

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGON

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE JOYERÍA EN SU ÁREA DE GALVANOPLASTÍA”

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA

P R E S E N T A :

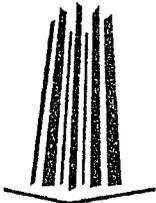
ALEJANDRO ESQUIVEL ESQUIVEL

ASESOR: DR. EN I. DANIEL ALDAMA AVALOS

MÉXICO

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2002





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# PAGINACION DISCONTINUA

**A mi universidad**  
UNAM  
ENEP Aragón

**A mi asesor:**

**Dr. en I. Daniel Aldama Ávalos.**  
Por su gran ayuda y consejo.

**A mi amigo:**

**Ing. Roberto Hugo Camacho**

INTRODUCCIÓN

**I. - CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

1.0 Definición.....	1
1.1 Principales Contaminantes.....	1
1.2 Fuentes de la Contaminación.....	2
1.2.1 Contaminación Urbana.	
1.2.2 Contaminación Agrícola.	
1.2.3 Contaminación Industrial.	
1.3. Importancia del entendimiento de los desechos industriales.....	3
1.4 Variables de los desechos industriales.....	4
1.4.0 Compatibilidad de los contaminantes.	
1.4.1 Soluciones diluidas.	
1.4.2 Soluciones concentradas.	
1.4.3 Masa concentrada del contaminante.	
1.4.4 Frecuencia de generación y descarga.	
1.4.5 Horas de operación contra horas de descarga.	
1.4.6 Variaciones en la descarga.	
1.4.7 Descargas continuas e intermitentes.	
1.5 Efectos de las aguas de desecho industrial.....	8
1.5.0 Responsabilidad del operador.	
1.5.1 Efectos en el sistema de colección.	
1.5.2 Efectos en el sistema de tratamiento.	
1.5.3 Efectos sobre el afluente, depósito de lodos y rehuso.	
1.5.4 Efectos sobre el sistema de drenaje municipal.	

**II. INDUSTRIA DE LA GALVANOPLASTIA.....14**

II.1 Definición de las empresas que utilizan la galvanoplastia.....	14
2.1.1 Situación actual de la industria de la galvanoplastia.	
II.2 La galvanoplastia y los desechos generados.....	18
2.2.1 Pretratamiento.	
2.2.2 Recubrimientos y revestimientos.	
2.2.3 Gravado y acuñado químico.	
2.2.4 Baño de brillo.	
2.2.5 Características de las aguas de desecho.	
2.2.6 Uso del agua y la generación de las corrientes de desecho.	

**III. MEDIDAS PARA EVITAR O MINIMIZAR LA GENERACIÓN DE DESECHOS EN LA GALVANOPLASTÍA.**

III.1 Estrategia de prevención de la contaminación.....30  
 III.2 Cambiando de tratamiento a prevención.....30  
 III.3 Alternativas en donde aplicar la prevención de la contaminación.....30  
     3.3.1 Buenas practicas de operación.  
     3.3.2 Sustitución de materiales.  
     3.3.3 Modificación del proceso.  
     3.3.4 Reuso y reciclaje de materiales.  
     3.3.5 Reformulación del producto.  
     3.3.6 Métodos de minimización de desechos en la industria de la galvanoplastía.  
 III.4 Beneficios económicos en la prevención de la contaminación.....40

**IV. DEPURACION DEL AGUA.**

IV.1 Ecuilización y separación de las corrientes de desechos.....41  
 IV.2 Neutralización(ajuste del pH).....43  
 IV.3 Destrucción del cianuro por oxidación.....45  
 IV.4 Reducción del cromo hexavalente.....47  
 IV.5 Remoción de metales comunes.....49  
 IV.6 Remoción de metales complejos.....51  
 IV.7 Tratamiento fisicoquímico..... 52  
     4.7.1 Coagulación.  
     4.7.2 Floculación.  
     4.7.3 Sedimentación.  
 IV.8 Filtración.....58  
 IV.9 Remoción de aceites y grasas.....61

**V. REQUERIMIENTOS LEGALES**

V.1 Necesidad de control.....62  
 V.2 Instituciones a cargo.....62  
 V.3 Reglamentación y normatividad aplicable a la industria de la galvanoplastía y sus sistemas de tratamiento de agua.....64  
     5.3.1 La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente.  
     5.3.2 Normas Oficiales Mexicanas y Reglamentos Aplicables.  
     5.3.3 Proyectos de Normas Oficiales Mexicanas.  
 V.4 Requerimientos por la generación de residuos peligrosos.....70  
 V.5 Requerimientos para el manejo de residuos peligrosos.....70  
 V.6 Sanciones.....70  
 V.7 Requerimientos debido a la contaminación generada por fuentes fijas.....71  
     5.7.1 Requerimientos de registro de fuentes fijas y de descargas de aguas residuales.

**VI. PLANTAS DE TRATAMIENTO.**

VI.1 Definición de sistema de tratamiento.....72  
 VI.2 Investigación de campo.....72  
     6.2.1 Planta de tratamiento "El LLANO".  
     6.2.2 Planta de tratamiento de las aguas residuales de IMASA.  
     6.2.3 Planta de tratamiento de las aguas residuales de INDUX.  
 VI.3 Investigación Documentada.....82

**VII. SISTEMA PROPUESTO.**

VII.1 Necesidad.....89  
     7.1.1 Situación actual.  
     7.1.2 Requerimientos.  
 VII.2 Objetivos.....96  
 VII.3 Sistema.....97  
     7.3.1 Lista de chequeo para la prevención y minimización de la generación de aguas residuales.  
     7.3.2 Planta de tratamiento "77 AE".  
         7.3.2.1 Descripción de los procesos.  
             7.3.2.1.1 Tratamiento químico.  
             7.3.2.1.2 Tratamiento físico.  
         7.3.2.2 Equipo utilizado.  
             7.3.2.2.1 Fosas de recolección.  
             7.3.2.2.2 Unidades de neutralización 1 y 2.  
             7.3.2.2.3 Unidad de oxidación de cianuro.  
             7.3.2.2.4 Unidad de reducción de cromo VI.  
             7.3.2.2.5 Clarificador.  
             7.3.2.2.6 Filtro de arena.  
             7.3.2.2.7 Sistema de colección.  
             7.3.2.2.8 Bombas de alimentación.  
             7.3.2.2.9 Controladores de pH y ORP.  
             7.3.2.2.10 Secuencia de operación.  
     7.3.3 Químicos utilizados en los tratamientos del agua residual.  
         7.3.3.1 Especificación de los reactivos químicos  
         7.3.3.2 Seguridad necesaria para el manejo de los reactivos químicos.

**VIII. FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO.**

VIII.1 Cotización del equipo.....159  
 VIII.2 Costos de operación y mantenimiento.....161  
 VIII.3 Fuentes de financiamiento.....163

CONCLUSIONES.

ANEXOS.

GLOSARIO.

BIBLIOGRAFÍA.

## INTRODUCCIÓN

Mundialmente la protección al medio ambiente es uno de los retos impostergables de la actualidad, esto debido a la contaminación indiscriminada que se ha producido durante muchos años y que han provocado la reducción de recursos naturales que afectan directamente a los seres vivos y en especial al ser humano.

La contaminación del agua es uno de los segmentos más preocupantes debido a su estrecha relación con el ser humano y muchas de sus actividades. En el capítulo I se toma el punto de partida para iniciar un combate en contra de la contaminación del agua, el cual es presentar las formas en que son generados los contaminantes, cuales son estos y quienes son los principales autores de su generación, así como las características principales de estos contaminantes, esto con el objeto de conocerlos y poder evaluar sus efectos en los seres vivos y medio ambiente en general.

La industria es considerada parte fundamental de la infraestructura urbana por que provee y requiere de inmuebles, bienes y servicios. Es conocido que los procesos industriales conllevan, además de todos los bienes que generan y necesidades humanas que satisfacen, un deterioro ambiental que es representado en proporción aceptable por los materiales que se convierten en desecho o residuos que se generan como parte ineludible de todo proceso productivo. Desechos que forman parte de los cambios negativos provocados por la existencia del ser humano sobre la tierra.

Una parte de esta industria son las empresas que incluyen el giro de la galvanoplastia, siendo estas parte de empresas mayores del giro de la metalmecánica, en las que laboran un gran número de trabajadores. Los bienes producidos en este sector son cada vez más aceptados en el mercado nacional así como también en el extranjero. No obstante los procesos involucrados para obtener tales beneficios conllevan de manera implícita desechos que por sus características peligrosas requieren de una atención especial para su adecuado manejo.

Aunque estos desechos no son deseables, es imposible cancelar la actividad industrial ya que esta representa una de las herramientas de ayuda para los seres humanos y en el caso de la industria manufacturera mexicana representa el 19 % del Producto Interno Bruto (PIB) que principalmente se encuentra aglutinada en zonas urbanas y por ende zonas con niveles altos de contaminación.

Generalmente las industrias del giro de la galvanoplastia tienen en común el esmerilado y pulido de las piezas; así como el desengrasado, recubrimiento y acabado en diferentes baños que en parte contienen sustancias tóxicas. Un aspecto importante dentro de las empresas de galvanizado, es el uso de considerables cantidades de agua en sus procesos. Estos desechos son recibidos de forma directa y gran porcentaje por efluentes de agua limpia, condición que se tiene que sacrificar a fin de lograr beneficios para los seres humanos; pero que deben ser conocidos para poder ser combatidos, de tal forma que en el capítulo II se

presentan las formas en que el agua es utilizada y por tanto contaminada en los procesos de manufactura de esta industria, para poder ser así combatida de una manera eficaz.

Dicho combate no representa únicamente medidas correctivas; si no también medidas que permitan la minimización y hasta la eliminación de la generación de contaminantes que terminen en el medio ambiente y en especial en el agua. Dichas oportunidades son revisadas en el capítulo III por medio de una estrategia de prevención, cambiando de tratamiento a prevención, ilustrando las alternativas existentes para poder aplicarlas e indicando cuales son los beneficios económicos, todo esto para poder entenderlas y así aplicarlas hasta donde sea posible.

El agua que al final inevitablemente termina contaminada en estos procesos industriales debe ser entonces tratada, al punto de regresar hasta donde sea posible a las condiciones a las cuales fue recibida o a condiciones aceptadas por los organismos encargados, a fin de mantener un equilibrio ecológico, dañar en lo menor posible a la naturaleza y evitar sanciones a las empresas que las producen.

La forma en que son eliminados los contaminantes del agua depende en gran medida de las características de los desechos cómo, cuanto, cuando y por quienes son generados, lo que representa el punto de partida para emplear soluciones óptimas a necesidades específicas.

Los métodos de depuración del agua son muy variados y dependen en gran medida de las características de los contaminantes en el agua. Por lo que se hace necesario presentar en el capítulo IV, los tratamientos que se requieren para tratar lo más eficiente posible las aguas de desecho provenientes de la industria de la galvanoplastia.

Después de conocer la forma en que puede ser combatida la contaminación del agua, se presenta la incógnita de ¿hasta qué grado?. La respuesta es en gran medida resuelta por el objetivo por el cual se realiza está depuración.

En el ámbito nacional e internacional existen organismos gubernamentales y no gubernamentales creados para llevar acabo acciones dirigidas a controlar la contaminación del agua mediante la expedición y publicación de leyes, normas, reglamentos y una serie de requisitos, que deben de ser cumplidos por aquellas empresas que realicen descargas de agua contaminada, para evitar sanciones que van desde multas administrativas hasta el arresto de los responsables y el cierre de la empresa. Por lo que dichos requerimientos y normas son revisados en el capítulo V del presente trabajo, ya que se da a conocer por que de la necesidad de controlar la contaminación producida en los procesos de manufactura.

Hoy en día la industria ha tomado acciones para reducir la generación de la contaminación y para tratar de la mejor manera los contaminantes del agua que son producidos inevitablemente. Por lo que conocer los resultados de los trabajos documentados y reales realizados por diferentes empresas ayudará en gran medida

al conocimiento de los problemas y soluciones a los que se han enfrentado, con la finalidad de aprovechar esta experiencia para llevar a cabo una solución eficiente con la menor cantidad de recursos el capítulo VI muestra el estudio de campo realizado a tres plantas de tratamiento de agua de empresas del ramo de terminado de metales y el estudio documentado de cuatro plantas de tratamiento de agua de desechos similares a las generadas por la industria de la galvanoplastia.

Es aquí donde surge la necesidad de contar con sistemas de tratamiento de agua, que por lo menos garanticen una calidad de agua suficiente para cumplir con las concentraciones máximas de contaminantes establecidas por los organismos gubernamentales y poder así desechar el agua residual tratada al sistema de drenaje. Teniendo en cuenta que lo preferible sería poder restablecer el grado de pureza con el que fue recibida el agua y hasta poder mejorarlo. En el capítulo VII se diseña e implementa el sistema de tratamiento de agua residual que ha de llevar a esta empresa al cumplimiento de los reglamentos y normas vigentes en México, para la descarga de sus aguas residuales al drenaje. En este capítulo da a conocer que el sistema de tratamiento no solo consta de una planta de tratamiento si no también de la aplicación de medidas administrativas que redunden en la reducción de la contaminación generada. Los tratamientos que se llevan a cabo en la planta son los adecuados de acuerdo a los desechos que se desean eliminar, y son explicados en este mismo capítulo, así como la realización del diseño y selección de los equipos que conforman la planta de tratamiento.

Por último se encuentra la problemática de los recursos con los que se implementará y mantendrá dicha solución y el impacto que tendrá en la economía de la empresa; pero sin bien se mencionó anteriormente, éste es un problema mundial, que tiene que ser resuelto a la brevedad posible, por lo que además de leyes, normas, reglamentos y requisitos se han creado también fondos nacionales e internacionales destinados al apoyo de la creación de proyectos contra la contaminación que son de gran ayuda a las empresas que requieran de esta clase de inversiones. El capítulo VII muestra el análisis económico del sistema de tratamiento, dando a conocer los costos para la implementación, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento y algunos de los financiamientos posibles.

# **CAPITULO 1**

## **Contaminación del agua**

## 1.0 DEFINICIÓN

La contaminación del agua es la incorporación de materias extrañas, como son: microorganismos, productos químicos, residuos industriales, aguas residuales, materiales sólidos, entre otros, los cuales provocan cambios indeseables en las características físicas, químicas o biológicas del agua. Esto podría deteriorar la calidad del agua y hacerla inútil para su uso en necesidades cotidianas. En general se puede considerar como contaminante a todo producto que se encuentre en exceso en el agua.

