



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HÍDRICOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA SANITARIA**

**CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO
DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE
GALVANIZADO DE LÁMINA POR INMERSIÓN EN
CALIENTE**

Ing. Reinaldo Heriberto García Guillermo

Asesorado por: MSC. ING. GUILLERMO GARCÍA OVALLE

Guatemala, junio de 2014

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IV
RESUMEN.....	V
OBJETIVOS.....	VI
HIPÓTESIS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	VIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	IX
JUSTIFICACIÓN.....	X
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	1
1.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA	1
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	1
2. PROCESO DE GALVANIZACIÓN	3
2.1 GALVANIZACIÓN	3
2.2 GALVANIZACIÓN POR INMERSIÓN EN CALIENTE	4
3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE GALVANIZADO DE LÁMINA ...	6
3.1 MATERIA PRIMA.....	6
3.2 INSUMOS.....	7
3.3 SECCIÓN DE CORTE	7
3.4 GALVANIZACIÓN DE LAMINA	8
3.4.1 DESENGRASE	8
3.4.2 DECAPADO	9
3.4.3 GALVANIZACIÓN	9
3.4.4 SELLADO DE ZINC	11
3.5 SECCIÓN DE CORRUGADO	12
4. AGUAS RESIDUALES	16
4.1 DEFINICIÓN DE AGUAS RESIDUALES	16

4.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	16
4.2.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	16
4.2.2	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	21
4.2.3	CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS	27
5.	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	29
5.1	PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	29
5.1.1	PROCESOS FÍSICOS	29
5.1.2	PROCESOS QUÍMICOS	30
5.1.3	PROCESOS BIOLÓGICOS	30
6.	ASPECTOS LEGALES	31
6.1	DECRETO 68-86 LEY DE PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.	31
6.2	REGLAMENTO DE REQUISITOS MÍNIMOS Y SUS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINACIÓN PARA LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES ACUERDO GUBERNATIVO No. 60-89	32
7.	METODOLOGÍA	35
7.1	IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE GALVANIZADO DE LAMINA POR INMERSIÓN EN CALIENTE	35
7.2	IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO	36
8.	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS	40
9.	CARACTERIZACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	45
10.	DETERMINACIÓN DE CAUDAL Y CARGA CONTAMINANTE	47
10.1	DETERMINACIÓN DE CAUDAL	47
10.2	CARGA CONTAMINANTE	49
10.2.1	CARGA CONTAMINANTE DEL DECAPADO Y DESENGRASE.....	49
10.2.2	CARGA CONTAMINANTE DEL SELLADO DE ZINC	50
11.	PROPUESTA DE TRATAMIENTO	51

11.1 TRATAMIENTO POR PROCESOS BIOLÓGICOS	51
11.2 TRATAMIENTO POR PROCESOS QUÍMICOS Y FÍSICOS PARA REMOCIÓN DE HIERRO Y CLORUROS	52
11.2.1 NEUTRALIZACIÓN DE ÁCIDOS	53
11.2.2 AIREACIÓN PARA REMOCIÓN DE HIERRO	54
11.2.3 SEDIMENTACIÓN	55
11.2.4 INTERCAMBIO ANIÓNICO PARA REMOCIÓN DE CLORUROS	56
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proceso de desengrase y decapado	10
2.	Proceso de sellado de zinc	12
3.	Influencia de la constante cinética de reacción en la DBO	23
4.	Plano de localización de la planta de galvanizado de lamina.....	39
5.	Procesos unitarios de tratamiento	52

TABLAS

1.	Limites máximos permisibles de contaminación para la descarga de las Aguas servidas de diferente origen	33
2.	Limites máximos permisibles de contaminación para la descarga de las Aguas servidas provenientes de las industrias procesadoras de metales y otras que empleen sales metálicas	34
3.	Características físicas y químicas de las muestras puntuales del agua residual del decapado y desengrase	40
4.	Características físicas y químicas de la muestra compuesta del 02/junio/2004 del agua residual del decapado y desengrase.....	42
5.	Características físicas y químicas de la muestra compuesta del 02/junio/2004 del agua residual del sellado de zinc	43
6.	Características químicas y físicas de las muestras compuestas del agua residual del decapado y desengrase.....	44
7.	Características químicas y físicas de las muestras compuestas del agua residual del sellado de zinc	44

RESUMEN

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

Para determinar la carga contaminante de las aguas residuales, se recolectaron muestras compuestas de los dos puntos de descarga del proceso, desengrase-decapado y sellado de zinc. Seguidamente se analizaron las muestras para determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Como resultado del análisis, se determinó que las aguas residuales provenientes del proceso de desengrase-decapado y del sellado de zinc no cumplen con los parámetros legislados; se encontró que la relación DBO_5/DQO es de 0.26 y 0.35 respectivamente, lo que indica que las aguas residuales contienen una cantidad de compuestos no degradables.

Tomando como base esta información, se propuso un tratamiento desde el punto de vista teórico, que consiste en un proceso de neutralización de ácidos, aireación, sedimentación e intercambio aniónico.

OBJETIVOS

Objetivo general

Caracterizar el agua residual de la industria de galvanizado de lámina, de la planta de lámina de la Corporación Aceros de Guatemala S.A., para proponer un sistema de tratamiento que contribuya a salvaguardar la salud pública y el ambiente.

Objetivos específicos

1. Analizar el efluente de agua residual generado en el proceso unitario de desengrase y decapado, proceso industrial de galvanizado de lámina.
2. Analizar el efluente de agua residual generado en el proceso unitario de sellado de zinc, del proceso industrial de galvanizado de lamina.
3. Determinar la concentración de los contaminantes que se descargan para establecer el grado de contaminación de las aguas analizadas, así mismo establecer la carga contaminante producida por día.
4. Proponer los procesos unitarios para el tratamiento para la remoción de la carga contaminante de acuerdo a los resultados obtenidos, normas y reglamento que rige el gobierno de Guatemala.

HIPÓTESIS

Las aguas residuales de la industria de galvanizado de lamina por inmersión en caliente, tiene algunos parámetros como el potencial de hidrogeno (pH), cloruros y hierro con valores arriba de los limites máximos permisibles que establece el reglamento para Guatemala; los cuales pueden ser tratados por procesos fisicos y químicos.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el acero es el metal mas empleado en el mundo, sin embargo los aceros comunes no son resistentes a la corrosión porque tienen una serie de limitaciones. El galvanizado es un método que se utiliza para mejorar la calidad del acero y lograr una resistencia a la corrosión mediante un recubrimiento de zinc en la superficie.

En los procesos unitarios se utiliza agua, que después de usarse es descargada como agua residual, la cual ha sufrido alteraciones, es decir, que contiene una gran variedad de sustancias que afectan al medio ambiente.

Al realizar un proyecto de cualquier índole y este tenga éxito, es necesario una buena planificación, para tratar adecuadamente las aguas residuales se requiere que se tenga información necesaria. Esto significa que antes de comenzar a reducir la contaminación, es necesario saber cuanto se esta contaminando, ya que a partir de ese conocimiento se deben de adoptar los procesos mas adecuados.

Tiene como finalidad el presente trabajo de caracterizar el agua residual y proponer los procesos unitarios para su tratamiento.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Corporación Aceros de Guatemala S.A., en su planta de lámina desarrolla el proceso de galvanización de lamina de acero del tipo rolada en frío, para obtener como producto final “lamina galvanizada”. En el proceso podemos mencionar el decapado, el desengrase, la galvanización y el sellado de zinc como las más importantes.

En la planta de lamina se general dos tipos de agua residual independientes, donde ambas contienen diferentes tipos de metales pesados, en donde se podría mencionar que una de las aguas residuales contiene desengrasante tipo alcalino y ácido clorhídrico, mientras tanto el otro efluente contiene ácido crómico y zinc.

Básicamente, el problema que se tiene es de que no se conocen las características físicas, químicas y biológicas con las que se están desechando las aguas residuales del proceso de galvanizado de lámina.

JUSTIFICACIÓN

Como en todo país en vías de desarrollo se van desarrollando industrias de toda índole o bien industrias realizan mejoras a sus sistemas de producción, y estos no toman en cuenta el impacto ambiental que generan al realizar estas actividades, así mismo Guatemala no tiene leyes para exigir a todas las empresas industriales que den un tratamiento a sus aguas residuales, por lo tanto se tiene contaminación a ríos, lagos y otros cuerpos receptores.

La Corporación Aceros de Guatemala S.A., es una industria que se dedica en sus diferentes plantas industriales al proceso de acero, obteniendo en cada planta productos como: alambre de amarre, alambre espigado, clavos, hierro corrugado, angulares y lámina galvanizada. En el proceso industrial de cada planta, el agua se utiliza como materia prima.

