIII. Especificación de tubería

Recorrido		Diámetro en pulgadas	Materiales
Desde	Hacia		
A	R-1 y T-3	3	PVC
T-1	T-3	3	Galvanizada
T-2	T-3	½	PVC
F-01	T-3	2	Galvanizada
T-3	S-1	3	Galvanizada
S-1	F-01	3	Galvanizada
F-01	T-3	2	Galvanizada
S-01	F-02	2	Galvanizada
AGUA	T-1	2	Galvanizada
AGUA	T-2	½	Galvanizada
F-02	Drenaje	6	Concreto

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos de la DBO₅ y DQO, en las mediciones efectuadas de las aguas residuales de la industria en estudio, indican que en el efluente residual existe una elevada concentración de compuestos químicos orgánicos no degradables, que las clasifica fuera de los índices legislados.
2. El cociente DBO₅/DQO = 0.385, en las aguas residuales analizadas, las ubica dentro de los residuos industriales, que no pueden ser tratados por métodos biológicos.
3. El agua residual generada en la industria en estudio no cumple con los parámetros especificados en el Reglamento de requisitos máximos y mínimos de contaminación, en la descarga de aguas residuales.
4. Utilizando el método propuesto para el tratamiento de agua residual, se logra una remoción del 70% de la DBO₅, 60% de la DQO y 90% de los sólidos suspendido, con lo cual se obtienen concentraciones permitidas dentro de las legislaciones.

RECOMENDACIONES

1. Se deben evaluar los pasos efectuados en el proceso de galvanizado para reducir el arrastre de residuos, con la finalidad de disminuir la carga contaminante en las aguas residuales del proceso.
2. Se debe dar el mantenimiento a los equipos utilizados en la planta de tratamiento de aguas residuales, para su óptimo funcionamiento en la remoción de contaminantes.
3. Después de realizar el tratamiento propuesto para el agua residual, hay que caracterizar nuevamente los residuos , con el propósito de verificar que el líquido tratado se encuentre dentro de los parámetros regulados por la ley.

BIBLIOGRAFÍA

1. Avallone, Eugene y Theodore Baumber III. **Manual de Ingeniero Mecánico**. 3ª. ed.esp. (Volumen I). México: McGraw-Hill, 1999.
2. CAMARA DE INDUSTRIA DE GUATEMALA. Propuesta de parámetros para la descarga de aguas residuales del sector productivo. Guatemala , 1999.
3. COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA) **Propuesta de reglamentos y normas técnicas ambientales** . Guatemala, 1997.
4. DEPARTAMENTO DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO , VIVIENDA Y. MEDIO AMBIENTE (IHOBE) DEL GOBIERNO VASCO. **Libro blanco de minimización de residuos y emisiones en el sector de galvanizado en caliente**. Comunidad autónoma Vasca, 2001
5. GTZ **Manual de disposición de aguas residuales. Origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales**. Tomo II . Perú. 1991
6. METCALF & EDDY. **Ingeniería de las aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización**. Tomo I. México: McGraw-Hill, 1996

ANEXOS

ANEXO I. Metodología de investigación

Ubicación

La empresa en estudio se encuentra ubicada en la colonia Alvarado zona 2 de Mixco.

Recurso humano

- Asesor de protocolo
- Revisor de protocolo
- Departamento de Control de Calidad de la fábrica.

Materiales

- Material bibliográfico
- Internet
- Manuales
- Reglamentos de ley

Metodología experimental

Puntos de muestreo

Para realizar el presente estudio, se recolectarán muestras de las aguas residuales, que son generadas en los distintos pasos del proceso.

Los puntos de muestreo son los siguientes (ver figura 1):

- Cuba de lavado de desengrase alcalino
- Cuba de decapado
- Cuba de enjuague de ácido (lavado posterior al decapado)

Recolección de muestras

Las muestras por recolectar será una muestra compuesta compensada; este tipo de muestreo se realiza, cuando se conoce el volumen evacuado de desagüe. La toma de muestras se realizará con un cucharón de boca ancha, para permitir el acceso y descarga de sólidos, convenientemente largo, para extraer el volumen requerido. El muestreo se hará cada vez que el departamento de Control de Calidad del Proceso determine que es necesario desechar las cubas de enjuague ácido y alcalino, y el tanque de decapado, debido a la pérdida de sus propiedades de limpieza y tratamiento de la superficie metálica

ANEXO 2. Características químicas del agua residual, enjuague alcalino, cuba de decapado y enjuague ácido

Tabla XIV Características químicas del agua residual cuba de enjuague alcalino

Parámetro	Unidades	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
pH		12.54	11.22	11.34	12.32
DBO	mg/l	567	498	531	476
DQO	mg/l	1311	1529	1221	1184
Grasas y aceites	mg/l	22	32	18	25
Nitrógeno total	mg/l	48	44	36	26.4
Fósforo total	mg/l	0.7	0.2	0.3	0.2
Níquel	mg/l	***	***	***	***
Cromo total	mg/l	***	***	***	***
Hierro	mg/l	80.13	110	90.4	55
Zinc	mg/l	2.8	1.2	0.97	1.56
Aluminio	mg/l	***	***	***	***
Plomo	mg/l	***	****	****	****
Cobre	mg/l	<1	<1	<1	<1
Sulfatos	mg/l	***	***	***	***

Tabla XV Características químicas del agua residual cuba de decapado

Parámetro	Unidades	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
pH		1.2	1.58	1.44	1.6
DBO	mg/l	543	485	588	423
DQO	mg/l	1262	1314	1500	1025
Grasas y aceites	mg/l	<1	<1	<1	<1
Nitrógeno total	mg/l	68.3	74	48	66.2
Fósforo total	mg/l	0.9	1.2	1.8	0.66
Níquel	mg/l	****	****	****	****
Cromo total	mg/l	****	****	****	****
Hierro	mg/l	1466	1650	1990	1126
Zinc	mg/l	0.10	2.3	1.5	1.6
Aluminio	mg/l	****	****	****	****
Plomo	mg/l	1.2	0.7	0.2	****
Cobre	mg/l	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Sulfatos	mg/l	48863	38863	11136	11452

Tabla XVI Características químicas del agua residual cuba de enjuague ácido

Parámetro	Unidades	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
pH		3.61	4.00	2.47	1.65
DBO ₅	mg/l	566	486	522	474
DQO	mg/l	1142	1288	1415	1125
Grasas y aceites	mg/l	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno total	mg/l	35.0	41.2	26.4	32.3
Fósforo total	mg/l	0.7	0.55	0.2	0.18
Níquel	mg/l	****	****	****	***
Cromo total	mg/l	****	****	****	****
Hierro	mg/l	838	528	959	723
Zinc	mg/l	0.80	2.33	1.26	0.77
Aluminio	mg/l	****	****	****	****
Plomo	mg/l	1.1	1.2	0.9	0.77
Cobre	mg/l	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Sulfatos	mg/l	434	327	519	225