## 1.1 PRINCIPALES CONTAMINANTES.

Los principales contaminantes del agua son los siguientes:

- Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).
- Productos químicos incluyendo, los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensioactivas contenidas en los detergentes y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.
- Metales pesados.
- Agentes infecciosos.
- Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas. Estas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.
- Petróleo, especialmente el procedente de los vertidos accidentales.
- Minerales inorgánicos y compuestos químicos.
- Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos.
- Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos.
- El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen.

## 1.2 FUENTES DE LA CONTAMINACIÓN Y SU CONTROL

Las principales fuentes de contaminación acuática pueden clasificarse como *urbanas, industriales y agrícolas*.

### 1.2.1 CONTAMINACIÓN URBANA.

La contaminación urbana está formada por las aguas residuales de los hogares, establecimientos comerciales y lugares de trabajo. Esencialmente se encuentra constituida por sólidos, resultado de las actividades cotidianas de los seres humanos. Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan sólo reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas. En los últimos años, por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración.<sup>(1)</sup>

Los principales métodos de tratamiento de las aguas residuales urbanas tienen tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de arenillas, la filtración, el molido, la floculación (agregación de los sólidos) y la sedimentación; el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de lodo biológicamente activo, que seguidamente es filtrado; y el tratamiento terciario, en el que se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno.<sup>(2)</sup>

### 1.2.2 CONTAMINACIÓN AGRÍCOLA.

Las actividades de agricultura, ganadería a grandes escalas y las granjas avícolas, son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías. Las medidas de control pueden incluir el uso de depósitos de sedimentación para líquidos, el tratamiento biológico limitado en lagunas aerobias o anaerobias, y toda una serie de métodos adicionales.<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Microsoft Windows 95, Enciclopedia Encarta 98, Contaminación del agua 1998.

<sup>(2)</sup> Henze, Harremoës La Cour Jansen, Arvin, Waste Water Treatment, Biological and Chemical Processes, 2ª Edición, Editorial Springer, Pág. 47.

<sup>(3)</sup> Microsoft Windows 95, Op. Cit.

### 1.2.3 CONTAMINACION INDUSTRIAL.

Las características de las aguas residuales industriales pueden diferir mucho tanto dentro como fuera de las empresas. El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos; también de su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas.

Los desechos generados por la industria pueden ser:

- Contaminantes compatibles
- Contaminantes no compatibles.
- Otros constituyentes químicos como son sodio, calcio, nitrato, carbonato y un extremo pH podrían también afectar el sistema de colección y tratamiento en las mismas instalaciones, así como afectar seriamente en la reutilización del fluido. Características físicas como temperatura, solubilidad, insolubilidad y viscosidad de los desechos industriales pueden afectar las actividades mecánicas, biológicas de los sistemas de tratamiento y conducción.

Hay tres opciones (que no son mutuamente excluyentes) para controlar los vertidos industriales. El control puede tener lugar allí donde se generan dentro de la planta; las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana; o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas sin más, en corrientes o masas de agua. <sup>(4)</sup>

### 1.3 IMPORTANCIA DEL ENTENDIMIENTO DE LOS DESECHOS INDUSTRIALES.

Existen dos razones principales por lo cual se debe de entender las fuentes de los desechos industriales:

1. - Teniendo conocimiento de las fuentes y las cantidades de los desechos industriales, se puede identificar, definir, y resolver los problemas de los sistemas de tratamiento de aguas industriales causados por descargas industriales. El sistema de tratamiento de aguas de desechos industriales debe de ser diseñado para el tratamiento de aguas de desecho específicas. Las fuentes de los desechos industriales incluyen:

- Los procesos de manufactura.
- Actividades de limpieza y mantenimiento tanto de los mismos productos manufacturados, como de los sistemas de utilería.
- El mismo sistema de tratamiento de agua.

Si no se tomara en cuenta el tipo de contaminante, la concentración de éste en el agua, el volumen y la frecuencia de descarga, la planta podría no funcionar correctamente y realizar dichas descargas al drenaje fuera de los límites permitidos. Como operador se necesita entender como los diferentes desechos industriales interactúan entre sí y como poder manejarlos. Se debe de tener una

<sup>(4)</sup> Kenneth D. Kerri. Industrial Waste Water, Universidad del Estado de California segunda edición, 1994. Pag. 175.

comprensión básica de la química y las reacciones químicas de los procesos de generación de aguas de desecho industrial, reacciones biológicas y de su propio sistema de colección y tratamiento.

2. - La segunda razón de por que entender las fuentes de desechos industriales es para determinar los efectos al medio ambiente. La razón principal de por que tener un sistema de tratamiento de aguas industriales es la protección de las aguas que se reciben y desecharlas al drenaje en un estado inofensivo y de la forma más semejante a la que fueron recibidas.

De tal manera que para tener una buena comprensión de los efectos de desechos industriales en los sistemas de tratamiento de agua y en el medio ambiente se deberá ser capaz de identificar y describir no solo los tipos de contaminantes, sino también las cantidades y las concentraciones de estos, la frecuencia de generación y descarga aunque esta sea una vez al año o una vez al día.

#### 1.4 VARIABLES DE LOS DESECHOS INDUSTRIALES.

En esta parte se analiza los diferentes parámetros de las aguas de desecho y como son generalmente clasificados, la importancia de conocer la frecuencia de generación y descarga así como también la relación con los efectos que estas descargas pueden tener en el sistema de tratamiento.

##### 1.4.0 CONTAMINANTES COMPATIBLES Y NO-COMPATIBLES.

Los contaminantes compatibles Son definidos como aquellos contaminantes que normalmente pueden ser conducidos por el sistema de drenaje. <sup>(5)</sup>

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos suspendidos (S.S.), aceite, grasa y amonía son considerados como contaminantes compatibles. El sistema de drenaje esta diseñado principalmente para conducir y tratar aguas de desecho domestico y de desecho industrial que sean compatibles.

Los contaminantes no-compatibles son definidos como aquellos contaminantes que no son o no deberían ser conducidos por el sistema de drenaje, ya que pueden ser tóxicos en el sistema biológico de tratamiento o podrían causar por su paso en el sistema de tratamiento algún tipo de estrago. <sup>(6)</sup> También algunos desechos indeseables biológicamente como son solubles y aceites sintéticos de enfiamiento podrían causar alguna interferencia con el sistema de extracción de metales debido a que impiden la formación de masas.

Otros ejemplos de contaminantes no-compatibles incluyen cianuro, cromo VI, metales pesados en concentraciones altas como cobre, níquel, plomo y zinc; orgánicos como cloruro de metileno, tricloruro de etileno, acetona y gasolina. También lodos con orgánicos o metales tóxicos.

<sup>(5)</sup> Ibid., Pag. 176.

<sup>(6)</sup> Id.

### 1.4.1 SOLUCIONES DILUIDAS.

Las descargas de agua de los procesos continuos de manufactura, actividades de limpieza y mantenimiento son normalmente soluciones diluidas de contaminantes compatibles y algunas veces de contaminantes no-compatibles. Las cuales pueden ser descargadas en el sistema de tratamiento o directamente en el sistema de drenaje cuando no superan los límites establecidos por los organismos gubernamentales reguladores de la calidad del agua.

Los procesos de manufactura, como enjuagues de los baños de recubrimiento, limpieza de alimentación y la extracción de agua del aceite crudo, son ejemplos de soluciones diluidas de contaminantes, que pueden ser descargados directamente al sistema de drenaje cuando su concentración es aceptable. Otra fuente de agua de desechos diluidos es el agua de lluvia que cruza a través de los mecanismos de manejo de químicos y las áreas de almacenamiento. Los productos que son derramados en los pisos de las industrias podrían ser arrastrados por las aguas de lluvia y en algunas partes por aguas de deshielo y de esta manera quedar contaminadas.

La concentración de contaminantes es generalmente muy diluida para requerir tratamiento a fin de poder verter el agua de desecho al drenaje; pero si esta excede los estándares de descarga, deberá ser tratada con el resto de las aguas de desecho.

### 1.4.2 SOLUCIONES CONCENTRADAS.

Normalmente las soluciones concentradas son intermitentes y su frecuencia de generación no es diaria sino semanal, mensual, anual o hasta mayor. Estas soluciones son químicos procesados, sustancias agotadas o productos que no pueden ser reciclados o rehusados en el mismo proceso de manufactura a menos que se aplique algún tipo de tratamiento.

Las soluciones concentradas tales como baños de recubrimiento usados, ácidos, alcalinos, soluciones con agua de arrastre de enjuagues estáticos y productos rechazados pueden tener concentraciones de contaminantes cientos de veces arriba de los límites establecidos para poder descargarlos al sistema de drenaje.

Estos también representan un peligro para el sistema de tratamiento de agua si son todos ellos descargados al sistema al mismo tiempo.

Se deberá de tener cuidado ya que algunos desechos son considerados concentrados para el sistema de drenaje aunque para las industrias que los emplean estos no lo sean. Por ejemplo: una solución de ácido sulfúrico al 10 % usados para la limpieza química de materiales es considerada diluida a comparación de las soluciones al 98 % usadas para la limpieza de estos mismos limpiadores. Cuando estas soluciones son usadas y no se pueden aprovechar más, se necesita de su tratamiento y desecho. Para el particular punto de vista del manufacturador esta solución seria una solución diluida y no tendría la concentración necesaria para sus objetivos.

De cualquier forma esta solución desde el punto de vista ecológico sigue siendo una solución concentrada debido a su alto contenido de ácidos( con un pH menor de 1,0), metales pesados (1000mg/l) comparado con un pH normal de aproximadamente 6-7 y metales pesados con menos de 100mg/l.

Otra fuente de soluciones concentradas es la limpieza de equipos. Este tipo de aguas contiene una alta concentración del producto que la máquina procesa, esto durante la primera limpieza del equipo (bomba, tanque, etc.). La descarga de esta primera limpieza va seguida con enjuagues consecutivos con menor cantidad de contaminantes.

Los derrames químicos de proceso sobre el suelo que no son contenidos derramarán hasta el drenaje y provocarán daño a éste. Por esto las áreas de almacenamiento o manejo de químicos no deberán contar con sistema de colección como coladeras o sistema de drenaje.

### **1.4.3 MASA CONCENTRADA DEL CONTAMINANTE.**

El entendimiento de la concentración y masa de determinado contaminante en los desechos de una industria, es necesario para poder determinar los efectos de este sobre el sistema de tratamiento, sistema de drenaje, sistema de colección y el muestreo de las descargas de la industria. La concentración de una sustancia en las aguas de desecho es normalmente expresado en miligramos por litro (mg/l), que es una unidad de masa por una unidad de volumen. La producción de la masa es una medida de peso por unidad de tiempo y es usualmente expresado en libras o kilogramos por día. Mientras que la mayoría de los estándares para la galvanoplastia y terminado de metales de categoría federal están escritos en concentraciones; otros estándares se encuentran escritos como estándares de determinado rango de emisión de masas. Los estándares de masa resienten que exista mas producción y con esto mayor uso de agua ya que se genera una mayor cantidad de contaminantes.

### **1.4.4 FRECUENCIA DE GENERACIÓN Y DESCARGA**

Es de suma importancia para el sistema de tratamiento, sistema de drenaje o sistema de colección, la frecuencia de generación de los desechos industriales y sus descargas.

Se debe de realizar un muestreo de ciertos problemas de proceso para determinar la correspondencia con los límites de descarga, ya que al diseñar los equipos se necesita entender, cuando, el desecho proveniente de cada uno de los procesos es generado y cuando será este descargado al sistema de tratamiento, así mismo el conocer cuando el desecho será descargado al sistema de drenaje.

### **1.4.5 HORAS DE OPERACIÓN CONTRA HORAS DE DESCARGA.**

Normalmente las horas de operación son las mismas horas de descarga al sistema de tratamiento, por esto generalmente, el diseño del sistema de tratamiento considerará el volumen de desecho a tratar durante las horas de operación. Si la producción es constante, el volumen de descarga y constituyentes químicos serán también constantes.

#### **1.4.6 VARIACIONES EN LA DESCARGA.**

Las industrias que tienen ciclos de manufactura diaria, semanal o periódica mostraran variaciones en la descarga de la generación de aguas de desecho. Los ciclos de trabajo para cada uno de los varios segmentos de la comunidad industrial tendrán un efecto y por lo tanto la generación de desechos.

En ciertas industrias las variaciones en la cantidad de desechos reflejan la naturaleza del trabajo o los ciclos de trabajo de un particular segmento.

Las industrias dedicadas a la galvanoplastia, así como muchas otras están sujetas a altas y bajas en el mercado que llevan a variaciones en el ritmo de producción y por consiguiente de generación de desechos.

Las variaciones en la calidad del desecho industrial se presentan debido a las fuerzas del mercado o a las diferentes requisiciones del producto.

Los conocimientos de la industria con procesos de manufactura y las tendencias del mercado, son para el operador del sistema de tratamiento herramientas necesarias para anticipar variaciones de las descargas industriales.

#### **1.4.7 DESCARGAS CONTINUAS E INTERMITENTES.**

Las descargas de las instalaciones de manufactura normalmente reflejan el tipo de proceso de manufactura que es utilizado en esa instalación. Los procesos que son continuos tienden a producir aguas de desecho en cantidad y volumen continuo relativamente. "Los baches" en los procesos o actividades que ocurren una vez cada turno, día o semana, tienden a producir una descarga intermitente. También casi como regla general, el proceso de manufactura produce una descarga continua.

Las descargas intermitentes de aguas de desecho son caracterizadas por descargas de un volumen de aguas de desecho separado por tiempos entre cada descarga. Esto normalmente ocurre al principio o al final de un proceso de manufactura o durante la limpieza del equipo, en un derrame, en la sustitución de una sustancia o en el desecho de un producto. Las descargas intermitentes tienden también a ser más concentradas y con menor volumen que las descargas de aguas de desecho normal. Para una instalación de pretratamiento las descargas intermitentes y variaciones en la generación de desechos determinan la capacidad de diseño para el sistema de tratamiento.

#### **1.5 EFECTOS DE LAS AGUAS DE DESECHO INDUSTRIAL.**

Las descargas de aguas de desecho industrial, pueden tener numerosos impactos negativos con los seres humanos, el sistema de colección, el sistema de drenaje, sistema de tratamiento, el efluente, los lodos producidos en el tratamiento y en general con el medio ambiente.

Estas descargas pueden ser capaces de la corrosión de coladeras y tuberías, obstrucción de éstas, provocar gases tóxicos y desagradables olores. Cuando éstas aguas de desecho llegan a plantas de tratamiento, pueden ser tóxicas para los procesos biológicos y pueden también impedir a los microorganismos realizar sus funciones. Después que los desechos industriales abandonan las instalaciones en forma de lodos procesados o afluente tratado, ellos pueden ser tóxicos para los microorganismos, vida acuática y personas.