El agua utilizada en todas las plantas de la Corporación son provenientes de pozos propios y después de ser utilizada se descargan en forma de agua residual ya sea a pozos de absorción o a las alcantarillas municipales. De las diferentes aguas residuales no se tiene información por lo tanto el presente estudio tendrá como finalidad *caracterizar y proponer el tratamiento de las aguas residuales de la industria de galvanizado de lámina por inmersión en caliente.*

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Antecedentes de la empresa

La industria Aceros de Guatemala S.A., forma parte de una corporación de empresas dedicadas a la fabricación de productos de acero para la construcción. Fue fundada en el año 1963 y a la fecha es considerada como una de las empresas líderes en la industria de transformación de acero en el ámbito nacional.

1.2 Ubicación de la empresa

La industria Aceros de Guatemala S.A., se encuentra ubicada en la 33 calle 24-65 zona 12 de la ciudad capital de Guatemala.

1.3 Descripción de la empresa

Como fue mencionado, Aceros de Guatemala S.A., es una empresa dedicada a la fabricación, a partir de materia prima nacional e importada, de productos derivados del acero para la construcción y está conformada por las plantas de manufactura siguientes:

Planta de laminación de barras: por medio del proceso de laminación en caliente se producen barras corrugadas para refuerzo de concreto a partir de palanquilla de acero al carbón.

Planta de laminación de perfiles: por medio del proceso de laminación en caliente se producen angulares, hembras, barras cuadradas y redondas lisas a partir de palanquilla de acero al carbón.

Planta de alambre y clavo: por medio del proceso de trefilación se produce alambre a partir de alambión de acero al carbón. Al realizar la galvanización por inmersión en caliente del alambre trefilado se produce alambre galvanizado. Con el recocido del alambre trefilado se obtiene alambre de amarre, clavos para madera y lamina. El alambre espigado se obtiene del alambre de galvanizado

Planta de galvanización de lámina: por medio del proceso de galvanización por inmersión en caliente se produce lámina galvanizada acanalada y lisa a partir de rollos de lámina de acero laminada en frío.

2. PROCESO DE GALVANIZACIÓN

2.1 Galvanización

La galvanización es un proceso por medio del cual el hierro o el acero son cubiertos por una capa de zinc, el cual protege al material de la corrosión de agentes ambientales. Las ventajas de los recubrimientos de zinc son que proporcionan una duración excepcional de los materiales, resistencia mecánica elevada, protección integral de las piezas (interior y exteriormente) ausencia de mantenimiento y facilidad de pintar.

La duración de un recubrimiento de zinc en hierro o acero dependerá del grosor de la capa y del medio ambiente. La eficacia del recubrimiento está en relación directa con su espesor, siendo antieconómico aplicar un recubrimiento de bajo costo, cuyo espesor no sea suficiente para la duración que se precisa, en las condiciones particulares de exposición en determinado ambiente.

El espesor, normalmente, se expresa en gramos de zinc por metro cuadrado de superficie del metal base o en onzas de zinc por pie cuadrado de superficie del metal base.

El método de galvanización más común utilizado es por inmersión en caliente. Un recubrimiento de zinc obtenido por galvanización en caliente protege la superficie del hierro o del acero con mucha más eficacia que una capa de pintura impermeable. Cuando se sumerge una pieza de hierro o de acero en un baño de zinc fundido, el recubrimiento se forma por reacción entre el zinc y el hierro quedando, por lo tanto, perfectamente unido y aleado con el metal base.

Incluso si en el recubrimiento hay pequeños espacios al descubierto, tales como raspaduras, éstos quedan igualmente protegidos contra la oxidación. Ello se debe a la diferencia de potencial electroquímico entre el zinc y el hierro, por lo que el primero se consume con preferencia a este último y le proporciona de esta manera una protección de sacrificio.

2.2 Galvanización por inmersión en caliente

El proceso consiste en cubrir las piezas de hierro o acero con una capa de zinc por medio de inmersión en un baño de zinc fundido a una temperatura ideal que puede ser de 450°C a 470°C. Una temperatura menor o mayor al rango anterior puede verse reflejada al final del proceso en el tamaño del grano de la capa de zinc.

Para obtener los resultados propios de la galvanización es necesario limpiar químicamente la superficie de los materiales por medio de un proceso de preparación superficial y acondicionamiento.

Durante la inmersión en el zinc fundido, se produce una reacción de difusión entre el zinc y el acero, que tiene como resultado la formación de diferentes capas de aleaciones zinc-hierro. Al extraer los materiales del baño de zinc, estas capas de aleación quedan cubiertas por una capa externa de zinc puro. El resultado es un recubrimiento de zinc unido metalúrgicamente al acero base mediante diferentes capas de aleaciones zinc-hierro.

La ventaja de los recubrimientos obtenidos por inmersión en zinc fundido es que abarcan la totalidad de la superficie de las piezas. Estos recubrimientos proporcionan tres tipos de protección al acero:

Protección por efecto barrera. Aísla el material del medio ambiente agresivo.

Protección catódica o de sacrificio. Mientras exista recubrimiento de zinc sobre la superficie del acero, éste no sufrirá ataque corrosivo alguno.

Restauración de zonas desnudas. Los productos de corrosión del zinc, que son insolubles, compactos y adherentes, taponan las pequeñas discontinuidades que pueden producirse en el recubrimiento por causa de la corrosión o por daños mecánicos (golpes, arañazos, etc.)

3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE GALVANIZACIÓN DE LÁMINA

La planta de galvanización de la lamina de la Corporación Aceros de Guatemala, cuenta con una sección de corte de materia prima, galvanización de lamina y una sección de corrugado. Se encuentra ubicada en la 33 calle 24-65 zona 12 Guatemala, Guatemala.

3.1 Materia prima

La materia prima utilizada en el proceso de galvanización es lámina acero rolada en frío bajo normas JIS-G31 SPCC ID y JIS-G3141 SPCC SD para lámina dura acanalada y lamina lisa suave respectivamente. Los rollos de lámina son importados y vienen con especificaciones de dos y media a cinco toneladas de peso y un ancho de novecientos catorce a novecientos veinte milímetros.

La materia prima utilizada para fabricar lámina galvanizada dura acanalada es lámina rolada en frío, dura y de acabado rústico; y para fabricar lámina lisa suave se utiliza lámina laminada en frío con tratamiento térmico de recocido para darle mayor ductilidad, y también en acabado rustico.

Actualmente, los principales proveedores de materia prima son los siguientes:

Proveedor	País
SIDOR	Venezuela
KAWASAKI	Japón
PROACES	El Salvador
UVISCO	Rusia

3.2 Insumos

Los insumos utilizados en el proceso de galvanización de lámina son los siguientes:

- Desengrasante tipo alcalino SC-500
- Ácido clorhídrico con una concentración de 36%
- Cloruro de amonio CNH_4Cl (99.5S% de pureza)
- Acondicionador Zaclon 2M RODS
- Ácido crómico SZ-825
- Lingotes de zinc importados (99.995% de pureza) de 26 kilos
- Plomo
- Combustible búnker C

Otro insumo importante en el proceso de galvanización es el agua, en este caso se obtiene de un pozo propio que abastece a todo el conjunto de plantas de la industria Aceros de Guatemala, que se mencionaron con anterioridad.

3.3 Sección de corte de lámina

En la sección de corte de lamina se cuenta con una cizalla que trabaja por medio de una bomba hidráulica y topes ajustados para cortar los rollos de lamina en medidas de 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 pies de longitud.

Como primera actividad en el corte de lámina los rollos son desempacados y colocados en una bobina por medio de un puente-grúa. Del rollo se toma la punta y se ingresa en el carril de la cizalla, la cual corta la lámina en intervalos programados para la medida especificada. Finalmente después de ser cortadas las láminas son agrupadas en

fardos hasta terminar el rollo, cada fardo es identificado y transportado hacia la cama que se encuentra al inicio de la línea de galvanización por medio del puente-grúa.

3.4 Galvanización de lámina

La planta cuenta con dos líneas de producción las cuales pueden trabajar simultáneamente, cuestión que nunca sucede ya que cuando una línea esta produciendo la otra línea esta en mantenimiento. Ambas líneas siguen el mismo proceso de galvanización por inmersión en caliente.

La línea de producción comprende los siguientes procesos unitarios:

3.4.1 Desengrase

3.4.2 Decapado

3.4.3 Galvanización

3.4.4 Sellado de zinc

3.4.1 Desengrase

El desengrase no es más que una limpieza química para el acondicionamiento de la lámina. Primeramente, la lámina es introducida en un baño de desengrasante tipo alcalino a una temperatura entre los 80°C y 90°C, con una concentración de 2 a 4 onzas/galón y un pH de 12. Las soluciones alcalinas en caliente sirven para eliminar los aceites y lubricantes utilizados en los procesos de laminación y que se encuentran en la superficie de la materia prima. Actualmente, la lámina con tratamiento de recocido (suave) ha presentado dificultades en el proceso de desengrase, ya que éste no es suficiente para eliminar los excesos de aceites y lubricantes que contiene, además dificulta la adherencia de zinc. Después del baño de desengrase, la lámina pasa por un enjuague con agua a temperatura ambiente que la prepara para el acondicionamiento de galvanizado.