En ésta parte se detalla los efectos de las aguas de desecho industrial al sistema de colección, sistema de tratamiento, el efluente, los lodos generados por el tratamiento y el sistema de drenaje. Dichos efectos son generalmente negativos, por lo que crean la necesidad de su tratamiento.

Si un desecho es descargado a un sistema de tratamiento que no ha sido diseñado para tratarlo, la descarga podrá causar serios problemas. Esta puede interferir con los procesos del sistema y permitir el paso al drenaje a desechos que no han sido tratados correctamente, provocando una violación a los límites de descarga. Las aguas de desecho industrial que no tienen un correcto tratamiento contamina los lodos que se generan y pueden presenta problemas de emisiones al aire. Esto podría realmente afectar al personal de mantenimiento o de producción que se encuentre trabajando cerca o dentro de ya sea el sistema de tratamiento o el sistema de drenaje, debido a la generación de gases tóxicos. Con esto se puede observar, la estrecha relación que se lleva entre cada uno de los sistemas y su conjunto, ya que de no tener un control de cada uno de ellos provoca un desencadenamiento de los otros.

La seriedad del efecto dependerá de las características del desecho, el tamaño y diseño del sistema de tratamiento y los estándares para la descarga de desechos, lodos o emisión de gases. Los efectos de la descarga del afluente industrial al sistema de drenaje o al medio ambiente, dependerán de las características de este afluente, el tipo y tamaño del sistema de drenaje municipal y de los estándares para el uso y rehuso de lodos y aguas de desecho.

Los efectos de las descargas de desechos industriales no son siempre negativos; algunos efectos positivos ocurren.

Por ejemplo en un pequeño sistema de drenaje y colección con descargas provenientes de un sistema de tratamiento con descarga continua de una poderosa planta, las descargas al drenaje con altas temperaturas, provocan negativamente acelerar:

- 1) La degradación biológica,
- 2) Crecimiento de lama,
- 3) Producción de olores de una descomposición anaerobia y,
- 4) Corrosión de tubos y accesorios de concreto y acero.
- 5) También los desechos a alta temperatura pueden causar un cambio en la contaminación bacterial en el segundo tratamiento y con esto a su vez provocar la flotación de lodos y reducir la eficiencia para remover la DBO.

Pero por el otro lado, las descargas de desechos a altas temperaturas provenientes de una poderosa planta, podrían tener una mayor conducción y un sistema de tratamiento localizado en un clima más frío, podría hasta aumentar su capacidad de remoción (debido a la disminución de la viscosidad cinemática del agua) en los procesos de tratamiento secundario en el sistema de drenaje, esto debido a que mantendría la temperatura arriba de 18 °C. durante todo el año. Cuando se evalúa un desecho industrial, es necesario entender las características de este, y como puede afectar cada porción del sistema de tratamiento. Un cambio en el afluente puede afectar la conducción en el sistema de drenaje, tratamiento, deposito y facilidades de rehuso.<sup>(7)</sup>

### 1.5.1 EFECTOS EN EL SISTEMA DE COLECCIÓN.

El sistema de colección es diseñado y constituido para transportar desechos individuales y combinados. Si el sistema de colección no fuera diseñado, constituido u operado correctamente, o si existiera un derrame, fuga o descarga accidental de materiales, o las mismas descargas industriales solas o combinadas, podrían causar la obstrucción de los conductos o tubos, olores, erosión, corrosión, explosiones y otros numerosos problemas; aunque también, algunas descargas industriales provocan efectos positivos en el sistema de colección, ya que estas pueden mitigar los efectos de otro tipo de desechos industriales.

Los efectos benéficos incluyen la neutralización en la línea. Los fluidos de gran volumen pueden producir velocidades muy altas en los drenajes de baja velocidad o diluir un desecho concentrado hasta producir un desecho que pueda ser tratado con las capacidades del sistema de tratamiento.

Pueden causarse problemas de capacidad hidráulica, si un desecho de gran volumen o si un fluido continuo es descargado al sistema de colección o hasta en el sistema de drenaje.

Si un proceso de manufactura desecha gran cantidad de material fibroso, metales pesados, adhesivos o grasas, puede resultar una obstrucción completa de flujo dentro de las tuberías o accesorios de los sistemas que las manejan. La obstrucción puede darse en el punto de descarga o a lo largo de la estación de bombeo. Los materiales fibrosos quedan atrapados en las superficies rugosas y rápidamente provocan que más sólidos se enreden y también se queden obstruyendo al flujo. Este tipo de materiales puede quedar también enredado en los propulsores o ejes de las bombas provocando la descompostura de las bombas<sup>(8)</sup>.

Generalmente los olores se producen por el contenido de sulfuro en algunos compuestos<sup>(9)</sup>. Estos compuestos generalmente terminan en el aire y pueden causar quejas por parte de los vecinos u otras industrias. Mientras el problema se encuentra en el aire, la causa real se origina en la descarga industrial. Es mucho más común encontrar este problema en las descargas al sistema de drenaje.

<sup>(7)</sup> Traus Wagner, Contaminación Causas y Efectos. Editorial Geinika México 1996. Pag. 62

<sup>(8)</sup> Kenneth D. Kerri, Op. Cit. 179

<sup>(9)</sup> Comisión Ambiental Metropolitana en colaboración con Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) TÜV ARGE-MEX. Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición, Septiembre de 1998. sma.df.gob.mx/publica/ manuales /galvanoplastia.htm. Pag. 76.

Además del problema de olor que causa el sulfuro de hidrógeno, este es un gas tóxico que afecta al personal de mantenimiento del drenaje y al operador del sistema de tratamiento. El sulfuro de hidrógeno que se encuentra disuelto en el agua de desecho provoca sulfuro y ácido sulfúrico, materiales que son altamente corrosivos que atacan a los metales sin recubrimientos o a superficies de concreto.

Se pueden llegar a presentar problemas cuando algún proceso de manufactura cambia, ya que el sistema de coleccion existente podría resultar seriamente dañado por la constitución de la nueva agua de desecho. Por ejemplo la fibra de vidrio es un material aceptable para transportar ácido sulfúrico; pero no así para transportar ácido hidrofluórico.

Un derrame de cloro puede causar el aumento de temperatura suficiente para provocar vapor tóxico. El cloro directamente puede también dañar a los materiales de plástico. Una alta concentración de cloro es también corrosiva para el sistema de coleccion.

Los ácidos son sustancias que afectan directamente al pH y a su vez provocan muchos otros efectos entre los que están: los ácidos corroen las coladeras de acero fundido, pozos o tanques húmedos de concreto, los equipos de acero que se encuentran internamente en los clarificadores, los filtros, aereadores y bombas.

Los alcalinos muy fuertes pueden corroer las coladeras y estaciones de bombeo, ya que tiene un pH muy alto y este puede dañar seriamente al aluminio y precipitar metales como calcio provocando la acumulación de este a lo largo de los sistemas, entre estos el de coleccion.

Las descargas de aguas de desecho con un pH fuera de los límites puede provocar daños a las tuberías, a tal grado de provocar la filtración de las aguas de desecho a las aguas subterráneas, contaminando estas y por lo tanto el medio ambiente

La descarga de sustancias inflamables es la descarga industrial más dañina al sistema de coleccion. La gasolina, los combustibles de aviación y el hexano usado en la extracción de semilla de soya han sido responsables de explosiones en el drenaje, causando perdidas de millones de dólares en el drenaje y negocios, la pérdida de servicios para millones de personas y perdidas de vidas.

Otro inconveniente con los desechos inflamables es la exposición a sustancias volátiles y tóxicas del personal o de los operadores del sistema de tratamiento. Esto sucede con solventes mezclados y no-mezclados, tales como acetona y alcohol. Se puede hasta crear una atmósfera explosiva si las concentraciones de esta son altas.<sup>(10)</sup>

Los solventes también pueden causar la falla de materiales de plástico, sistemas de tuberías de resina y alcantarillas. Además de los cuidados que se deben de tener en caso de fuego ya que estos materiales pueden ser inflamables. Las descargas de desechos calientes pueden causar numerosos problemas en los sistemas de drenaje, coleccion y tratamiento, que incluyen la producción de olores, gases, sobrecalentamiento de las bombas, daños en los equipos rotatorios, cambios en la población de microorganismos usados en el tratamiento biológico de los desechos industriales o hasta la esterilización (muerte de todos los organismos) en las aguas de desecho.

<sup>(10)</sup> Traus Wagner. Op.cit., Pag. 272.

Los tubos de plástico( PVC) tienen temperaturas límite de alrededor de 60 °C y pueden fallar si son usadas para el transporte de agua caliente. Los mismos problemas se presentan tanto en el sistema de drenaje, como en el de colección y tratamiento. <sup>(11)</sup>

Además de que si se descarga a algún lago o río, se podría estar violando los límites para la descarga en éstos.

### 1.5.2 EFECTOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

Las descargas de desechos industriales dañan el equipo del sistema de tratamiento de muchas maneras similares o como lo hacen con el sistema de colección:

- Altos volúmenes de descarga pueden exceder las capacidades de diseño y de bombeo.
- La descarga de sólidos a estos sistemas puede ocasionar la obstrucción completa de la tubería.
- Se pueden ocasionar fallas en el sistema debido a la corrosión que provocan ácidos y alcalinos.
- Sustancias inflamables en el sistema provocan riesgo de una destrucción inmediata.

Un problema adicional con las descargas de aguas de desechos industriales, es su efecto en el sistema de tratamiento, incluyendo la obstrucción de los filtros con aceite, la obstrucción de la microfiltración, membranas de osmosis inversa, la interferencia con la recuperación de procesos y la sobrecarga o daños al proceso de tratamiento biológico aeróbico o anaerobio de los sistemas de tratamiento. Todo esto provoca un tratamiento inadecuado o ineficiente de las aguas de desecho que termina en incumplimientos con los límites para descarga.

Por otro lado, considerándose que un cambio en una unidad de pH representa un cambio muy considerable en la concentración de ácidos en el afluente. Se tendrá que tomar en cuenta que el pH de las aguas residuales industriales afecta directamente a las reacciones químicas, precipitación, sedimentabilidad y la filtrabilidad. Para los sistemas de tratamiento biológico tanto los tratamientos anaerobios como los tratamientos aerobios son afectados drásticamente por cambios en las condiciones ambientales. Las operaciones que se realizan fuera de un rango de pH de 7.0 a 8.5 pueden ser tóxicas para las bacterias; aunque si el cambio es gradual los microorganismos se podrán adaptar a los niveles de pH que se encontraran ligeramente más allá de este rango.

En cuanto a los efectos sobre los organismos, se tiene que los cambios en la conductividad o P.O.R.(Potencial de oxido-reducción) normalmente representan aumentos o disminuciones en las sales solubles, cianuro o metales pesados. Los cambios en las concentraciones de sales solubles alteran la cantidad de oxígeno transferido a través de las paredes celulares, de tal forma, que afectan la salud y desempeño de los microorganismos. <sup>(12)</sup>

Las cargas de impacto o baches de descarga de los contaminantes compatibles o no-compatibles provenientes de los procesos industriales, ya sean accidentales o como parte de la producción normal pueden causar interferencia con los procesos de tratamiento o el paso de los contaminantes no tratados.

<sup>(11)</sup> Michael Murphy. Metal Finishing Guide Book. And Directory Issue, Volumen 91 No 1<sup>a</sup>. Pag 555.

<sup>(12)</sup> Comisión Ambiental Metropolitana en colaboración con Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) TÜV ARGE-MEX. Op.cit, Pag. 43

### 1.5.3 EFECTOS SOBRE EL AFLUENTE, DEPOSITO DE LODOS Y SU REUSO.

Las descargas industriales las cuales, solas o en conjunción con otras descargas de otras fuentes pasen a través de las instalaciones del sistema de tratamiento y drenaje municipal sin ser completamente tratadas se consideran descargas de paso.

El paso de contaminantes compatibles y no compatibles puede presentarse debido a que en los sistemas se tienen problemas hidráulicos, de diseño o cargas de impacto de contaminantes tóxicos. Estos se denota en el muestreo que se realiza al afluente, encontrando constituyentes contaminantes de las descargas industriales.

Excluyendo las cargas de impacto "los constituyentes que más probablemente pasen el sistema de tratamiento biológico son pequeñas cantidades de orgánicos tóxicos los cuales son miscibles o inmiscibles, compuestos disueltos en grasas (como insecticidas) y metales pesados solubles que no son usados como micronutrientes. Los constituyentes que más probablemente pasan el sistema de tratamiento químico o biológico son pequeñas cantidades de orgánicos tóxicos, como solventes miscibles y metales mezclados".<sup>(13)</sup>

Las descargas industriales que dañan o pasan los sistemas de tratamiento normalmente tienen un efecto sobre la calidad del afluente y lodos. En esencia, en lugar de ser un recurso potencial se convertirían en un riesgo y responsabilidad.

### 1.5.4 EFECTOS SOBRE EL SISTEMA DE DRENAJE MUNICIPAL.

Los efectos de las descargas industriales sobre el sistema de drenaje municipal, son similares a los efectos de los desechos de los procesos industriales sobre los sistemas de tratamiento y colección. Se provocan problemas con cada uno de los componentes del sistema. Las regulaciones de pretratamiento se establecieron para asegurar que fueran eliminados los contaminantes tóxicos desde su fuente y así proteger el sistema de drenaje y por consiguiente el medio ambiente.

Los efectos de una descarga industrial sobre el sistema de drenaje municipal van siempre a depender de las características y flexibilidad del sistema, en nivel de habilidades poseídas por los inspectores, los analistas de laboratorio y los operadores del sistema de drenaje municipal, así como también del tipo de flujo industrial. Factores como la ubicación, tamaño y largo del sistema de drenaje también intervendrán en como un desecho afectará al sistema de drenaje.

Mientras que la complejidad del sistema de tratamiento en el drenaje aumenta de un solo tratamiento primario hasta un tratamiento terciario, los efectos que un desecho podría tener también aumentan. Entre más altos sean los niveles de tratamiento más sensibles son a las descargas industriales, los

<sup>(13)</sup> Kenneth D. Kerri. Op.cit. Pag. 186.

tratamientos secundarios y terciarios como lo son los lodos activados, nitrificación, desnitrificación y digestión anaerobia pueden ser dañados pueden ser dañados por ejemplo con una sobre dosis de metales pesados.

Un proceso físico, como lo es la filtración de arena puede ser seriamente dañado por el paso de aceite o alguna bacteria gelatinosa, probablemente debido a un desperfecto en el proceso biológico. El deposito de los lodos y el afluente del sistema de drenaje son también afectados por las descargas industriales.

Los componentes tóxicos de las descargas industriales pueden limitar las opciones de reciclamiento o reuso, si el sistema de drenaje no esta apropiadamente protegido en contra de descargas de impacto, o si las concentraciones de los contaminantes alcanzan límites con los que pueden pasar al afluente o lodos después de los tratamientos. Cuando ciertos metales alcanzan altas concentraciones en los lodos, estos se deberán de manejar como residuos peligrosos con sus respectivas regulaciones de manejo y deposito.

Los solventes, también tienen efectos negativos en el drenaje, esto debido a que generalmente los combustibles y solventes son ligeramente solubles en el agua y tienen una gravedad especifica menor a la del agua, por esto cuando son descargados al drenaje se acumulan en los drenajes con menor movimiento y en los pozos húmedos de las estaciones de bombeo. De esta manera cualquier fuente de ignición puede causar una explosión.

## **CAPITULO 2**

### **Industria de la galvanoplastia**

LIBRO DE ACTAS  
1978  
1978

## II.1 DEFINICIÓN DE LAS EMPRESAS QUE UTILIZAN LA GALVANOPLASTÍA

Esta es una de las industrias más restringida y regulada por las normas de descargas de desechos, esto debido a los procesos y materiales utilizados. La característica que distinguen a este tipo de industria es la formación de una superficie metálica sobre un metal base. Esto se hace posible por medio de los procesos de recubrimiento electrolítico o también llamados galvanicos, que consisten en depositar por vías electroquímicas finas capas de metal sobre la superficie de una pieza sumergida (base) en una solución de agua con iones metálicos o en un electrolito, al conectar una fuente externa de corriente directa. Esta superficie de recubrimiento es aplicada para dar protección en contra de la corrosión, resistencia al desgaste, mayor dureza, características antifricciónantes, para fines decorativos y preparación del metal base para acabados finales en pintura, entre otros. El recubrimiento de los metales comunes incluye los procesos en los que un material base, ya sea ferroso o no ferroso, es recubierto ya sea con cobre, níquel, bronce, zinc, cromo, plomo, latón, cadmio, estaño, hierro, aluminio o combinaciones de estos metales. Los recubrimientos con metales preciosos son aquellos en los que el material base es recubierto con oro, plata, platino o paladio. El metal que posteriormente se convierte en la capa se encuentra disuelto en el electrolito en forma de iones. Generalmente las capas formadas son de entre 1-100  $\mu$ m. El proceso base de la industria de la galvanoplastia esta basado en el principio de recubrimiento electrolítico con ánodos solubles, que consiste en la conversión del metal del ánodo en iones metálicos que se distribuyen en la solución. Estos iones serán entonces depositados sobre el cátodo ( que es la pieza a recubrir) formando una capa metálica sobre su superficie. Figura.2.1.

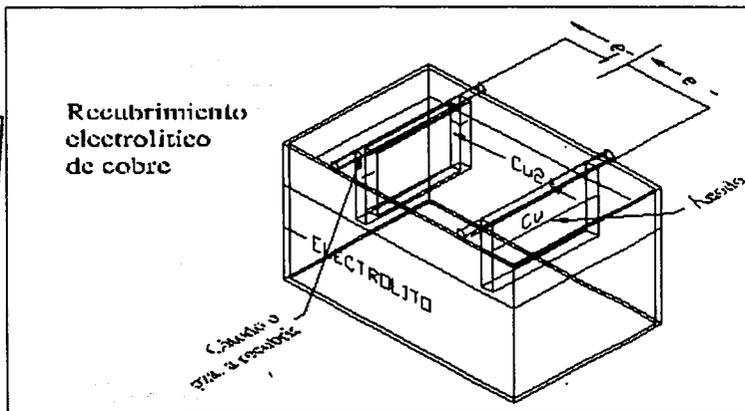


Fig. 2.1 Principio de los recubrimientos electrolíticos. <sup>(14)</sup>

<sup>(14)</sup> Comisión Ambiental Metropolitana en colaboración con Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) TÜV ARGE-MEX. Op.cit. Pag. 29

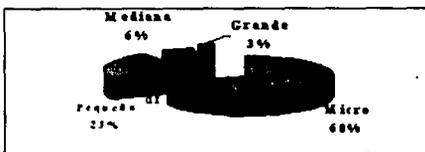
“Los procesos de recubrimiento electrolítico son reacciones de oxidación-reducción. En primer lugar, los iones metálicos en la solución se reducen o metalizan sobre las piezas a recubrir que, ayudadas por una fuente externa de corriente continua que va de 1 a 6 volts y conectadas a la terminal negativa de esta, actúan como cátodos, el metal del ánodo( metal con el que se va a recubrir) se oxida o disuelve con carga positiva( formando los cationes), reponiendo así los iones metálicos a la solución como es el caso de la figura anterior, el cobre se disuelve del ánodo y los cátodos de cobre se depositan sobre la pieza”.<sup>(15)</sup>

En cualquier caso se mantiene el equilibrio entre el metal que sale y el metal que entra a la solución hasta terminar la operación. Aun los materiales que no son ferrosos y por lo tanto no conductores pueden recubrirse con este método si se les aplica un material conductor de la electricidad como lo es el grafito o se les aplica previamente un recubrimiento metálico electroless.

### 2.1.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA DE LA GALVANOPLASTÍA.

La industria de la galvanoplastia así como la de acabados metálicos son industrias con una gran importancia económica y ambiental, las cuales forman parte de la industria manufacturera nacional, que sigue siendo una de las actividades con mayor dinamismo económico del país, contribuyendo con 18.7 % del producto interno bruto (PIB).<sup>(16)</sup>

Los bienes producidos en este tipo de empresas cada vez son más aceptados y demandados por la comunidad nacional e internacional ya que hoy en día crece la necesidad de manufacturar artículos de gran calidad y a un bajo costo que satisfaga las necesidades de las industrias y en general para el uso común, necesidad satisfecha por la industria de la galvanoplastia, no obstante, los procesos utilizados para la obtención de estos beneficios, conllevan implícitamente la generación de residuos que por sus características peligrosas requieren de un adecuado manejo. Por lo que se necesita del análisis de la información estadística básica para la elaboración de diagnósticos que ayuden a la formulación e instrumentación de planes y programas para así obtener una correcta evaluación. En mayoría de estas industrias existe una planta laboral de entre 10 a 60 trabajadores. La estructura nacional de la industria de la galvanoplastia clasificada como industria de fabricación de productos metálicos según información estadística del INEGI 1993, se muestra en la siguiente figura y tablas:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.2 Estructura nacional de la industria de la galvanoplastia.

(15) Id.  
(16) INEGI 2000, Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cifras preliminares, [www.inegi.gob.mx/estadistica/espanol/html](http://www.inegi.gob.mx/estadistica/espanol/html).

A continuación se muestran las empresas de este giro establecidas en el país.

Tamaño de la empresa	Número de unidades	Personal ocupado
Micro	417	2120
Pequeña	140	5621
Mediana	36	5852
Grande	19	9772
Total	612	23365

TABLA 2.1 Distribución de unidades económicas de galvanoplastia en el país y su relación con el personal ocupado.

De las industrias dedicadas a esta actividad y que son miembros de la CANACINTRA, ubicadas en la zona metropolitana se presenta la siguiente tabla:

Entidad federativa (delegación o municipio)	Número de unidades económicas
Distrito Federal	
Alvaro Obregón	5
Azcapotzalco	17
Benito Juárez	5
Coyoacán	2
Cuauhtémoc	6
Gustavo A. Madero	11
Iztacalco	7
Iztapalapa	12
Miguel Hidalgo	3
Venustiano Carranza	3
Estado de México	
Atizapán	2
Nezahualcoyotl	4
Ecatepec	3
Los Reyes	1

Naucalpan de Juárez	4
Tlanepantla	8
Tultitlán	2
Total	95

Tabla 2.2 Distribución de las unidades económicas del giro de la galvanoplastia en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Como se puede observar en la figura 2.2 las pequeñas y las micros empresas representan el mayor porcentaje de unidades económicas dedicadas a esta actividad y por lo que se deduce cuentan con una infraestructura insuficiente para dar manejo a los residuos generados.

Por el contrario en las empresas de gran tamaño, que en el caso de nuestro país son un porcentaje inferior, se cuenta con los recursos económicos para dar un correcto seguimiento al manejo de los residuos desde el lugar donde se generan, comenzando por el almacenaje y hasta el manejo del producto terminado.

De acuerdo con un estudio realizado en Septiembre de 1998 por la COMISIÓN AMBIENTAL METROPOLITANA con las 25 empresas más representativas de este ramo en la Zona Metropolitana revelan que los desechos generados en estas empresas anualmente son 1,991.15 toneladas de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos y 807.7 m<sup>3</sup>/año de residuos líquidos.

Dichos desechos se generan en los siguientes porcentajes:

Basura	30.36
Lodos	29.49
Efluente	28.74
Viruta de metal	5.84
Aluminato de sodio	2.14
Residuos de pulido	1.91
Pinturas y solventes	0.78
Aceites Gastados	0.46
Resinas Fenólicas	0.15
Otros	0.13
Total	100

Tabla 2.3 Relación porcentual de la generación de residuos. <sup>(17)</sup>

Donde se puede observar que la basura es el desecho más producido en este tipo de industria; aunque no de menor cuidado los efluentes provenientes de los procesos electrolíticos y área de enjuague que por sus características también requieren un manejo especial y controlado así como también los lodos

<sup>(17)</sup> Id.

generados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y del mantenimiento de los baños electrolíticos. Actualmente las industrias de galvanoplastia tienen diferentes recursos para el manejo de los desechos generados entre los que se encuentran:

Manejo	% de manejo
Confinamiento Controlado	33.33
Reciclaje/Reuso	18.52
Almacenaje Temporal en Planta	14.81
Relleno Sanitario	14.81
Tratamiento Físico-Químico	11.13
Descarga al Drenaje Municipal	7.4
Total	100

Tabla 2.4. - Manejo identificado de los residuos en la industria de la galvanoplastia.

Observándose que la opción mas recurrida para el manejo de los desechos en estas empresas es el confinamiento controlado, esto debido a que la mayoría de los desechos son lodos de los procesos electrolíticos y tratamiento de las aguas residuales, que por sus características requieren de enviarse a confinamiento regulado. Aunque cabe aclarar, según este estudio, el 20 % de los desechos sólidos se disponen clandestinamente en rellenos sanitarios y en el drenaje municipal para los desechos líquidos. De los desechos enviados a confinamiento controlado solo el 33 % se hace por medio de empresas autorizadas.

Respecto a los desechos reciclables se establece que del total de los desechos el 34 % pueden de una u otra forma ser reciclados; pero actualmente se recicla el 20.6 %. Solo el 12 % del agua tratada en estas empresas es reutilizada en los procesos de recubrimiento o enjuague.

El almacenamiento temporal se lleva a cabo para acumular los volúmenes mínimos para poder ser enviados a confinamiento o disposición final. La mayoría de las empresas hace este almacenamiento sin ningún control con respecto a la separación de los desechos peligrosos y no peligrosos. Esto genera un problema muy grande, ya que en muchas ocasiones se desechan residuos peligrosos como basura ordinaria.

El agua de desecho de los procesos electrolíticos y los enjuagues debe de ser tratada para reducir los contaminantes en ella, practica que realiza el 68 % de las empresas del ramo por contar dentro de sus instalaciones con una planta de tratamiento que por lo menos puede dar un tratamiento suficiente a los desechos. Mientras que el agua de uso domestico dentro de la industria se descarga directamente al drenaje por así convenir. Otro 16 % de estas empresas solo le dan un ajuste de pH para después descargarlas al drenaje. Y el ultimo 16 % de las empresas no realizan ninguna practica de tratamiento para la disminución de los contaminantes, estas descargan los efluentes de aguas de desecho directamente al drenaje.

Actualmente se puede hablar que el 95 % del total estas empresas en nuestro país tiene contemplado la realización de medidas y proyectos que ayuden a reducir la contaminación de cualquier tipo ya sea contaminación del agua, aire, suelo, etc. Y hasta en algunos casos se pretende algún tipo de certificación en los organismos de calidad que rigen el segmento como lo es ISO 1400-1.

## II.2 LA GALVANOPLASTIA Y LOS DESECHOS GENERADOS.

A continuación se explicarán los procesos unitarios de la industria de la galvanoplastia, para así mostrar la forma en que el agua es contaminada dentro de esta industria y sus similares. Se mostrará cuales son los de desechos que se generan, para poder así entender mejor la solución necesaria.

### 2.2.1 PRETRATAMIENTO

Con la finalidad de realizar un recubrimiento de calidad y producir la menor cantidad de desperdicio, las piezas a recubrir deberán de estar libres de impurezas tales como grasas, aceites u óxidos. Para ello se someten a procedimientos de inspección, mecanizado, limpieza y/o métodos químicos de preparación de la superficie: desengrasados mediante limpiadores alcalinos, hidrocarburos clorados, o por vía electrolítica; así como el decapado.

Antes de que se incorporen las piezas a los procesos de mecanizado, limpieza o tratamiento, se deberá de llevar acabo una inspección para localizar y separar piezas que tengan defectos y que no puedan ser corregidos en los procesos de recubrimiento ya que estas representan una fuente de desechos de gran incidencia. No tiene caso producir piezas que después se conviertan en gastos para la empresa. Los defectos más comunes de este tipo son rebabas, bordes, hoyos y moho.

Se tienen cuatro métodos de limpieza para las piezas siendo estos mecánicos y químicos. La selección de cada uno de ellos depende del tipo y tamaño de la pieza, de la procedencia de la pieza, de la limpieza deseada y de los equipos disponibles. Estos métodos son:

1.) Preparación mecánica. Es el proceso general de eliminar parte de la materia prima de una pieza con una herramienta de movimiento rotativo o cortante. Las operaciones de maquinado que se incluyen en esta categoría son: pulido, barrilado, esmerilado, fresado, estampado, molido, taladrado, torneado, troquelado y barrenado. Estos trabajos eliminan malformaciones de las piezas, asperezas o deformaciones superficiales, ensuciamientos gruesos, con lo que genera grandes volúmenes de desechos, entre los que se encuentran los polvos, que en la mayoría de las ocasiones terminan afectando la salud de los trabajadores y en los baños de recubrimiento, provocando que se deseche más rápidamente la solución de estos baños, todo esto debido al mal funcionamiento o inexistencia de equipos de filtrado.

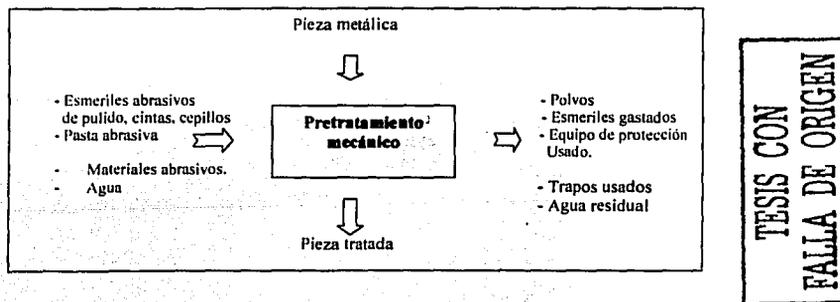


Fig. 2.3. - Diagrama de balance de materiales en el tratamiento mecánico.