3.4.2 Decapado

En el proceso de decapado se logra eliminar el óxido de recocido y otras impurezas de la lámina. Para realizar el decapado se introduce la lámina seguidamente en dos tanques de ácido clorhídrico a temperatura ambiente y con una concentración de 12% a 15%. La concentración de hierro desprendido que permanece dentro de los tanques no debe exceder de 50 gramos/litro, de lo contrario, debe renovarse la solución en los tanques. Después del decapado, la lámina pasa por un baño de agua que debe de mantenerse a una temperatura de 70°C para remover el ácido clorhídrico y preparar la temperatura de la lámina para ser galvanizada.

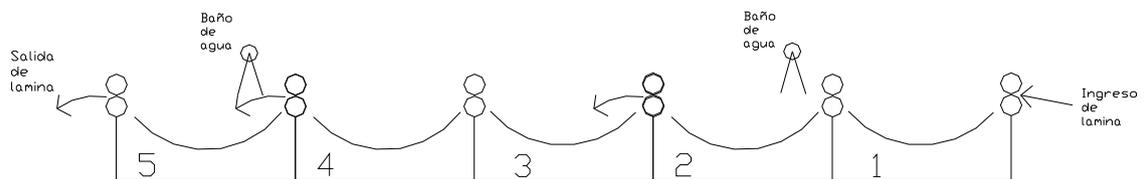
El desengrase y el decapado producen la primera descarga de agua residual (Descarga No. 1) debido a que los tanques de ácido y de agua están unidos. La producción de agua residual en los tanques de ácido es debido al movimiento que produce la lámina al ingresar y salir del tanque produciendo olas que logran rebalse del mismo, en cambio en los tanques donde hay agua por la aplicación de la misma agua al tanque va produciendo un rebalse, finalmente se tiene que de los cinco tanques se tiene un rebalse produciéndose así la descarga de agua residual No. 1. Ver figura 1.

El caudal de agua que se aplica a los dos procesos anteriores son caudales constantes y no esta relacionada con el tipo de lámina que se este produciendo.

3.4.3 Galvanización

La galvanización de la lámina se realiza en dos tanques que se encuentran sobre un horno con una temperatura de 460°C. Inicialmente, la lámina pasa por un baño de flujo o flux que contiene un acondicionador tipo zaclon que sirve para darle propiedades de

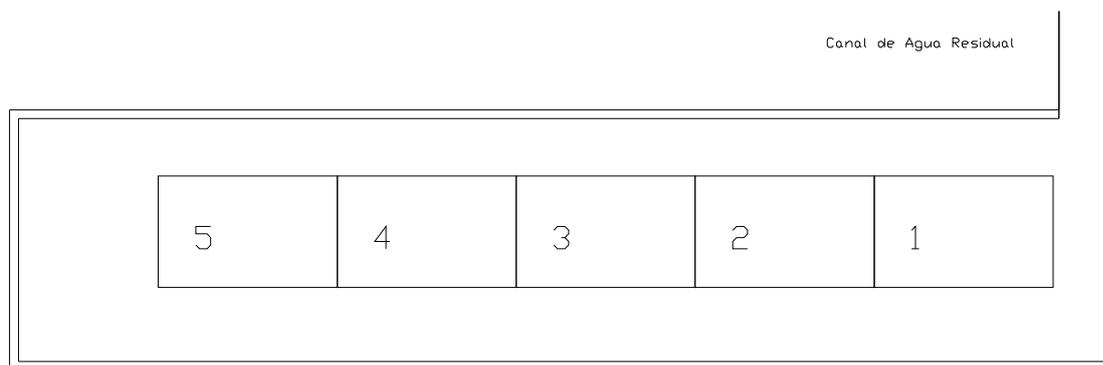
adhesión a la lámina, al salir de este baño de flux la lámina ya viene con su baño de zinc, esto se debe a que el tanque de flux y el tanque de zinc fundido se encuentran unidos y debajo de ellos se encuentran guías por donde pasa la lamina. Para evitar que el flux se mezcle con el zinc se utiliza una barrera de plomo que debe ser renovada periódicamente. Durante esta etapa se utiliza cloruro de amonio en polvo sobre los rodillos de los tanques para mejorar la adherencia de zinc y darle una mejor apariencia.



Bordillo de Recoleccion

1. Tanque de desengrasante, 2. Tanque de Agua, 3. y 4. Tanques de Acido clorhidrico, 5. Tanque de Agua

ELEVACION



PLANTA

Figura 1. Proceso de desengrase y decapado

3.4.4 Sellado de zinc

Para desarrollar el sellado de superficies de zinc galvanizado, inicialmente a la lámina se le aplica un baño de agua a temperatura ambiente y se introduce la lámina en el tanque de agua, posteriormente la lámina es introducida en un tanque de ácido crómico.

La aplicación de agua le sirve a la lámina disminuir su temperatura y lograr una mejor adherencia del zinc. El tanque de ácido crómico esta a una concentración de 1 a 1.5 gramos/litro, que además de dar un sellado a la superficie de zinc galvanizado ayuda a darle brillantes a la lámina. En esta actividad del proceso se genera la segunda descarga de agua residual (Descarga No. 2).

Debido a que el tanque de agua y el tanque de ácido crómico están pegado y hay una aplicación constante de agua para el enfriamiento, los dos tanques van logrando un rebalse, dando así el agua residual del proceso de sellado de superficies de zinc galvanizado, ver figura 2. En el tanque de ácido crómico hay una bomba automática que mide la concentración del ácido y cuando este llega al nivel del valor mínimo este le proporciona automáticamente la cantidad necesaria para mantener la concentración ideal para el sellado.

La cantidad de agua que se aplica en el enfriamiento no depende del espesor de la lamina que se este produciendo, por lo tanto es un caudal fijo.

Finalmente la lámina es secada rápidamente y transportada hacia una cama de enfriamiento donde son agrupadas en fardos.