2.) Desengrase. Durante la fabricación de las piezas se emplean grasas, aceites, emulsiones de corte y sustancias similares como refrigerantes y lubricantes. En otras ocasiones las piezas son engrasadas para darles una protección anticorrosiva temporal. Lo que genera la necesidad de eliminar todo este tipo de sustancias a fin de lograr una buena unión entre el metal base y el metal de recubrimiento. El desengrase se realiza básicamente de las siguientes formas: con solventes orgánicos o en soluciones acuosas las cuales pueden ser alcalinas o ácidas por medio electrolítico o no electrolítico, en desengrases calientes y por medio de ultrasonido..

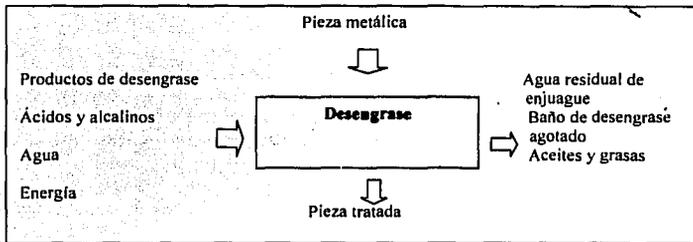
- El desengrase con solventes se lleva a cabo utilizando solventes orgánicos como petróleo alifático, aromáticos, hidrocarburos halogenados, hidrocarburos oxigenados y combinaciones de estos solventes. Este tipo de limpieza se realiza de forma ya sea líquida o de vapor. El desengrasado con vapor consiste en calentar un solvente limpiador, generalmente hidrocarburos clorados, para obtener una fase de vapor caliente en la que se introduce la pieza, de tal forma que la base de vapor se condensa sobre la superficie fría de la pieza, el cual disuelve la grasa y aceite. La vibración ultrasónica algunas veces es utilizada junto con procesos desengrasantes de solvente líquido. La limpieza emulsificante es un tipo de solvente desengrasante que utiliza solventes comunes y orgánicos junto con agentes emulsificantes.
- El desengrase con soluciones acuosas comprende una gran variedad de métodos que utilizan medios alcalinos, ácidos, detergentes, ablandadores de agua para desplazar la grasa, la suciedad e impurezas de la superficie metálica. La naturaleza detergente de la solución limpiadora es la que proporciona la mayor parte de la acción limpiadora. La agitación de la solución y el movimiento de la pieza proporcionan una mayor efectividad en la limpieza. Los limpiadores alcalinos están clasificados en tres grupos: remojo, rocío y electrolítico. Los limpiadores de remojo son utilizados en limpiezas de aceite de relativa facilidad, los limpiadores de rocío combinan las propiedades de limpieza de los detergentes de la solución con la fuerza de impacto del rocío (spray) y los limpiadores electrolíticos producen la limpieza más profunda por una fuerte agitación de la solución durante la electrólisis. También ciertas partículas de suciedad se cargan eléctricamente y son repelidas de la superficie. Algunos procesos de limpieza alcalina eliminan capas de óxido.

En la limpieza alcalina la pieza primeramente se conecta catódicamente dentro de un tanque con solución desengrasante, cuando la corriente es suministrada empieza la formación de gas de hidrógeno producto de la electrólisis del agua en la superficie de la pieza, el desprendimiento del hidrógeno de la superficie provoca la acción de lavado. A continuación de la limpieza catódica el circuito es invertido, por lo que ahora la pieza de trabajo es el ánodo y el gas de oxígeno que se genera sobre la superficie de la pieza produce la acción de limpieza final. <sup>(18)</sup>

Limpieza ácida: es un proceso en el cual una solución con un ácido, ácido orgánico o sal ácida con un agente remojante o detergente es aplicado para eliminar aceite, suciedad u óxido de las superficies metálicas. La limpieza ácida se da en baños químicos. Los procesos de baños ácidos pueden seguir a las limpiezas alcalinas y antes del recubrimiento.

<sup>(18)</sup> Lawrence J. Durney. Electroplating engineering handbook (Manual de Ingeniería de Electrorecubrimientos), Editorial Van Nostrand Reinhold Company (VNR), Cuarta edición, 1984, Pag 148.

- El desengrase en caliente se lleva a cabo en un baño alcalino a temperaturas de 70- 80 °C o 30 – 40 °C con desengrasantes de baja temperatura, los desengrasantes generalmente contienen hidróxidos, carbonatos, fosfatos, silicatos, agentes humectantes, tensoactivos, entre otros. <sup>(19)</sup>



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Fig. 2.4 Diagrama de balance de materiales en el desengrasado.

3.) Decapado. El contacto entre atmósfera y las piezas metálicas provoca la formación de capas óxido, que tienen que ser eliminadas antes del recubrimiento electrolítico. El decapado con ácido se utiliza para eliminar impurezas y óxidos por medio de un tanque químico. El cual se aplica frecuentemente después del lavado alcalino. Se utilizan diferentes ácidos solos o mezclados, entre los que se encuentran el ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico y ácido fosfórico con concentraciones de entre 2 y 85 %, dependiendo del metal y del grado de limpieza requerida. El decapado mediante ácidos se realiza normalmente entre temperaturas de 20 a 80 °C. El decapado se realiza siempre a continuación de una limpieza electrolítica para mejorar la calidad de la superficie. El decapado alcalino también se emplea para remover herrumbre y óxido. La solución generalmente consiste de sosa cáustica con aditivos tales como detergentes y agentes quelantes. <sup>(20)</sup>

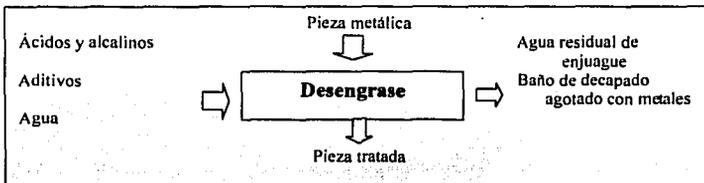


Fig. 2.5 Balance de materiales en el decapado y activado

- 1.) Activado. El proceso de activado que también se llama neutralizado o decapado suave, se utiliza para eliminar la pequeña capa de óxido que se ha formado sobre la superficie una vez que la superficie ha sido tratada o lavada en sucesivas etapas. Esa pequeña capa de óxido hace que la

<sup>(19)</sup> *Ibid.* Pag. 295-371.

<sup>(20)</sup> *Id.*

superficie sea pasiva y por lo tanto mal conductora. Las soluciones empleadas son por lo general ácidos muy diluidos. Los activados permiten también eliminar manchas provocadas por compuestos orgánicos y/o inorgánicos. Son generalmente aplicados después del recubrimiento de cobre y desengrasas.

### 2.2.2 RECUBRIMIENTOS Y REVESTIMIENTOS.

1.) El electrorecubrimiento es la formación de una capa delgada de algún metal sobre la superficie de otro por medio de electrodepositos. Materiales base ferrosos y no-ferrosos pueden ser revestidos con una variedad de metales comunes como cobre, níquel, plomo, cromo, bronce, zinc, cadmio, hierro, aluminio, latón, estaño o combinaciones de estos, o ser recubiertos con metales preciosos como oro, plata, platino, paladio, rodio, osmio, iridio, indio rutenio o combinaciones de estos. Un baño de recubrimiento electrolítico consiste de un ánodo y un cátodo sumergidos en un electrolito, que normalmente es una solución hídrica de sal del metal que se pretende aplicar. En el electrolito el metal esta presente en forma de iones, el flujo de corriente es proporcionado por una fuente externa de corriente directa. La pieza de trabajo se convierte en cátodo, donde se lleva a cabo la reducción de los iones de metal. El ánodo consiste de un conductor inerte (por ejemplo platino o grafito) o bien del metal con que se recubrirá. La oxidación se lleva a cabo en el ánodo formando oxígeno y cuando fluye la corriente, el ánodo del metal con el que se va a recubrir se disuelve. Los baños de electrorecubrimiento contienen sales metálicas, alcalinos y otros compuesto para el control de los baños junto con metales como cobre, níquel, plata o plomo. Muchas soluciones de recubrimiento contienen aditivos metálicos, metal-orgánicos y orgánicos que son utilizados para inducir la refinación del grano, nivelar la superficie de recubrimiento y el brillo del deposito. El espesor de la capa de recubrimiento depende del tiempo de permanencia de las piezas en el baño electrolítico. La capa puede alcanzar un espesor de hasta 100  $\mu$ m, aunque son mucho más frecuente las capas delgadas. En los electrorecubrimientos los iones metálicos son proporcionados por la disolución de metales de los ánodos u otros metales son reducidos sobre las piezas de trabajo(cátodos) estando sumergidas en soluciones ácidas, alcalinas o neutras. Los baños ácidos contienen sulfatos, cloruros, fluoroboratos y sulfamatos de los metales a depositar. Los baños alcalinos se componen sobre la base de complejos de hidróxidos o cianuros. Generalmente la composición exacta de los baños químicos comerciales es secreta, pero las funciones generales de los diferentes componentes se conocen bien.

La siguiente tabla muestra las propiedades y aplicaciones de los diferentes recubrimientos electrolíticos.

Propiedades	Metal o aliación	M. Base	Ejemplo de aplicación
Mejoramiento estetico de las superficies	Cr, Au, Ag, Pt, Ni, 70-30 Cu-Zn	acero, bronce, Sn, Cu	Alhajas, vajillas, decoración en general
Protección anticorrosiva	Cr, Au, Ni, Sn, Zn, Rh, Cd	acero, F. Zamac	Protección a piezas automotices
Síntesis de material en una superficie	Cr, Fe, Ni		Restauración de piezas gastadas
Protección contra el desgaste	Cr, Ni, Fe, Ni, Ru, Pd		Rodillos, Pistones, cojinetes, Contactos, etc.
Dureza y resistencia al dobléz.	Cr, Ru, Os, Ni electroless	acero	Moldeado, prensado
Reflexión ( óptica o térmica )	Cr, Rh, Au		Lámparas, proyectores, escudos.

Conductividad eléctrica	Cu, Ag, Au	Bronce, Cu	Circuitos impresos, antenas y cables.
Retención de aceite	Cu, 63-35 Sn-Ni,Ag.	Bronce	Sistemas hidráulicos y lubricación
Capacidad para soldarse	Ni, Sn, Cd, 60-40 Sn-Pb, Ti	acero, bronce	Circuitos impresos y contactos eléctricos.
Poca resistencia al contacto	Au, Ag, Rh, Ru, Pd, Sn, 80-20 Pd-Ni.	bronce o cobre	Contactos eléctricos.
Evitar cambios estructurales en metales con tratamientos térmicos	Cobre para carburización Bronce para nitrificación	acero	
Para una base más fuerte y con mayor resistencia a la temperatura	Cu, Ni, Cr	Plásticos	

Fig. 2.6 Propiedades y aplicaciones de algunos recubrimientos electrolíticos. <sup>(21)</sup>

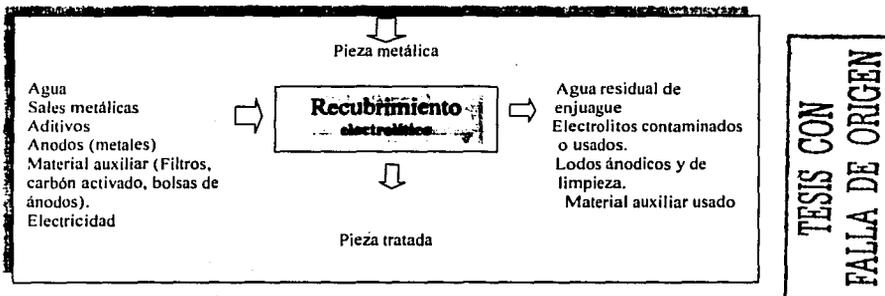


Fig. 2.7 Diagrama de balance de materiales para los recubrimientos electrolíticos.

Dentro de los recubrimientos electrolíticos se encuentran:

**Cobrizado.-** Frecuentemente el cobre forma la primera capa en un sistema de capas de recubrimiento, debido a la facilidad para poderlo depositar tanto en metales como en plásticos, debido a su alta conductividad, aunado a esto, la capa de cobre es muy resistente, económica de aplicar y forma una buena base adhesiva para otros recubrimientos. El cobrizado puede aplicarse a partir de baños alcalinos cianurados y baños ácidos con ácido sulfúrico(sulfatos). El cobrizado ácido con sulfatos requiere ser controlado más estrictamente para mantener los parámetros dentro de rango óptimo; sin embargo se evita el uso de cianuro. El baño ácido también puede utilizarse como primer revestimiento metalizado en plásticos por su gran ductilidad.

En baño ácido el sulfato de cobre [CuSO<sub>4</sub>] representa la fuente de iones de cobre que se depositan sobre la superficie a cubrir. Para este proceso se recomienda sulfato de cobre químicamente puro. El baño de cobre típico contiene sulfato de cobre (250 g/l), ácido sulfúrico (100 g/l), iones de cloruro (≤1 g/l) y aditivos de brillo (6 g/l). El ácido sulfúrico sirve para aumentar la conductividad de la

<sup>(21)</sup> Comisión Ambiental Metropolitana en colaboración con Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) TÜV ARGE-MEX. Op.cit. Pag.30.

solución y para disolver el ánodo de cobre, este ánodo conduce la corriente eléctrica y proporciona los iones de cobre para formar sulfato de cobre. El proceso de cobre ácido se realiza a una temperatura de 20 o 30 °C. En este tipo de baños no se forman carbonatos en el baño.

Los baños alcalinos de cobre cianurado operan a una temperatura de 40 – 60 °C, y contienen el cobre aglutinado en forma de complejos cianurados. Este tipo de baños contiene cianuro de cobre ( 60 g/l), cianuro libre (20 g/l), hidróxido de sodio (20 g/l) y aditivos de brillo ( 10 g/l). Normalmente los baños no se cambian sino se filtran periódicamente ya sea con filtros de materiales textiles o con carbón activado para eliminar los aditivos o impurezas orgánicas que se han degradado.