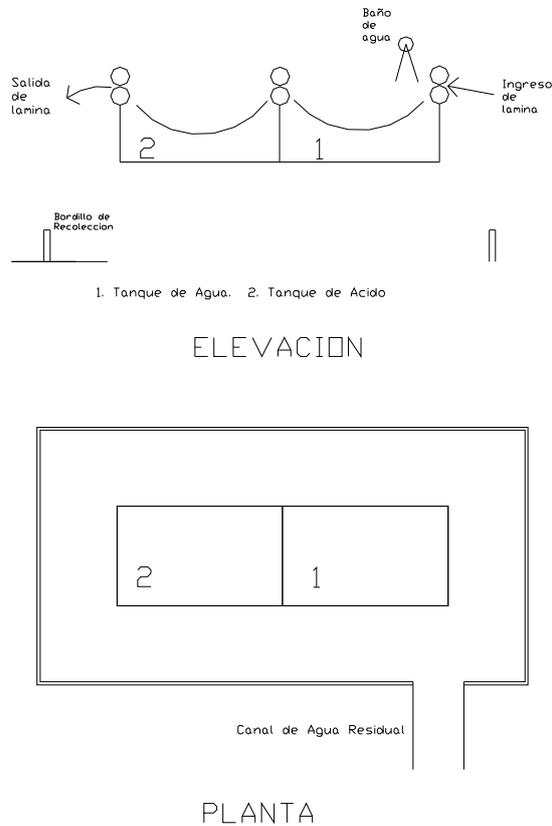


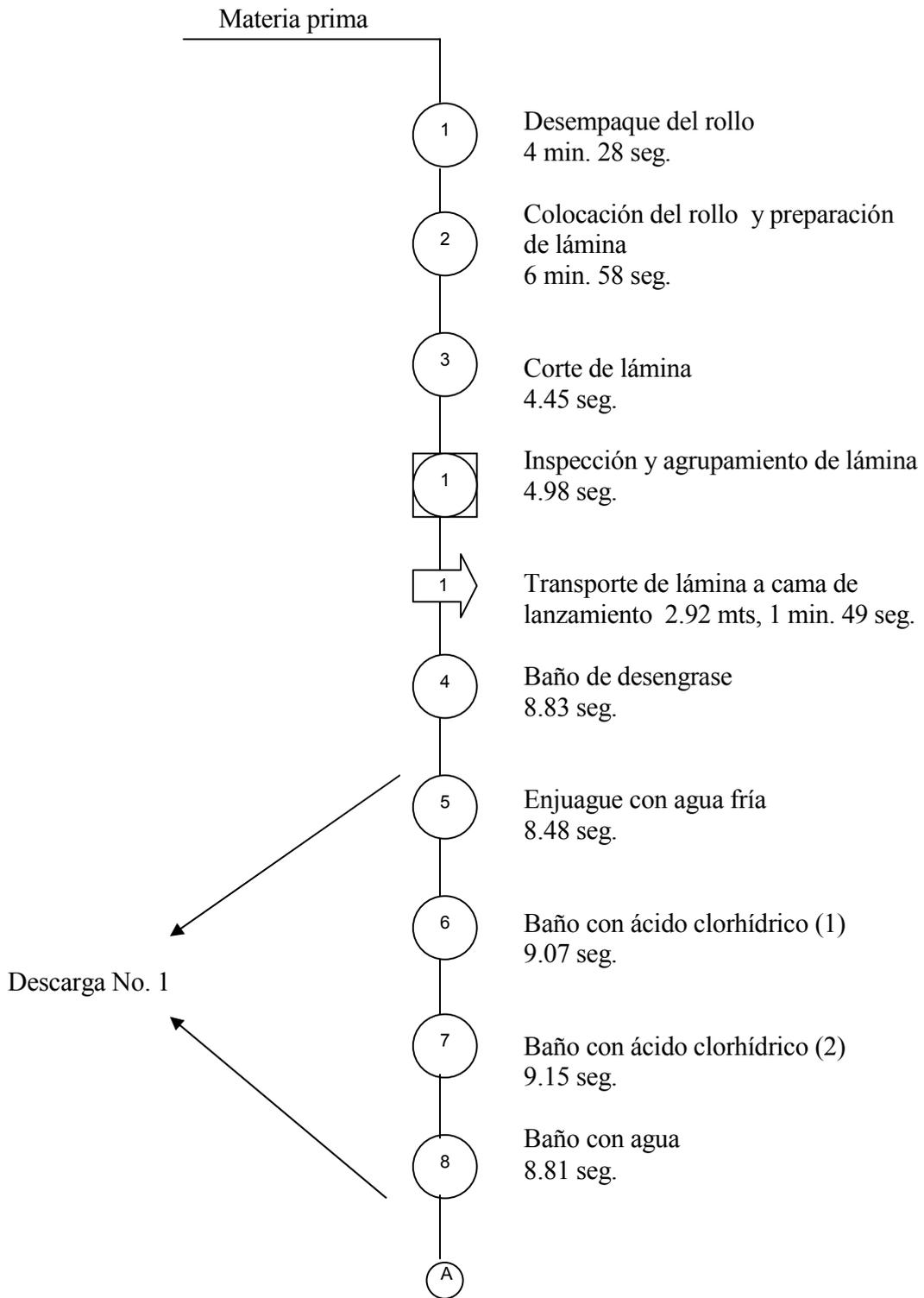
Figura 2. Proceso de sellado de zinc

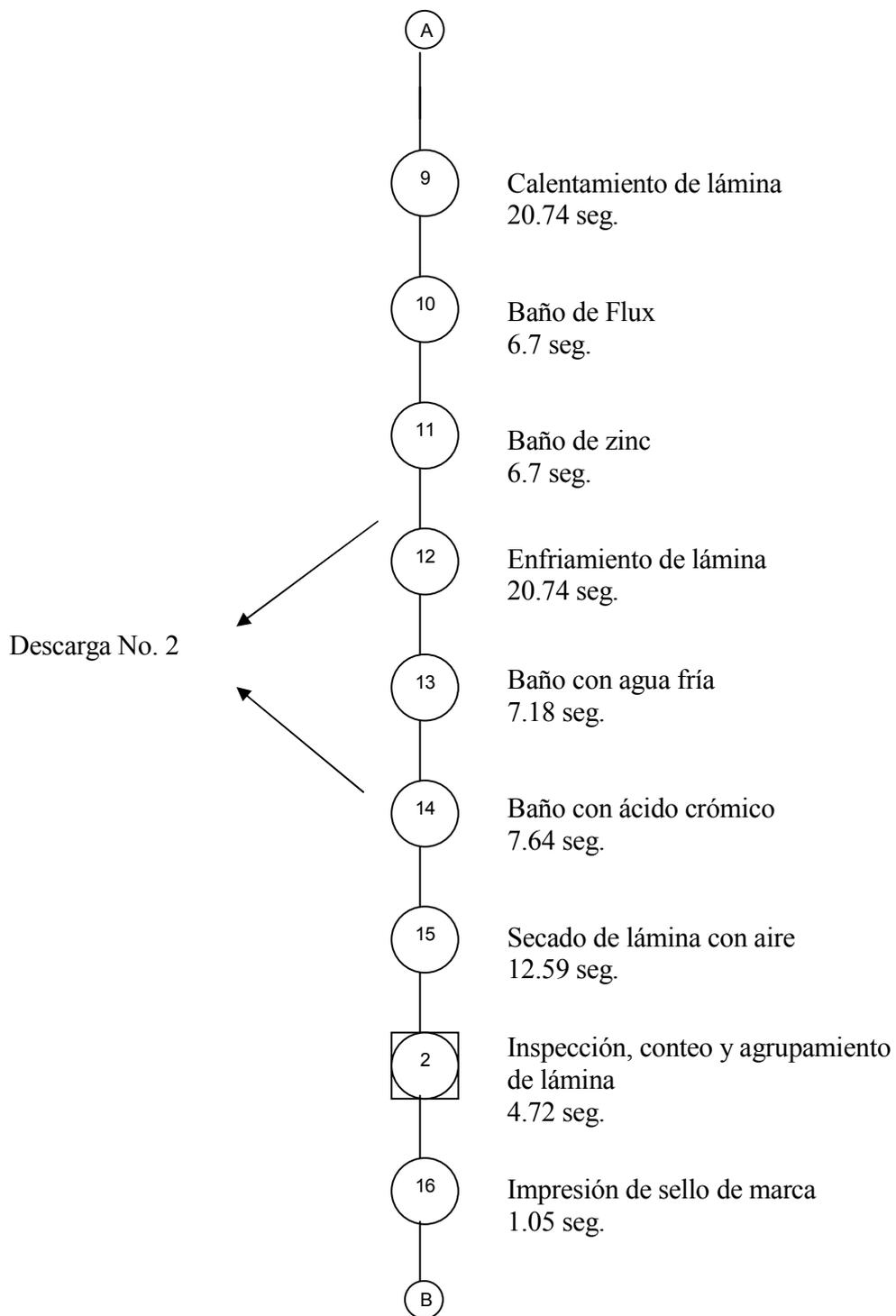
3.5 Sección de corrugado

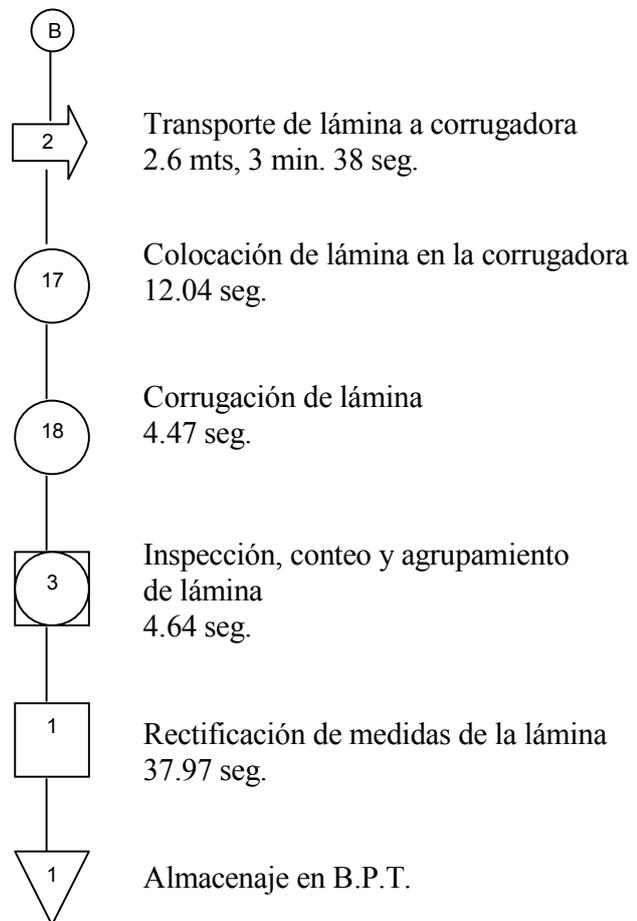
Para formar canales en la lámina galvanizada (lamina acanalada), los fardos terminados son transportados por medio de un puente-grúa hacia la cama de la máquina corrugadora, en donde se hacen pasar manualmente las láminas a través de rodillos dentados que dan la forma de ondulación de los canales de la lámina.

Los canales que se forman tienen una profundidad de 16.6 milímetros y una distancia de 27 pulgadas de centro a centro de los canales que sen encuentran en las orillas.

Diagrama de flujo del proceso de galvanización de lámina por inmersión en caliente y corrugación







Resumen

Actividad	Cantidad	Tiempo (min.)	Distancia (mts)
○	18	13.89	-
□	1	0.63	-
◻	3	0.24	-
→	2	5.45	5.52
▽	1	-	-
Total	25	20.21	5.52

4. AGUAS RESIDUALES

4.1 Definición de agua residual

Es aquella agua que proviene de los procesos realizados 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. Esta compuesta de sustancias de origen natural o artificial, que pueden ser potencialmente dañinas para la salud y el medio ambiente.

4.2 Características de las aguas residuales

El agua es por sí 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. En la literatura se encuentran extensos tratados sobre este líquido desde varios puntos de vista: químicos, fisicoquímicos, hidráulicos, epidemiológicos y muchos más. Para efectos de este estudio se pondrá atención a las siguientes características:

- Físicas
- Químicas
- Biológicas

4.2.1 Características físicas

El ser humano tiene la particularidad de detectar fácilmente algunas características físicas de las aguas residuales, puesto que por medio de sus sentidos puede hacerse una idea de la magnitud de las mismas. Por ejemplo, es fácil discriminar el agua por su olor; que por cualquier otra característica no perceptible, como una concentración. A continuación se presentan las principales características físicas de las aguas residuales.

Sólidos totales. El contenido de sólidos totales analíticamente se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de mg/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales, o residuos de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión).

La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0,001 y 1 micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. Normalmente, para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementadas con la sedimentación.

Cada una de las categorías de sólidos comentadas hasta ahora pueden ser, a su vez, dividida en función de su volatilidad a 550 +/- 50°C. A esta temperatura, la fracción orgánica se oxidará y desaparecerá en forma de gas, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas. De ahí que se empleen los términos “Sólidos volátiles” y “Sólidos fijos” para hacer referencia, respectivamente a los componentes orgánicos e inorgánicos (o minerales) de los sólidos en suspensión. El análisis de sólidos volátiles se emplea habitualmente para determinar la estabilidad biológica de fangos de aguas residuales.

Olores. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismo, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento.

La principal causa del rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas negras residuales es la problemática de los olores. En los últimos años, con el fin de mejorar la opinión pública respecto a la implantación de los sistemas de tratamiento, el control y la limitación de los olores han pasado a ser factores de gran importancia en el diseño y proyecto de redes de alcantarillado, plantas de tratamiento y sistemas de evacuación de aguas residuales. A la vista de la importancia de los olores dentro del ámbito de la gestión de las aguas residuales, resulta conveniente estudiar los efectos que producen, cómo se detectan, y como caracterizarlos y medirlos.

Temperatura. La temperatura del agua residual es generalmente más alta que la del suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de la casa y de actividades industriales. Como el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas de las aguas residuales observadas son más altas que las temperaturas locales del aire durante la mayor parte del año y sólo son más bajas durante meses más cálidos del verano. Según la localización geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía de 10°C a 21 °C, siendo, pues 15°C un valor representativo.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles. Una temperatura más elevada puede, por ejemplo, producir un cambio en las especies piscícolas que existen en el agua. A las empresas industriales que utilizan aguas superficiales para refrigeración les interesa mucho la temperatura del agua de captación.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en la fría. El aumento de la velocidad de las reacciones químicas que supone un aumento de la temperatura, junto con la disminución de oxígeno presente en las aguas superficiales, puede frecuentemente causar graves agotamientos, en los meses de verano, de las concentraciones de oxígeno disuelto. Estos efectos se ven aumentados cuando se vierten

cantidades suficientemente grandes de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Debe tenerse presente que un cambio repentino de temperatura puede dar como resultado un alto porcentaje de mortalidad de vida acuática. Finalmente, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35 °C. Los procesos de digestión aerobia y la nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50°C. A temperatura de alrededor de 15°C, las bacterias productoras de metano cesan actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 5°C. Si se alcanzan temperaturas del orden 2°C, incluso las bacterias quimioheterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar.

Color. Históricamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

Turbiedad. La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz

dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La materia coloidal dispersa absorbe la luz, impidiendo su transmisión. Aún así, no es posible afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de un agua no tratada. No obstante, sí están razonablemente ligados la turbiedad y los sólidos en suspensión en el caso de efluentes procedentes de la decantación secundaria en el proceso de fangos activados.

pH. La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.

La concentración de ion hidrógeno presente en el agua está estrechamente relacionada con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua. El pH de los sistemas acuosos puede medirse convenientemente con un pH-metro. Para el mismo procedimiento de medición también se emplean soluciones indicadora y papeles de pH que cambian de color a determinados valores de pH. El color de la solución o del papel se compara entonces con el color de series normalizadas.

4.2.2 Características químicas

El agua residual, químicamente puede ser caracterizada desde muchos puntos de vista, ya sean los componentes químicos minerales que posee como los orgánicos, hasta los gases que se encuentran disueltos en ella. A continuación se mencionan algunos de los componentes y características químicas de las aguas residuales; todas son importantes pero, comúnmente, solo unas cuantas se evalúan en una caracterización.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días (DBO₅). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para: 1) determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; 2) dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; 3) medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento, y 4) controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

En las aguas residuales se puede decir que la DBO es la cantidad de oxígeno consumido en la estabilización biológica anaeróbica de la materia orgánica, a condiciones de temperatura, dilución y tiempo específicas. Con frecuencia la DBO se presenta en unidades de mg/L, pero también son aceptados valores en partes por millón. El análisis estándar de la DBO consiste en la incubación por 5 días a 20°C de volúmenes de 300 cc de muestras de las aguas a analizar, previamente diluidas en un factor apropiado a las cuales se le determina la cantidad de oxígeno disuelto al inicio y al final de la prueba. Estos valores se ingresan en la siguiente ecuación:

$$y = L(1 - e^{-kt})$$

$$y = L(1 - 10^{-Kt})$$

Ecuación 1. Cálculo de la DBO

En donde:

- y = DBO eliminada
- L = último valor de la DBO
- k = constante de la reacción de velocidad base e
- K = constante de la reacción de la velocidad base 10.
- t = tiempo en días

La ecuación anterior se determina a partir de la cinética de la reacción, en donde se asume que la reacción de la DBO es de primer grado, con lo cual define la siguiente ecuación

$$dL_t/dt = -kL_t$$

Ecuación 2. Ecuación diferencial para la DBO

Para que se lleve a cabo la oxidación completa de la materia orgánica en un proceso de descomposición; teóricamente, se necesita un tiempo infinito, pero como puede observarse en la ecuación 1, a medida que transcurre el tiempo la fracción de DBO consumida se acerca a la totalidad. Dado que un proceso de esta naturaleza es lento, se acepta generalmente el valor de la DBO₅ que es el determinado a los cinco días de iniciado el análisis. Con ese tiempo se asegura que por lo menos el 60-70% de la materia orgánica ha sido oxidada.

La temperatura es un factor de mucha importancia en la cinética de cualquier reacción, el procedimiento estándar de análisis se realizara a 20°C. A este valor Metcalf & Eddy recomiendan un valor de k 0.23 d⁻¹, y establecen que dependiendo del tipo de agua residual este puede variar entre un rango de 0.05 a 0.3 d⁻¹ en base e (Metcalf & Eddy, Tomo 1 pp. 85), la siguiente figura muestra la influencia de la constante de reacción en la DBO.

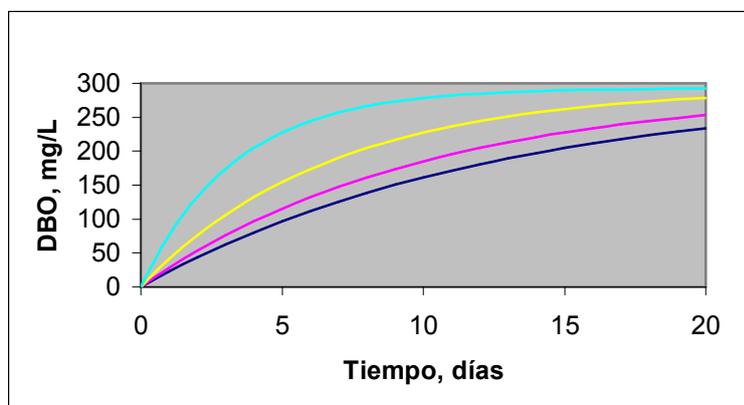
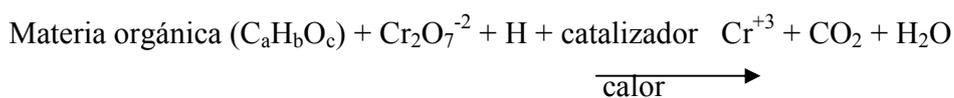


Figura 3. Influencia de la constante cinética de reacción en la DBO

Demanda química de oxígeno. El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. El bicromato potásico proporciona excelentes resultados en este sentido. El ensayo debe hacerse a elevadas temperaturas. Para facilitar la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos es preciso emplear un catalizador (sulfato de plata). Puesto que algunos compuestos orgánicos interfieren con el normal desarrollo del ensayo, deben tomarse medidas adecuadas para eliminarlos antes del ensayo. En el caso de emplear dicromato como agente oxidante, la principal reacción química que tiene lugar puede expresarse, de manera esquemática, del siguiente modo:



El ensayo de la DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales tanto industriales como municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual suele ser mayor que la correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de DBO y la DQO. Ello puede resultar de gran utilidad dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 3 horas, frente a los 5 días necesarios para determinar la DBO. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento.