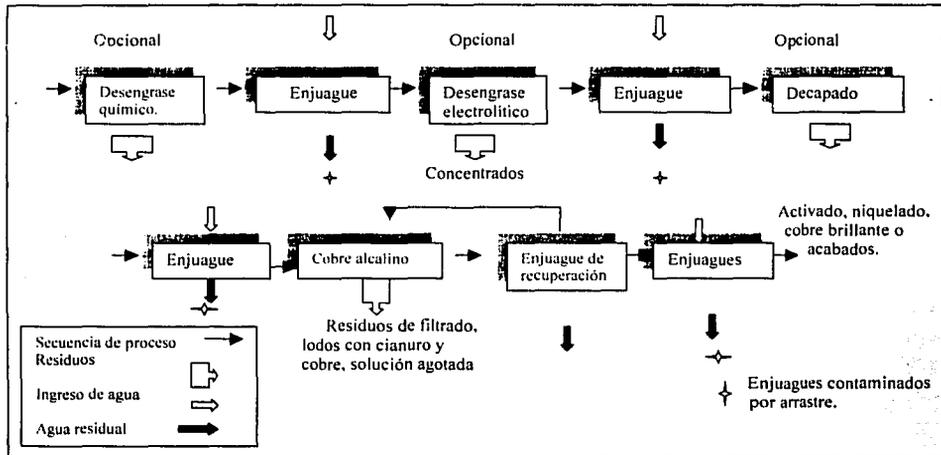


Fig. 2.8 Diagrama de flujo de un proceso de cobrizado alcalino.

**Niquelado.-** El niquelado es un procedimiento de metalización que se lleva a cabo con fines de protección superficial en las piezas, así como decorativos y de recubrimiento previo antes del cromado, o de otros acabados. Los objetos de cobre o las aleaciones de cobre se niquelan directamente, procedimiento también posible con objetos de estaño, zinc, hierro, plomo y acero, aunque en el caso sobretodo de estaño y plomo se tiene que crobriar previamente.

Existen dos tipos de baños para el galvanizado con níquel: el baño de sulfamatos y el baño watt con sulfato de níquel.

El baño con sulfamatos se compone de sulfamato de níquel, ácido bórico, bromuro de níquel, ánodos de níquel y aditivos que influyen sobre las propiedades. En este baño, el sulfamato de níquel ( $Ni(SO_3NH_2)_2$ ) es la fuente principal de iones de níquel. El ácido bórico tiene la función de sustancia



El cromado duro se utiliza para aumentar la dureza de herramientas así como para incrementar la resistencia al desgaste de moldes, válvulas, etc. En el cromo duro se depositan capas gruesas galvánicamente a temperaturas elevadas.

Durante el proceso de cromado ocurre un sobre potencial en la capa superficial de la pieza a cromar, a causa de reacciones de oxidación-reducción y diferencias de concentración, lo que genera una separación simultánea de hidrógeno que el baño emite como gas y que arrastra fracciones del baño. El proceso se realiza a una temperatura aproximada de 50 °C y con una densidad de corriente cercana a 60 Amp/dm<sup>2</sup>. Con estas condiciones en un proceso de cromado duro se puede obtener en una hora un espesor de 500 μm.

Después del cromado, las piezas se lavan, generalmente en un enjuague permanente o de recuperación y después en uno o dos enjuagues en cascada. Como la concentración del electrolito en el enjuague permanente se incrementa debido a los arrastres, esta se emplea para rellenar los baños de cromo a fin de regresar el electrolito arrastrado y reponer el volumen evaporado. Esto se hace periódicamente después de ajustar la concentración del enjuague de recuperación a los parámetros de operación del baño.

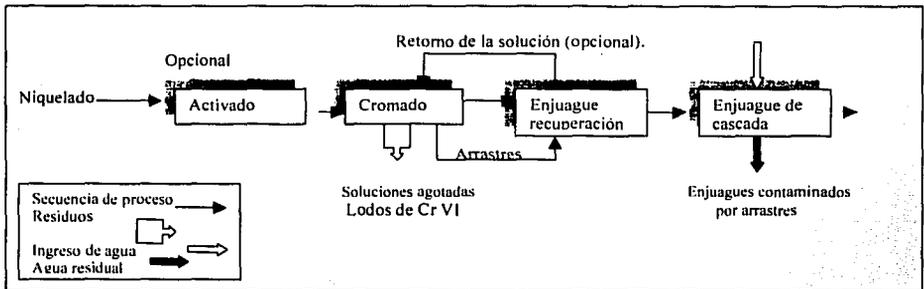


Fig. 2.10 Diagrama de flujo del proceso de Cromado.

**Zincado.-** Los baños de zinc pueden ser cianurados (baños alcalinos) de alta y baja concentración, los ácidos o los de base de potasio o amoníaco, los cuales tienen alto rendimiento y dan gran brillo, así como también los baños alcalinos de zinc.

En el zincado se utilizan placas de zinc como los ánodos y los baños electrolíticos están constituidos con 250 g/l ZnSO<sub>4</sub>, 20 g/l de ZnCl<sub>2</sub>, 50 g/l Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1.6 V y 1 Amp/dm<sup>2</sup>) o con aproximadamente 350 g/l ZnSO<sub>4</sub>, 30 g/l (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (pH 3-4, 33-55 °C, 10-60 Amp/dm<sup>2</sup>). Los baños de zinc alcalinos contienen, además de complejos de cianuro de zinc, 60 g/l de solución sódica y 80 g/l de cianuro sódico (40-50 °C, 2-10 Amp/dm<sup>2</sup>).

Generalmente a fin de proveer una capa extra de protección, y sellar la superficie de zincado o simplemente dar color a la superficie se aplica una pequeña capa de cromado, la cual se conoce como cromatizado, tropicalizado o sellado. Esta por lo general se le aplica por la inmersión en una solución de ácido crómico (5 -35 g/l de cromo VI), ácido nítrico o sulfúrico como agentes acidificantes. La solución puede contener otros aniones como sulfatos, cloruros o fluoruros.

**Estañado.**- El recubrimiento de estaño hace una capa protectora más resistente a la corrosión que la de hierro zincada, donde la capa de estaño generalmente tiene un espesor de 0.001 mm.

Para el estañado galvánico se utiliza estaño puro como ánodo en un baño que contiene 90 g/l de hexahidroxostanato sódico(  $\text{Na}_2(\text{Sn}(\text{OH})_6)$ ), 7.5 g/l de NaOH, 15 g/l de acetato sódico y 0.5 g/l de perborato sódico( 70-80 °C, 4-6 V . 0.5- 3 Amp/dm<sup>2</sup> ) con aproximadamente 40 g/l de  $\text{K}_2\text{SnO}_3$  y 15-30 g/l de KOH ( 70 - 80 °C, 40 Amp/dm<sup>2</sup> ) con 60 g/l  $\text{SnSO}_4$ , 60 G/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 100 g/l de ácido fenol-sulfónico así como gelatina y 2-naftol( 25-50 °C , 1-25 Amp/dm<sup>2</sup> ) o con 980 g/l de fluoroborato de estaño y 50 g/l de ácido fluorobórico (20-40 °C, 2.5-14 Amp/dm<sup>2</sup> ).

Los residuos generados en este proceso son lodos de concentrado, emisiones, aguas de enjuague contaminadas y lodos de la planta de tratamiento.

2.) Recubrimientos sin electricidad. Estos usan una reacción química de reducción u oxidación para formar un grosor uniforme del recubrimiento sobre todas las partes de la pieza, sin importar de la forma de la pieza.

Los recubrimientos sin electricidad más comunes son de níquel, cobre y cadmio. En este tipo de recubrimientos la fuente del metal son sales y reductores, tales como el hipofosfito de sodio o el formaldehído, los cuales son usados para reducir los iones del metal o su estado base.

Se utilizan agentes quelantes que impiden la precipitación de los metales tales como ácido cítrico, maléico y oxálico, citrato de sodio, acetato de sodio o EDTA(etilen-diamina-tetra-acético) para mantener los iones de metal en solución. <sup>(23)</sup>

**Níquel "electroless".**- Este es un recubrimiento metálico sin uso de corriente externa, el electrolito se deposita a través de reacciones catalíticas de oxido-reduccion, a través de un agente reductor, el cual generalmente es hipofosfito de sodio, borohidruro de sodio o hidrazina.

La composición típica de este baño es; 28 g/l de sulfato de níquel, 17 g/l de acetato de sodio, 24 g/l de hipofosfito de sodio, 0.0015 de acetato de plomo(pH de 4.6, 82-88 °C).

**Cobre "electroless".**- Es similar al níquel no electrolítico y se usa como base para otros recubrimientos. En este caso el agente quelante puede ser un tartrato(sal de Rochelle) o una amina. Los componentes típicos para este baño son: 15 g/l de sulfato de cobre, 40 g/l de sal de Rochelle, 6 g/l de formaldehído al 3%, 0.001 de óxido de vanadio(pH 12, 70-75 °C).

3.) Recubrimiento mecánico. Es un proceso de deposito de una capa de metal sobre una pieza de trabajo usando un tambor de frotación, polvo metálico o un medio de impacto que generalmente son

<sup>(23)</sup> Kenneth D. Kerri. Op. Cit Pag.191.

cuentas de vidrio. Esta operación requiere de un proceso de limpieza y enjuague antes y después del proceso de recubrimiento.

4.) Revestimientos químicos. Estos incluyen la cromación, fosforación, coloración. En la cromación una porción del metal base es convertida a un componente de la capa de protección formada por las soluciones de revestimiento las que contienen cromo hexavalente y compuestos activos orgánicos o inorgánicos. Los revestimientos de fosfato son formados por la inmersión de fierro, acero o zinc en una solución diluida de ácido fosfórico, además de otros agentes que determinan la superficie, prolongan la vida de los revestimientos orgánicos, le dan una buena adherencia a los colorantes y aumentan la resistencia a la corrosión. La coloración de metal químicamente convierte la superficie de metal en un óxido o un compuesto metálico similar para producir un terminado decorativo.

5.) Revestimientos de baños calientes. Es un proceso de revestimiento de una pieza de trabajo metálica con otro metal por medio de la inmersión en un baño derretido para crear una capa protectora.

### 2.2.3 GRABADO Y ACUÑADO QUÍMICO.

El grabado y el acuñado químico son procesos usados para producir configuraciones específicas de diseño o la apariencia superficial de las partes por medio del control de las disoluciones con agentes químicos o acuñados. El grabado químico es el mismo proceso que el acuñado químico excepto por que en el acuñado químico las proporciones y profundidades de metal removido son mas grandes.

### 2.2.4 BAÑO DE BRILLO.

Una forma especializada del grabado es el proceso de baño de brillo, el cual es utilizado para remover óxido y decoloramiento de los materiales ferrosos y no ferrosos. Los baños de brillo son mezclas de uno o más ácidos: sulfúrico, crómico, fosfórico, nítrico o hidrocloreídrico. Este proceso sigue inmediatamente de la anodización y produce una superficie de terminado brillante.

### 2.2.5 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS DE DESECHO.

Los constituyentes de las materias primas y de los desechos más encontrados en las corrientes de desechos de una industria de galvanoplastia son:

Tipo de desecho	
Metales pesados	Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Niquel, Zinc, Estaño, Aluminio y Acero
Metales preciosos	Oro, Plata, Platino, Paladio, Rodio, Iridio, Osmio, Rutenio, Indio.
Metales complejos	Los desechos complejos contienen metales comunes y complejos junto con soluciones complejas como EDTA, hidrofosfato, soluciones de aminia, etc.
Aguas de desecho ácidas	Típicamente ácido sulfúrico, nítrico, hidrocloreídrico, fosfórico y triácido (Sulfúrico, Nítrico, Hidrofluídrico)
Desechos alcalinos	Típicamente los limpiadores alcalinos contienen hidróxido de sodio, carbonato de Sodio, jabones, etc.
Cromo hexavalente	Soluciones de recubrimiento de cromo, tales como ácido crómico con ácido sulfúrico o sulfato.

Desechps con cianuro	Recubrimientos de cianuro para el cobre, cadmio, zinc, bronce, oro, plata, recubrimientos sin electricidad de oro, plata, inmersión de bronce y latón.
Aceites	Aceite libre o emulsificado.
Solventes	Solventes comunes tales como hidrocarburos halogenados o hidrocarburos oxigenados.

Tabla 2.5 - Constituyentes más encontrados en las aguas de desecho.

### 2.2.6 USO DEL AGUA Y LA GENERACIÓN DE LAS CORRIENTES DE DESECHO.

En la industria de la galvanoplastia el uso más común para el agua es en los enjuagues de las piezas de trabajo, la limpieza de derrames, la compensación del fluido de proceso, enfriamiento y limpieza del equipo y algunos materiales, producción de baja calidad.

- Enjuagues: Pueden ser estacionarios o corrientes El agua de enjuague es usada para remover la capa de solución de recubrimiento (arrastre) que permanece e la superficie de trabajo después de cada uno de los baños de tratamiento. Como resultado el agua de enjuague se contamina con los constituyentes del baño precedente.
- Limpieza de los derrames: El agua de desecho que se genera de la limpieza de los derrames se encuentra altamente contaminada con constituyentes del material en proceso y con suciedad.
- Compensación del fluido de proceso: Debido a la evaporación, al liquido de arrastre y derrames de las soluciones del proceso (baños de limpieza y tratamiento) son eventualmente renovados. El componente más usado en estos es el agua. Las soluciones de los baños contaminados o gastados son ya sea colectados para su deposito y desecho o conducidos a las instalaciones de tratamiento.
- Lavado: el lavado de equipo tal como filtros, bombas y tanques recoge residuos de las soluciones concentradas de los procesos, sales y aceites que pueden contribuir con grandes cantidades de agua de desecho.

Aunque en menor medida, el agua utilizada para los baños de recubrimiento forma parte de las aguas residuales de la industria de la galvanoplastia, debido a que estos baños son descargados al drenaje o planta de tratamiento una vez que se han gastado, contaminado o convertido en baños sin las propiedades necesarias.

## **CAPITULO 3**

### **Medidas para evitar o minimizar la generación de desechos en la galvanoplastia**

### III.1 ESTRATEGIA DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN.

La prevención de los contaminantes es una forma de evitar daños a la salud humana y al medio ambiente. El objetivo principal de la prevención de la contaminación es reducir la generación de desechos para no tener que recurrir al tratamiento y reciclamiento de estos después de producirse. Se pretende desarrollar la capacidad de controlar y hasta eliminar cierto contaminante de las aguas de desecho, tratando de establecer los siguientes puntos:

- a). - Los desechos contaminantes deberán, cuando así sea posible, ser prevenidos o reducidos desde su fuente de producción.
- b). - Los desechos contaminantes que no puedan ser reducidos serán reciclados.
- c). - Los desechos contaminantes que no puedan ser reducidos o reciclados, deberán ser tratados de la mejor e inofensiva manera, para no dañar al medio ambiente.
- d). - El depósito y liberación al medio ambiente podrá ser usado como alternativa y se tendrá que llevar cabo de una manera inofensiva a este.