Dureza total. Las aguas duras son generalmente consideradas por ser aguas que requieren considerables cantidades de jabones para producir espuma, y también por producir incrustaciones en contenedores, calentadores, calderas, hervidores y otras unidades de transferencia de calor que trabajan a temperatura elevada. La dureza es causada por iones metálicos divalente. Tales iones son capaces de reactivar a 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. El aluminio y los iones férricos a veces son consideradas como contribuidores a la dureza del agua, pero su solubilidad es tan limitada a determinados valores de pH, que su concentración en aguas naturales puede ser poco importante.

Alcalinidad. La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producido por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos. La alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado, expresándose los resultados en carbonato de calcio CaCO_3 . La concentración de alcalinidad en una en un agua residual es importante en aquellos casos en los que empleen tratamientos químicos, en la eliminación biológica de nutrientes, y cuando haya que eliminar el amoníaco mediante arrastre por aire.

Nitrógeno. Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Trazas de otros elementos, tales como el hierro, son necesarios para el crecimiento biológico. No obstante, el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas,

y en que cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, será preciso añadirlo para hacer tratable el agua residual.

En aquellos casos en los que sea necesario el control del crecimiento de algas en la masa de agua receptora para preservar los usos a que se destina, puede ser necesario la eliminación o reducción de nitrógeno en las aguas residuales antes del vertido.

Formas del nitrógeno. El contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato.

El nitrógeno amoniacal se encuentra en solución acuosa, bien en forma de ion amonio o como amoníaco, en función del pH de la solución. A niveles de pH superiores a 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, muestra en el ion amonio es predominante a valores de pH menores que 7.

El nitrógeno del nitrito, es relativamente inestable y fácilmente oxidable a la forma de nitrato. Es un indicador de la contaminación anterior al proceso de estabilización y raramente excede la cantidad de 1 mg/l en el agua residual, y 0,1 mg/l en el caso de aguas subterráneas y superficiales. Con pequeñas concentraciones, los nitritos tienen gran importancia en el estudio de aguas residuales y contaminación de aguas, dada su gran toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas. Se pueden oxidar aplicando cloro, lo cual aumenta la cantidad de cloro a dosificar y por lo tanto el coste de la desinfección.

El nitrógeno del nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en las aguas residuales. Cuando un efluente secundario deba ser recuperado para la recarga de agua subterránea, la concentración del nitrato es importante. En aguas potables no debe de exceder de cantidades de 45 mg/l.

Metales pesados. Como constituyentes importantes de muchas aguas, también se encuentran cantidades, a nivel de traza, de muchos metales. Entre ellos podemos destacar el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg). Algunos de ellos son importantes constituyentes de muchas aguas. Algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidades suficientes podría, por ejemplo, limitar el crecimiento de las algas. Muchos de estos metales también están catalogados como contaminantes prioritarios. La presencia de cualesquiera de los metales citados en cantidades excesivas interferirá con muchos usos provechosos del agua dada su toxicidad; por tanto conviene casi siempre medir y controlar las concentraciones de dichos metales.

4.2.3 Características microbiológicas

Las propiedades microbiológicas del agua son de gran importancia puesto que sirven como medida de la salubridad del agua. El agua es el medio de desarrollo de microorganismos de diferente naturaleza, tales 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 como un índice de calidad bacteriológica ya que las bacterias pertenecientes a esta familia forman parte de la flora intestinal de muchos mamíferos ; además los métodos de determinación de estas son mucho más prácticos y dan resultados con relativa rapidez, aproximadamente 1 día para pruebas presuntivas. La principal característica de las bacterias coliformes es que fermentan la lactosa, produciendo gas. Otras bacterias frecuentes en el agua son las género **Pseudomonas, Serratia, Flavobacterium Anchromobacterium**, las cuales por lo general dan coloración al agua.

5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

5.1 Procesos de tratamiento de agua residual

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

Al tomar en cuenta la gran cantidad de operaciones y procesos disponibles para el tratamiento de las aguas residuales, se pueden resumir o completar en tres grandes renglones:

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

5.1.1 Procesos físicos

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

- Sólidos gruesos
- Sólidos sedimentables
- Sólidos flotantes

5.1.2 Procesos químicos

Son aquellos procesos en los que se utilizan productos químicos y son raramente adoptados en forma aislada. Se utiliza cuando el empleo de procesos físicos y biológicos no actúan eficientemente en los parámetros que se desean reducir o remover.

En los procesos químicos comúnmente adoptados en el tratamiento de las aguas residuales tenemos:

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

5.1.3 Procesos biológicos

Los procesos biológicos tienen su principal aplicación en 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.

6. ASPECTOS LEGALES

6.1 Decreto 68-86 Ley de Protección del Medio Ambiente

En el año de 1986 el Congreso de la República de Guatemala, emite el Decreto 68-86 Ley de Protección del Medio Ambiente, este surgió ante la ausencia de una ley ambiental. Fue elaborado de forma 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. El establecimiento de la obligatoriedad del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental para todo proyecto que por su naturaleza pueda afectar al medio ambiente.
2. Mantenimiento permanente de un control y revisión de los sistemas de aguas servidas.
3. Establecer sanciones a toda persona o sociedad que violen la Ley.

Posiblemente, la creación de CONAMA y la autoridad que se le dio sea el mejor legado de esa ley. Actualmente, todo lo referente al Medio Ambiente compete al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), de reciente creación.

6.2 Reglamento de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas. Acuerdo gubernativo No. 60-89.

En el año de 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, procedentes 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, y para las industrias de alimentos, beneficio de café, cana de azúcar, procesadoras de metales y tenerías. En todas, son pocos los parámetros de calidad del agua de los que se hace mención. En la tabla 1, se hace mención un resumen de los valores límite para las aguas servidas de diferente origen mencionadas anteriormente, presentes en este reglamento. Es importante mencionar que este reglamento fue emitido para regular a las aguas residuales municipales y los provenientes de industrias específicas, enfatizado en el establecimiento de plantas de tratamiento en las municipalidades e industrias afines. Esto deja sin regular una amplia variedad de industrias, que son potencialmente más contaminantes que las mencionadas, aunque tan tradicionales en nuestro medio.

En la tabla 2, se presentan los límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de las aguas servidas provenientes de las industrias procesadoras de metales y de otras que empleen sales metálicas, por lo tanto la Planta de Lámina esta comprendida en este renglón, que es el objetivo de este estudio.

Tabla 1. Límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de las aguas servidas de diferente origen

Industria	Parámetros			
	Muestras (valores promedio máximos)	Sólidos sedimentables, mg/l	Demanda química de oxígeno (DQO), mg/l	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)
Aguas municipales	Tomada al Azar	1		
	Después de 2 hrs.	1	500	250
	Después de 24 hrs.	1	450	200
Cervecerías	Tomada al Azar	5		
	Después de 2 hrs.		1800	1000
	Después de 24 hrs.		1600	900
Lácteos	Tomada al Azar	1		
	Después de 2 hrs.		2000	1000
	Después de 24 hrs.		1800	900
Aceites y grasas	Tomada al Azar	0.5		
	Después de 2 hrs.		500	
	Después de 24 hrs.		4500	
Procesamiento de Frutas y verduras	Tomada al Azar	0.5		
	Después de 2 hrs.		800	500
	Después de 24 hrs.		700	450
Procesadora de carne	Tomada al Azar	1		
	Después de 2 hrs.		900	600
	Después de 24 hrs.		750	500
Procesadora de Alcohol	Tomada al Azar	0.5		40000
	Después de 2 hrs.		45000	30000
	Después de 24 hrs.		40000	
Beneficiado Húmedo de café	Tomada al Azar	Libre de pulpa	3000	
	Después de 2 hrs.	Libre de pulpa	2500	
	Después de 24 hrs.	Libre de pulpa	2500	
Azúcar	Tomada al Azar	0.5		
	Después de 2 hrs.		45000	40000
	Después de 24 hrs.		40000	30000

Fuente: Reglamento de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas, CONAMA, 1989.

Tabla 2. Límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de las aguas servidas provenientes de las industrias procesadoras de metales y de otras que empleen sales metálicas

	Industrias	Galvanicas	Limpieza de superficies con ácidos	Galvanoplásticas	Bronceado	Zincado al fuego	Templado	Acumuladores y de Batería	Esmaltado	Forjado	Pinturas
					Muestra tomada al azar						
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.1
Sólidos sedimentables	mg/l	0.5	0.5	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/l	1200	200	200	400	400	1500	500	200	1500	1500
Cadmio, como Cd	mg/l	1				0.2		0.4	0.1		1
Mercurio, como Hg.	mg/l							0.1			
Aluminio, como Al	mg/l	6	6	6					4	6	6
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	200				8		300	40	600	
Bario, como Ba	mg/l						4				
Plomo, como Pb	mg/l	2						4	2	2	2
Cloro, como Cl	mg/l	1	1	1	1		1				
Cromo total, como Cr	mg/l	4	2	2	2				4	2	2
Cromo VI	mg/l	1	1	1	1				1	1	1
Cianuros, como CN	mg/l	0.4					2			0.4	6
Hierro, como Fe	mg/l	6	6		6	6		6	6	6	
Fluoruro, como F	mg/l	100	40	100		100			100	60	
Cobre, como Cu	mg/l	4	4					4	4	2	4
Níquel, como Ni	mg/l	6	4		4			6	4	2	2
Nitrógeno de Nitritos	mg/l		20	10	20		10		10	20	
Sulfitos	mg/l										
Zinc, como Zn	mg/l	10	10	6		10		10	4	6	6
Hidrocarburos	mg/l	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Plata, como Ag	mg/l	0.2						0.2			
Cobalto, como C.	mg/l										

Fuente: Reglamento de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas, CONAMA, 1989.

7. METODOLOGÍA

El desarrollo del estudio especial “Caracterización, propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la industria de galvanizado de lamina por inmersión en caliente”, abarco dos etapas.

- Identificación de los procesos de galvanizado de lámina por inmersión en caliente.
- Identificación y evaluación de las aguas residuales y propuesta de tratamiento.

7.1 Identificación de los procesos de galvanizado de lámina por inmersión en caliente.

La planta de galvanizado de lámina por inmersión en caliente de la Fabrica Aceros de Guatemala, tiene un proceso con tecnología que se implemento en los años 70's, y es un proceso que en otros países ya no se utiliza, por lo tanto no se encuentra información.

Por lo mencionado anteriormente se realizo una identificación de los procesos y detalles de los mismos de la siguiente manera:

- A. Observaciones de campo: se realizaron visitas observando todo el proceso y tomando detalles de los mismos.
- B. Consultas al jefe de la planta: el actual jefe de la planta de lámina es el mismo que ha estado desde que se inicio labores la plana, por lo tanto desarrollar visitas al jefe

de la planta se obtuvieron detalles de los procesos que no se pudieron identificar a simple vista.

- C. Consulta al departamento de control de calidad: la Fabrica Aceros de Guatemala S.A., cuenta con un departamento de control de calidad que controla la calidad de los productos terminados de toda la fábrica, por tal razón en la planta de lámina dicho departamento lleva el control no solo del producto terminado sino de los químicos que se utilizan en el proceso, por lo tanto se desarrollaron visitas al jefe del departamento de control de calidad para que proporcionara datos de interés para este estudio especial.

7.2 Identificación y evaluación de las aguas residuales y propuesta de tratamiento

Se identificaron los procesos que generan agua residual, lo que nos llevo a localizar dos descargas residuales, siendo la primera descarga la que se produce en los procesos de decapado y desengrase la cual la llamamos Descarga No. 1, la otra descarga identificada fue la que se produce en el proceso de sellado del zinc y se identifico como Descarga No. 2.

Ya identificados los efluentes de agua residual se procedió a tomar muestras de las mismas. Como primeras muestras se tomaron muestras puntuales el día 21 de enero y 5 de febrero del 2004 únicamente a la Descarga No. 2.

Para la caracterización de las aguas residuales se desarrollo una muestra compuesta de los dos efluentes, que inicio el día miércoles 2 de junio a las 7:00 a.m. y terminando el jueves 3 de mismo mes a las 7:00 a.m., durante el periodo de la toma de la muestra compuesta la planta de lámina estaba produciendo lamina calibre 28 milimétrica con una cantidad de 100,948 pies de lámina.

Cada muestra tenía un volumen total de agua residual de 7.2 litros, se formo tomando muestras cada hora de 300 mililitros en el lapso de las 24 horas de muestreo.

Las muestras tomadas fueron analizadas en el laboratorio del INFOM, ya que ellos cuentan con un laboratorio muy completo para poder determinar metales pesados. El análisis que se le realizaron a las muestras fue para determinar los parámetros físico-químicos y los metales pesados, para el caso de los metales pesados utilizaron el método de absorción atómica

Como parte del estudio especial se realizó el análisis físico-químico de una segunda muestra compuesta en el laboratorio de la ERIS, estas muestras compuestas fueron tomadas simultáneamente que las muestras que se llevaron al laboratorio del INFOM.

La determinación de los caudales de los dos efluentes se realizo por medio del método de flujo en canales. La toma de muestras se realizo en los canales del efluente, como se puede observar en la figura 4.

Además, se realizó un muestreo de las dos descargas residuales los días martes 9, miércoles 10 y jueves 11 del mes de agosto del año 2005, obteniendo tres muestras del tipo compuesta de 24 horas, iniciándose el muestreo a las 8:00 A.M. de cada día y terminando a las 7:00 A.M. del día siguiente, la muestra tomada cada hora tenía un volumen de 90 ml y se depositaba en dos frascos en partes iguales, al final de las 24 horas cada frasco contenía 1080 ml. Un frasco contenía 1 ml de acido sulfúrico que sirvió para fijar la DQO para poderla determinar posteriormente en el laboratorio, con la muestra contenida en el segundo frasco se determino el pH, los sólidos sedimentables y los cloruros, el análisis de estas muestras se realizo en el laboratorio de la ERIS.

Durante la toma de las tres muestras compuestas la planta de lámina estuvo produciendo lámina calibre 28 mm acanalada con una producción promedio de 101850 pies lineales.

Teniendo los resultados del análisis de laboratorio se caracterizara el efluente tomando los parámetros que están por afuera de los límites que establece la ley para industrias galvánicas que se presentaron en la tabla 2 y con esa base se propusieron los procesos unitarios que son necesarios para la planta de tratamiento para reducir este impacto negativo.

8. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

Los parámetros que se analizaron se realizaron basados en las características físicas y químicas del agua residual. Las características biológicas no se determinaron ya que es un proceso industrial en donde la temperatura es alta y no existe opción alguna del crecimiento de las mismas.

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de las dos muestras puntuales de la descarga No. 2 que fueron analizadas en el laboratorio de ERIS.

Tabla 3. Características físicas y químicas de las muestras puntuales del agua residual del decapado y desengrase

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2
	21/01/04	05/02/04
Ph	6.5	6.3
Temperatura °C	54	55
Color U	180	190
Turbiedad UNT	12.4	26
Olor	Metálico	Metálico
Sólidos disueltos mg/l	139.5	152
Conductividad eléctrica umhos/cm	279	287
Amoniaco mg/l	1.48	1.11
Alcalinidad mg/l	100	104
Dureza mg/l	100	138
Hierro mg/l	0.23	0.35
Manganeso mg/l	0.2	0.28
Nitratos mg/l	149.16	116.16
Nitritos mg/l	0.478	0.294
Zinc mg/l		1.24
Cromo mg/l		4.8
DBO mg/l		15.8
DQO mg/l	9	56

La tabla 4 presenta los resultados del análisis de la muestra compuesta de la descarga No. 1 del 2 de junio del 2004, ubicando en columna 1 el parámetro analizado, en la columna 2 se da el resultado del análisis hecho en el laboratorio de ERIS, en la columna 3 se observa los resultados del análisis efectuado por el laboratorio del INFOM, mientras tanto en la columna 4 se dan los límites máximos permisibles de contaminación que establece el reglamento para la descarga de aguas residuales provenientes de las industrias galvanicas.

La determinación de los metales pesados únicamente se realizó en el laboratorio del INFOM.

En la tabla 5 se pueden observar los resultados del análisis de laboratorio de la descarga No. 2 de la muestra compuesta tomada el 2 de junio del 2004, estando colocada en la columna 1 el parámetro analizado, en la columna 2 el resultado del análisis del laboratorio de ERIS mientras tanto en la columna 3 se presentan los resultados del análisis efectuado en el laboratorio del INFOM y en la columna 4 están los valores máximos permisibles de contaminación que establece el reglamento para la descarga de aguas residuales provenientes de las industrias galvanicas.

Los resultados de las tres muestras compuestas tomadas en agosto del 2005 se presentan en las tablas 6 y 7 para la descarga No. 1 y descarga No. 2 respectivamente.