La reducción de desechos contaminantes implica por consecuencia, la minoración de desechos peligrosos que son generados y consecuentemente tratados, almacenados o desechados. La reducción de la contaminación incluye cualquier actividad que resulte en una disminución del volumen total de estos o en la reducción de su toxicidad. El objetivo es reducir las presentes o futuras amenazas a la salud y medio ambiente y por lo tanto la problemática a la que se puede enfrentar la empresa para el manejo de esos residuos peligrosos, ya sean líquidos, sólidos o gaseosos.

### III.2 CAMBIANDO DE TRATAMIENTO A PREVENCIÓN.

El tratamiento es un proceso correctivo que satisface a la salud y seguridad; pero de cualquier manera este produce lodos que necesitan ser controlados. El tratamiento de aguas de desecho es el cambio de contaminantes de un medio a otro, que además la reducción de la toxicidad de estos podría ser requerida en un futuro por regulaciones más exigentes para lodos de desecho.

Es por eso que la estrategia de prevención de la contaminación deberá utilizarse como herramienta para la reducción de descargas al sistema de drenaje. Con esto se crea la forma de controlar las fuentes de contaminación y manejo de desechos.

Si alguna industria tuviera la capacidad de reducir los contaminantes está podría obtener beneficios de menor gasto para tratar estos y en algunas condiciones de gratificaciones fiscales por parte del gobierno o hasta la no-necesidad de una planta de tratamiento.

### III.3 ALTERNATIVAS PARA APLICAR LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN.

Estas se encuentran disponibles en cada tipo de industria para reducir la toxicidad o las cantidades de agua de desecho. Que generalmente son:

- a) Buenas prácticas de operación.
- b) Sustitución de materiales.
- c) Modificación del proceso.
- d) Reuso y reciclaje de materiales.
- e) Y hasta la reformulación del producto.

Las alternativas generalmente derivan menores costos y pueden ser implementadas en programas de corto plazo, la mayoría requiere de un mínimo de capacitación para los trabajadores; pero cada una de ellas deberá ser analizada en orden de importancia de acuerdo a la reducción de costos y capacitación necesaria.<sup>(24)</sup>

### 3.3.1 BUENAS PRÁCTICAS DE OPERACIÓN.

Las buenas prácticas de operación están normalmente dirigidas a un mejor manejo y almacenamiento de las materias primas. Generalmente son cambios de bajo costo y pueden ser implementados a corto plazo. Estas medidas son las más fáciles y económicas a tomar para la reducción de aguas de desecho, ejemplo de estas son:

- *Adquisición de materia prima.* Cuando sea posible, la materia prima deberá ser adquirida en paquetes que no tengan que ser preenjuagados para su depósito o reutilización. Se deberá de establecer un mecanismo para el control de nuevas materias primas. Control establecido por una persona que cuente con conocimientos de desechos industriales, esto se realizará para contar con los conocimientos de una persona que pueda indicar el aumento de toxicidad o cantidad de aguas de desecho producidas por determinada materia prima. La materia prima deberá de ser adquirida en la cantidad necesaria y no en cantidades descontroladas que podrían nunca ser utilizadas.
- *Almacenamiento y carga de materias primas.* Las áreas de almacenamiento deberán estar protegidas del agua de lluvia. Los contenedores de almacenamiento deberán estar sujetos a revisiones periódicas para prevenir fugas, corrosión, abolladuras u otras condiciones que pudieran derivar derrames. Las áreas donde se almacenan o manejan sustancias químicas deberán contar con un contenedor secundario.  
Se realizarán revisiones periódicas y cuando sea necesario, las reparaciones para asegurar la integridad de estas áreas. Se tiene que reducir el tráfico de personal con la finalidad de reducir riesgos. Un programa de aseguramiento de la calidad deberá ser implementado para asegurar que las materias primas no estén fuera de especificaciones cuando sean recibidas del proveedor. Las líneas de tuberías y conexiones deberán de estar situadas en donde posibles derrames sean controlados. También se deberá iniciar un programa para registrar las sustancias peligrosas para el medio ambiente y trabajadores, incluyendo las medidas de seguridad para su manejo, todo esto incluido en hojas de seguridad.
- *Sistemas para la distribución del material.* Hasta donde sea posible la distribución de material debe hacerse por medio de bombas y tuberías y no mediante vertidos en barriles o recipientes, esto con la finalidad de evitar al máximo posibles derrames. En el caso de que no exista otra alternativa y los materiales tengan que ser vertidos manualmente el personal deberá ser capacitado para que en el caso de derrame se utilice la menor cantidad de agua en la limpieza. El personal también será capacitado para colocar recipientes para vertidos o material absorbente en lugares donde pudiera existir goteo de las válvulas o llaves.
- *Mantenimiento a los baños para aumentar su vida útil.* Como parte de este mantenimiento se tiene: (a) control analítico de la composición del baño, (b) eliminación de impurezas arrastradas y generadas en el mismo baño así como productos degradados, mediante filtración con fibras sintéticas o naturales, carbón activado y cartuchos de hilo, (c) purificación de los baños mediante intercambio iónico y oxidación electrolítica, (d) eliminación de metales ajenos por medio de

<sup>(24)</sup> Thomas T. Shen. *Industrial Pollution Prevención*, 2ª Edición. Editorial Springer. Pag. 23

precipitación, (e) eliminación de sales mediante cristalización, (f) bolsas de tela que funcionen como filtros alrededor de los ánodos para retener impurezas, mismas que requieren de limpieza periódica.

- *En el caso de las soluciones de decapado* se puede aumentar la vida útil del baño si se reduce el tiempo de permanencia de las piezas a la intemperie, reduciendo así la formación de óxido. También se aumenta su vida útil si se eliminan los iones de hierro mediante cristalización o se eliminan los iones metálicos mediante electrólisis o intercambio iónico.
- *Operaciones de proceso.* Los empleados serán capacitados para poder realizar prácticas y procedimientos de operación de procesos apropiados, esto con la finalidad de evitar lotes de proceso fuera de especificaciones o equivocaciones de reprocesamiento en lugar del almacenamiento. La temperatura de los procesos y la cantidad de materia prima son variables que serán monitoreadas para evitar posibles errores que generen desechos.
- *Separación de desechos.* La separación de corrientes concentradas a corrientes diluidas o a corrientes simples, así como también la recuperación de algunos componentes de las corrientes de desecho, aumenta la posibilidad en el reciclamiento y en el tratamiento en las corrientes de desecho.
- *Reducción de los lodos generados.*- Estos pueden ser reducidos con buenas prácticas de operación, tales como la disminución de la cantidad de arrastre de metales pesados, debido a un mayor periodo de escurrimiento y la utilización óptima de químicos utilizados ya sea en el tratamiento a la pieza como en el tratamiento de las aguas de desecho.
- *Las piezas que caen al baño* deben de ser extraídas de inmediato para evitar la contaminación de éste, esto en los casos de piezas de latón, zamac y materiales no ferrosos.

### 3.3.2 SUSTITUCIÓN DE MATERIAL.

La sustitución de material es el cambio de una materia prima por otra, con la finalidad de reducir la toxicidad de las aguas de desecho o reducir la cantidad de éstas. Esta práctica de prevención de la contaminación implica bajos costos; aunque los gastos de mantenimiento y operación pueden aumentar.

La sustitución del material puede atraer mayores gastos, requerir mayor atención al proceso y aumentar la necesidad de un sistema para la comprobación de calidad. Se puede incurrir en algunos gastos si se cambia de una materia prima en polvo a una líquida, ya que el equipo utilizado para manejar un tipo de material en lugar de otro pudiera requerir de compra e instalación de nuevo equipo antes de que la sustitución del material sea implementada. Esta sustitución podría llevar poco tiempo si la búsqueda, demostración y una exitosa mejora del material de sustitución fueran bien documentados.

Si la búsqueda y desarrollo necesitan ser implementadas para una buena selección del material de sustitución se necesitará un mayor periodo de tiempo. Al implementar el manejo de una nueva materia prima podría ser necesario el entrenamiento y capacitación del empleado así como una mayor atención por parte de él, para mantener la calidad del producto.

Medidas de minimización (sustitución de material)	Sustitución de baños alcalinos cianurados por baños ácidos	Sustitución de Cr VI por Cr III
Resultado esperado	Eliminación del uso de cianuros	Eliminación de Cr VI
Requerimientos adicionales	Mantenimiento constante del baño	Electrolito nuevo
Costos	Medios	Altos
Donde aplica	Baños de Zn y Cu.	Sustitución de baños de cromado con Cr VI
Limitantes	Baños de cobre ácido pueden afectar piezas de Zamac. Y tienen un terminado diferente.	Poco usado en el ámbito comercial ya que no se obtiene el mismo acabado que con cromo VI.

Tabla 3.1 Medidas de minimización por sustitución de materiales. <sup>(25)</sup>

Además la sustitución de materiales puede incluir:

- Eliminar el uso de quelantes en los baños de recubrimiento.
- Eliminar el uso de solventes clorados y sustituir por limpiadores acuosos o abrasivos.
- Empleo de agua purificada en los baños de enjuague y tratamiento.
- Adquisición de tintas con menor cantidad o sin metales, de tal manera que los enjuagues de los equipos que contienen tinta tendrán menores cantidades de material tóxico.

### 3.3.3 MODIFICACIÓN DEL PROCESO.

La modificación del proceso es un cambio en la operación del proceso o en el equipo. Las modificaciones en el proceso pueden ser costosas, requerir largos programas de implementación y extensa capacitación del empleado. Por otra parte podrían resultar en la reducción de métodos de enjuagues y la instalación del equipo podría ser diseñada e instalada a bajo precio, con cortos programas de implementación y poca capacitación.

- Simples modificaciones al proceso como aumentar la temperatura de los baños para provocar evaporación del agua son algunas alternativas. Separación del agua de desecho, tratamiento y rehuso en el proceso, pueden ser implementados para reducir la cantidad de aguas de desecho que son descargadas al sistema de drenaje. Modificaciones de proceso de bajo costo como temperatura y tiempo de estancia pueden incluir la optimización de líneas de proceso provocando una mejor reacción y menor necesidad de productos contaminantes.
- Otro aspecto que se puede mejorar es el volumen de arrastre y su consecuente contaminación de los enjuagues. El arrastre puede ser reducido con solo aumentar el tiempo de escurrido, el diseño de los bastidores y barriles que transportan y sostienen las piezas a ser recubiertas, la forma de las piezas, los procedimientos de recubrimiento y varios parámetros interrelacionados de las soluciones de proceso, tales como la concentración de los químicos, la temperatura, la viscosidad, la tensión superficial en los baños y hasta la velocidad y posición con la que se

<sup>(25)</sup> Comisión Ambiental Metropolitana en colaboración con Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) TÜV ARGE-MEX. Op. Cit. Pag. 49.

sacan las piezas de los baños. Al prolongar el tiempo de escurrido sobre el baño, disminuye la cantidad de solución adherida a la pieza (drag-out). Se pueden colocar dispositivos que permitan devolver el arrastre que gotea de la pieza durante el traslado de los bastidores del tanque de tratamiento al tanque de enjuague.

Medidas de minimización (reducción del arrastre)	Incrementar el tiempo de escurrido y reducir la velocidad de extracción de las piezas	Giro de barriles sobre el baño	Reducción de la viscosidad por adición de tensoactivos	Reducción de la viscosidad por aumento de temperatura	Reducción de la viscosidad por reducción de la concentración del electrolito	Colocación de las piezas en bastidores
Resultado esperado	Recuperación inmediata del electrolito	Menor acumulación del baño en el interior del barril	Reducción de la tensión superficial (menos electrolito adherido a la pieza)	Reducción de la viscosidad y tensión superficial	Reducción de la viscosidad	Mejorar el escurrido de la pieza
Requerimientos adicionales	Dispositivos para sostener los bastidores	Energía	Tensoactivos	Energía	Control del baño	Adaptación de bastidores
Costos	Mínimo	Medio	Mínimo	medio	mínimo	medio
Relación Costo/beneficio	Muy buena	buena	buena	regular	regular	regular
Donde aplicarse	En todos los baños de proceso	En todos los baños de proceso	En todas las soluciones del proceso compatibles con tensoactivos	En soluciones de proceso que no se afecten con cambios de temperatura	En todos los baños de proceso	En todos los baños de proceso
Limitantes	En soluciones que puedan pasivarse sobre la pieza (p.e. Ni decapado) el tiempo de escurrimiento no debe sobrepasar 10 seg.	En soluciones que puedan pasivarse sobre la pieza (p.e. Ni decapado) el tiempo de escurrimiento no debe sobrepasar 10 seg.	Altas concentraciones pueden provocar defectos en la pieza	En soluciones de proceso que operan a temperaturas bajas. Y que no les afecte en el terminado un cambio de temperatura.	En electrolitos con márgenes estrechos de tolerancia.	-

Tabla 3.2 Medidas para la reducción de arrastres. <sup>(26)</sup>

- La optimización de los procesos de enjuague resulta en la reducción de hasta el 90 % del volumen de aguas a tratar en el sistema de tratamiento. <sup>(27)</sup>  
 Los tanques de enjuagues deben de estar localizados inmediatamente después de los tanques de tratamiento. El drag-out se elimina más rápidamente, optimizando el enjuague mediante medidas como las siguientes: Con agitación en los tanques por medio de inyección de aire o agitación

<sup>(26)</sup> Ibid ,Pag. 52.

<sup>(27)</sup> Kenneth D. Kerri. Industrial Waste Treatment. Preventing and Minimizing Wastes at the Source, Universidad del Estado de California segunda edición, 1994. Pag. 133.

mecánica, incrementar el tiempo de contacto entre la pieza y el agua mediante la inmersión repetida o el movimiento de las piezas dentro del tanque, enjuague de cascada y enjuague de rocío. Otra forma de eficientar los enjuagues es su conducción en un circuito cerrado, a través de equipos de intercambio iónico, ósmosis inversa o electrólisis para recuperar sustancias y materiales, que se devuelven a los baños de tratamiento.

Medidas de minimización. (optimización de enjuagues)	Enjuague de cascada	Enjuague de rocío	Enjuague de recuperación	Conducción en circuito cerrado con intercambiador iónico(I.O), ósmosis inversa (O.I) o electrólisis	Agitación en tinas de enjuague
Resultado esperado	Mejora el enjuague y ahorro de agua	Mejora el enjuague y ahorro de agua, reducción de arrastres	Recuperación del electrolito arrastrado y ahorro de agua	Recirculación de agua de enjuague y recuperación de metales	Mejora del enjuague y ahorro de agua
Requerimientos adicionales	Tanques o adaptación de tanques	Instalación de aspersores	tanque	Equipo de I.O o O.I y agua desionizada.	Aire o agitadores mecánicos
Costos	Mínimos-medios	mínimos	medios	Alto	medio
Relación costo/beneficio	Muy buena	buena	buena	Regular	buena
Casos en donde se puede aplicar	En todos los baños de proceso	En todos los baños de proceso	En todos los baños de proceso	En todos los baños de proceso	En todos los baños de proceso
Limitantes	Limitado al espacio libre en la planta: se reduce la posibilidad de recuperar el electrolito arrastrado. A menos que se cuente con un tanque de recuperación.	Piezas con geometría sencilla y bien sujetas al bastidor	El retorno de la solución al baño puede ser directa en baños con evaporación elevada. En el caso de baños con poca evaporación el enjuague debe de ser concentrado antes de retornarlo al baño.	Se recomienda con enjuagues con agua desionizada	Las piezas deben de estar bien sujetas al bastidor.