Tabla 4. Características físicas y químicas de la muestra compuesta del 02/junio/2004 del agua residual del decapado y desengrase

PARÁMETRO	LABORATORIO		LÍMITE MÁXIMO
	ERIS	INFOM	
pH	2.17	-	-
Temperatura °C	42	42	-
Color U	92	-	-
Turbiedad UTN	50	-	-
Olor	Metálico-picante	-	-
Sólidos disueltos mg/l	297	-	-
Sólidos en suspensión mg/l	-	-	-
Sólidos totales mg/l	-	-	-
Sólidos sedimentables mg/l	-	34	0.5
Conductividad eléctrica Umhos/cm	594	-	-
Amoniaco mg/l	4.5	-	200
Alcalinidad mg/l	0	-	-
Dureza mg/l	170	-	-
Manganeso mg/l	0.03	-	-
Nitratos mg/l	15.2	-	-
Nitritos mg/l	0.052	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅ mg/L	5.6	35	-
Demanda química de oxígeno, DQO mg/L	139	130	1200
Sulfatos mg/l	-	6.3	-
Fosfatos mg/l	-	0.20	-
Cloruros mg/l	-	640	1.0
Hierro total mg/l	11.1	11	6
Fluoruro mg/l	1.24	0.60	100
Cadmio mg/l	-	0.0011	1.0
Plomo mg/l	-	0.0494	2.0
Cromo mg/l	-	0.04	4.0
Cobre mg/l	-	0.01	4.0
Cinc mg/l	-	2.1	10

Tabla 5. Características físicas y químicas de la muestra compuesta de 02/junio/2004 del agua residual del sellado de zinc

PARÁMETRO	LABORATORIO		LIMITE MÁXIMO
	ERIS	INFOM	
pH	7.22	6.4	-
Temperatura °C	38	38	-
Color U	32	-	-
Turbiedad UTN	15.8	-	-
Olor	Metálico-irritante	-	-
Solidos disueltos mg/l	125	-	-
Solidos en suspensión mg/l	-	-	-
Solidos totales mg/l	-	-	-
Solidos sedimentables mg/l	-	<0.1	0.5
Conductividad eléctrica Umhos/cm	250	-	-
Amoniaco mg/l	0.77	-	200
Alcalinidad mg/l	100	-	-
Dureza mg/l	104	-	-
Manganeso mg/l	0.11	-	-
Nitratos mg/l	23.5	-	-
Nitritos mg/l	0.06	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅ mg/L	5.8	<10	-
Demanda química de oxígeno, DQO mg/L	41	25	1200
Sulfatos mg/l	-	7.4	-
Fosfatos mg/l	-	0.16	-
Cloruros mg/l	-	<10	1.0
Hierro total mg/l	0.55	0.38	6.0
Fluoruro mg/l	0.1	0.64	100
Cadmio mg/l	-	0.0029	1.0
Plomo mg/l	-	0.0284	2.0
Cromo mg/l	-	1.4	4.0
Cobre mg/l	-	<0.01	4.0
Cinc mg/L	-	7.0	10

Tabla 6. Características químicas y físicas de las muestras compuestas del agua residual del decapado y desengrase

PARÁMETRO	Muestra 09/08/05	Muestra 10/08/05	Muestra 11/09/05
pH	1.77	1.82	1.7
Cloruros mg/l	850	1100	750
Solidos Sedimentables cc/l	1.0	2	0.75
DQO mg/l	369	343	405

Tabla 7. Características químicas y físicas de las muestras compuestas del agua residual del sellado de zinc

PARÁMETRO	Muestra 09/08/05	Muestra 10/08/05	Muestra 11/09/05
pH	5.76	7.05	7.04
Cloruros mg/l	10	6	7
Solidos Sedimentables ml/l	0.4	0.3	0.5
DQO mg/l	15	24	13

9. CARACTERIZACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Descarga No. 1:

La descarga No. 1 que se produce en el decapado y desengrase la podemos caracterizar como un agua residual que genera impacto negativo al medio ambiente, esto es debido a que los parámetros de Sólidos Sedimentables, Cloruros y Hierro tienen valores que sobrepasan los límites permisibles del reglamento.

Los sólidos sedimentables presentaron un valor de 34 mg/l y el límite máximo es de 0.5 mg/l, estos sólidos son debido al desprendimiento de óxido u otras partículas de metal que se desprenden de la lámina al momento del decapado.

Para desarrollar el decapado en la lámina se utiliza ácido clorhídrico con una concentración de 12%, lo cual al mezclarse con el agua de limpieza originan un efluente con un valor de cloruros que oscila entre los 640 a 1100 mg/l, valores que se encuentran por arriba del límite máximo de 1.0 mg/l de cloruros.

En el caso del hierro se tiene un valor de 11 mg/l, esto es debido a que la función principal del decapado es de eliminar todas las impurezas metálicas que se encuentran en la superficie de la lamina, el valor máximo que permite el reglamento es de 6 mg/l.

Descarga No. 2:

El agua residual que se genera en el proceso de sellado de zinc (descarga No. 2), la podemos caracterizar como un efluente de agua residual industrial de menor impacto negativo al medio ambiente ya que únicamente tiene fuera del límite máximo permisible los cloruro con valores comprendidos de 6 a 10 mg/l.

Con la caracterización realizada podemos decir que el agua residual que necesita mayor tratamiento es la descarga No. 1, dado esta situación la propuesta de los procesos unitarios de tratamiento se hará para remover los sólidos sedimentables, los cloruros y el hierro. En la descarga No. 2 únicamente hay que remover los cloruros.

10. DETERMINACIÓN DE CAUDAL Y CARGA CONTAMINANTE

10.1 Determinación de caudal

La determinación de los caudales de las dos descargas residuales industriales se realizó por el método de flujo en canales, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$V = 1/n * R^{2/3} * S^{1/2} \quad , \quad Q = A * V * 1000$$

Donde:

V = velocidad en el canal (metros/segundo)

Q = caudal en el canal (litros/segundo)

n = coeficiente de rugosidad del canal

R = radio hidráulico (área de la sección dividida por el perímetro mojado)

S = pendiente del canal (m/m)

El coeficiente de rugosidad a utilizar es para superficies de tierra bien conservados con un valor de $n=0.023$, para las dos descargas.

Descarga No. 1, Decapado y Desengrase

Profundidad del canal:	0.03	mts.
Ancho del canal:	0.16	mts.
Área:	0.0048	mts ²
Pendiente:	0.003	m/m

Calculando el radio hidráulico (R)

$$R = (0.03 * 0.16) / (0.03 + 0.16 + 0.03)$$

$$R = 0.0218$$

Sustituyendo los valores en la ecuación, tenemos

$$Q = 0.0038 * (1/0.023) * (0.0218)^{2/3} * (0.003)^{1/2} * 1000$$

$$Q = 0.89 \text{ litros/segundo}$$

Descarga No. 2, Sellado de Zinc

Profundidad del canal: 0.05 mts.

Ancho del canal: 0.28 mts.

Área: 0.014 mts²

Pendiente: 0.002 m/m

Calculando el radio hidráulico (R)

$$R = (0.05 * 0.28) / (0.05 + 0.28 + 0.05)$$

$$R = 0.0368$$

Sustituyendo los valores en la ecuación, tenemos

$$Q = 0.014 * (1/0.013) * (0.0368)^{2/3} * (0.002)^{1/2} * 1000$$

$$Q = 5.32 \text{ litros/segundo}$$

10.2 Carga contaminante

La carga contaminante se conoce como la relación existente entre la concentración de un parámetro dado del agua residual durante un periodo en el cual se genera un proceso de producción tomando en cuenta el caudal generado en ese periodo, como se indica en la siguiente ecuación:

$$\text{Carga contaminante (CC)} = (C \times Q_d) / P$$

Donde:

C = concentración del parámetro en mg/l

Q_d = caudal durante el periodo (seg.)

P = Producción durante el periodo (seg.)

Para el caso de la carga contaminante generada en el efluente de decapado y desengrase se dará en dimensiones de mg por pie de lámina producida.

10.2.1 Carga contaminante del decapado y desengrase

Carga contaminante de sólidos sedimentables (S.Sed)

Concentración de sólidos sedimentables: 34 mg/l

- **CC diaria**

Caudal diario: 76896 litros

Producción diaria: 100948 pies lineales

CC diaria: $(34 \times 76896) / 100948$

CC diaria: 25.89 mg de SS/pie lineal

Carga contaminante de hierro

Concentración de hierro: 11 mg/l

- **CC diaria**

Caudal diario: 76896 litros

Producción diaria: 100948 pies lineales

CC diaria: $(11 \times 76896) / 100948$

CC diaria: 8.38 mg de hierro/pie lineal

Carga contaminante de cloruros

Concentración de cloruros: 640 mg/l

- **CC diaria**

Caudal diario: 76896 litros

Producción diaria: 100948 pies lineales

CC diaria: $(640 \times 76896) / 100948$

CC diaria: 487.51 mg de cloruros/pie lineal

10.2.2 Carga contaminante del sellado de zinc

Carga contaminante de cloruros

Concentración de cloruros: 10 mg/l

- **CC diaria**

Caudal diario: 45965 litros

Producción diaria: 101850 pies lineales

CC diaria: $(10 \times 45965) / 101850$

CC diaria: 4.51 mg de cloruros/pie lineal