Tabla 3.3 Medidas para optimizar los enjuagues. <sup>(28)</sup>

- Con el fin de incrementar la vida útil de los baños de desengrase se puede llevar a cabo una recuperación o separación de las grasas y aceites por medio de una ultrafiltración en donde la fase acuosa recuperada regresa a los baños y la fase grasosa se desecha. O por medio de separadores de aceite, que consisten en un recipiente que esta continuo al tanque de desengrase y que mantiene al flujo sin turbulencias, ayudando al flotamiento de los aceites y llevando a cabo el desnatado. También se logra una reducción del aceite si a las piezas antes de introducirlas al tanque de desengrasado se someten a fuerzas centrifugas que eliminan el exceso de aceite. Al agregar un tanque de enjuague con recuperación de sustancias se puede aumentar la vida del baño.

<sup>(28)</sup> Comisión Ambiental Metropolitana en colaboración con Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) TÜV ARGE-MEX. Op.cit. Pag. 56.

Medidas de minimización. (eliminación de grasas y aceites)	Separador de aceite	Centrifugación	Ultrafiltración o microfiltración	Uso de desengrasantes acuosos
Resultado esperado	Prolongación de la vida útil del desengrase	Reducción de grasa y aceites en la pieza. Remoción de aceites lubricantes en los baños	Recuperación de soluciones de desengrase	Sustitución de desengrasantes bases solventes
Requerimientos adicionales	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Energía, filtración previa	
Costos	Mínimos	Media	Elevada	Medios
Relación costo/beneficio	Buena	Regular-buena	Regular	Buena
Donde aplica	Baños de desengrasado con bajo poder de emulsión	Baños de desengrasado con bajo poder de emulsión. Prelimpieza de piezas muy engrasadas	Baños de desengrasado con bajo poder de emulsión	En todo tipo de aplicaciones
Limitantes		Remoción de aceites solubles	Los materiales de filtración deben de ser resistentes a sustancias alcalinas.	Limpieza de piezas con mucha grasa o aceite.

Tabla 3.4 Medidas para el mantenimiento de los baños desengrasantes. <sup>(29)</sup>

- Con el fin de prolongar la vida de los baños de decapado o activado, se debe de eliminar los metales disueltos en las soluciones del baño, los métodos dependen de las soluciones y metales base, para la solución de ácido sulfúrico-fosfórico/sustrato ferroso se sabe que la solubilidad del hierro aumenta conforme a la temperatura y disminuye con el incremento de la concentración del ácido, por lo que se realiza la cristalización de éste por medio de la disminución de la temperatura y adición de ácido sulfúrico.

### 3.3.4 REUSO Y RECICLAJE DE MATERIALES.

Las tecnologías de recuperación y reciclaje de materiales, usan directamente los residuos de un proceso como materia prima que podría reutilizarse en otro proceso o recuperan materiales valiosos de un flujo de desechos antes de su descarga o disposición.

La segregación de los diferentes flujos de desecho es esencial para facilitar la recuperación o reciclaje de residuos. Estos son cambios de medianos y altos costos que necesitan un programa de implementación, así como una correcta investigación y selección de los métodos más convenientes. Como oportunidades de reuso de material residual se tiene: El agua de enjuague puede ser reutilizada después de su uso en un enjuague o en otro. Generalmente los últimos baños de enjuague que se encuentran menos contaminados por los baños de tratamiento, pueden servir como enjuague

<sup>(29)</sup> Ibid. Pag. 70.

en otro tipo de baños de enjuague. Por ejemplo el agua de enjuague de un baño ácido se puede reutilizar como agua de enjuague de un baño alcalino. Logrando una mejoría en la eficiencia del enjuague, una mayor difusión de los químicos y reduce la viscosidad de película de arrastre. También puede tener un uso eficaz en el tratamiento de agua esto como sustancias para ajustar el pH en los diferentes tratamientos de depuración.

- Las sustancias de arrastre pueden ser recuperadas y reusadas de tres formas: los metales recuperados y soluciones de proceso pueden regresarse a los baños, el metal puede venderse o regresarse al proveedor y el metal elemental puede reutilizarse como material de recubrimiento. Las tecnologías usadas para la recuperación son: Osmosis inversa que junto con la electrodiálisis se usan como método para concentrar los enjuagues y recuperar los electrolitos, separación electrolítica de los iones de metálicos del enjuague sobre todo de metales preciosos, concentración y recuperación de sustancias contenidas en los baños de enjuague evaporando el agua y la recuperación de metales en baños de enjuague mediante intercambiadores iónicos. También se pueden recuperar sustancias y materiales como ácido sulfúrico y aluminio de los baños de anodizado ésto por medio de resinas de intercambio ionico así como también utilizado para recuperar níquel, cromo, cobre y plata de soluciones diluidas.
- Se deberá de recuperar el solvente en el caso que por razones técnicas sea inevitable el uso de solventes halogenados, esto mediante el uso de envases sellados herméticamente, acompañado con un sistema de extracción de vapores y un filtro de carbón activado.

Medidas de minimización (recuperación de materiales)	Recuperación del electrolito con intercambio ionico	Recuperación de metales mediante ósmosis inversa o electrodiálisis	Separación electrolítica de los iones metálicos	Concentración de soluciones mediante evaporador atmosférico o de vacío	Recuperación de soluciones de desengrase mediante ultrafiltración o microfiltración
Resultado esperado	Recuperación del electrolito. Recuperación de ácido sulfúrico en el baño de anodizado	Recuperación del electrolito y agua desionizada	Recuperación interna de metales en enjuagues o soluciones concentradas	Concentración de los enjuagues o del enjuague de recuperación para retornarlos al baño.	Recuperación de las soluciones de desengrase
Requerimientos adicionales	Equipo de IO Agua desionizada y energía eléctrica	Energía eléctrica y membranas	Equipo de electrolisis y energía eléctrica	Equipo de evaporación atmosférica, energía	Energía
Costos	alto	alto	Medio-bajo	alto	alto
Relación costo/beneficio	Regular-mala	Buena	Buena	regular-mala	regular
Donde aplica	Recuperación de metales p.e. en el electrolitos de sulfato de cobre o níquel y recuperación de cromo. Recuperación de ácido sulfúrico y aluminio en el baño de anodizado.	Recuperación de metales en el primer enjuague de cascada. Recuperación Ni, Zn, Au, Cu y latón.	Puede usarse directamente en enjuagues de recuperación o en enjuagues de cascada; principalmente para metales nobles y cobre	Principalmente en baños calientes, cromo.	Baños de desengrase alcalino que no contengan emulsiones.

<b>Limitantes</b>	Exige mayor control del proceso. Limitado en electrolitos de oro cianurado debido al tipo de complejo	Uso de agua desionizada en los enjuagues. Las membranas deben de ser resistentes a variaciones de pH y temperatura. Poco usado para recuperar cromo	Se usa principalmente para soluciones concentradas o semiconcentradas. No aplica para recuperar cromo	Baños calientes sin tensoactivos. Se recomienda con uso de agua desmineralizada	Los materiales de filtración deben de ser resistentes a sustancias alcalinas
-------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------

Tabla 3.5 Medidas para la recuperación de sustancias contenidas en los baños. <sup>(30)</sup>

### 3.3.5 REFORMULACIÓN DEL PRODUCTO.

Esto envuelve hasta donde sea posible el cambio de producto, de tal manera que el proceso para el nuevo producto genere menor cantidad o menor toxicidad de las aguas de desecho. Los costos para los programas de implementación y capacitación de los empleados pueden variar extensamente, dependiendo de la disponibilidad de alternativas de información y la complejidad de las alternativas de proceso.

### 3.3.6 MÉTODOS DE MINIMIZACIÓN DE DESECHOS EN LA INDUSTRIA DE LA GALVANOPLASTÍA.

Se recomienda elaborar una lista de chequeo para la prevención de la contaminación. Estas son desarrolladas para cierto tipo de industria y son diseñadas para estimular al personal encargado al tratamiento de aguas de desecho a reducir la toxicidad y cantidad de aguas de desecho a ser tratada. Algunas de las advertencias incluidas en la lista pueden ser bastante obvias y de sentido común; mientras que otras pueden requerir una profunda y minuciosa investigación. No existe un formato establecido para cada tipo de industria pero se puede tomar una como base para desarrollarse la propia.

En las listas de chequeo las alternativas de la prevención de la contaminación están definidas en cuatro áreas principales:

- 1.- Modificación del proceso, sustitución de materiales y reformulación del producto.
- 2.- Procesos de operación y mantenimiento.
- 3.- Reciclamiento de materiales rehusos y recuperación.
- 4.- Correcto almacenamiento.

Las alternativas de prevención de la contaminación son mostradas en tipos bien definidos y cada una esta seguida por una breve explicación. Un buen consejo para la prevención de la contaminación es ayudar al personal a enfocar sus esfuerzos y recursos.

La clave para la reducción de las aguas de desecho en las industrias de terminado o recubrimiento de metales es reducir el agua de arrastre en los baños también llamada el arrastre y minimizar el uso de enjuagues, recuperación, rehusos y reciclamiento de químicos de recubrimiento.

<sup>(30)</sup> Ibid., Pag. 60.

También la sustitución de cianuro y cromo por químicos de menor toxicidad deberán ser analizadas para determinar su factibilidad.

La modificación de proceso ofrece la más significativa reducción de desechos. La lista de chequeo resalta eficientes técnicas de enjuague como son por medio de brisa, spray y contracorriente. También sugiere formas para reducir el agua de arrastre de los baños de recubrimiento(baños de tratamiento) a los baños de enjuague.

Una mejor operación de procesos y mantenimiento ayuda a minimizar la generación de desechos y reducción de costos de operación. La lista de chequeo identifica las formas en que se pueden mantener los baños de tratamiento en buenas condiciones de operación y a elevar la efectividad de los enjuagues usando menor cantidad de agua. Usar agua desionizada, químicos más duros y filtración de baños ayudará a reducir las impurezas en los baños de tratamiento. Dispositivos de control de flujo y sensores de conductividad también ayudaran a usar menor agua debido a su mejor uso. Reciclamiento, rehuso y recuperación de materiales ayuda a la reducción de desechos y en algunas ocasiones la producción de materiales con un buen valor económico.

La separación de los desechos es una alternativa para reciclar y reusar éstos. La lista de chequeo ayuda a identificar diferentes tipos de técnicas de separación y concentración para el rehuso y recuperación del material.

Un buen almacenamiento ofrece ideas simples para la reducción de desechos y esto puede ser implementado rápidamente y sin mayores costos. La lista de chequeo identifica el control de derrames y la prevención de estos así como un inventario químicos cuidadosamente planeado.

La lista de chequeo ofrece un punto de partida o estímulo a pensar sobre la prevención de la contaminación para instalaciones industriales, los operarios son estimuladores a la búsqueda de otras ideas de operación de las instalaciones

#### III.4 BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA PREVENCIÓN.

La necesidad de evitar gastos y salvar la mayor cantidad de recursos mantiene un estado estresante, lo cual se podría resolver si se presentan los beneficios que provoca el programa de prevención:

- Reducción de costos en almacenamiento, manejo y tratamiento de residuos contaminantes.
  - a) Al sustituir baños de galvanizado cianurados y baños de cromo hexavalente, se ahorran los costos de desintoxicación de las aguas de enjuague y residuales.
  - b) Al reducir los arrastres se ahorran costos por remplazamiento del baño.
- Reducción de costos de materia prima.
- Reducción de costos en acatamientos de permisos y monitoreos.
- Reducción de costos de producción debido a un mejor manejo y mayor eficiencia en el uso de materiales.
- Reducción de costos en transportación y depósito de lodos.

- a) Al reducir el uso de quelantes se mejora el proceso de remoción de metales durante el tratamiento de las aguas residuales disminuyendo el volumen de lodos generado.
  - b) Al reducir el arrastre se reducen los costos de disposición de lodos debido a una menor generación.
- Reducción en probables derechos de uso de drenajes.
  - Reducción de riesgos de emergencias, derrames y accidentes.
  - Menores costos en salud y seguridad.
  - Reducción en costos en seguros para trabajadores y instalaciones.
  - Reducción de obligaciones por depósito y manejo de residuos peligrosos.
  - Reducción de costos de obligaciones por limpieza de depósitos para desechos.
  - Ingresos por la venta de reciclados, materiales o desechos reusados.

## **CAPITULO 4**

### **Depuración del agua**

## IV. DEPURACIÓN DEL AGUA.

En el caso de la mayoría de las actividades industriales, además de los beneficios que estas generan, también generan desechos ya sea sólidos o líquidos, los cuales terminan formando parte en la contaminación del medio ambiente. Parte de esta contaminación es la del agua.

Situación que provoca preocupación por los niveles de contaminación alcanzados, además, con el paso del tiempo a requerido de una mayor atención y por lo tanto, ha generado el establecimiento de normas y el establecimiento de límites máximos de descarga de desechos para evitar la contaminación discriminada de las aguas y poder garantizar un equilibrio ecológico.

La depuración o tratamiento del agua antes de su descarga a los drenajes es una solución aplicable para el cumplimiento de estas normas, este método es aplicado de una gran variedad de formas de acuerdo con el tipo de desecho que se desee eliminar.

Para el caso de la industria de la galvanoplastia el tratamiento esencial que se debe de dar a las aguas de desecho generadas en esta industria es un tratamiento fisicoquímico que elimina los componentes tóxicos y peligrosos, que se encuentran restringidos para la descarga al drenaje.

Este tratamiento fisicoquímico consiste generalmente de:

1. Ecuilización y separación de las corrientes de desechos (segregación).
2. Neutralización (ajuste de pH)
3. Destrucción del cianuro por oxidación.
4. Reducción del cromo hexavalente.
5. Remoción de metales comunes.
6. Remoción de metales complejos.
7. Coagulación, floculación y sedimentación.
8. Filtración.
9. Remoción de aceites y grasas.
10. Recuperación de metales preciosos.

Estos tratamientos son efectuados con la finalidad de reducir los niveles de contaminación de las corrientes de desecho, estos tienen diferentes secuencias de aplicación dependiendo de los resultados deseados, equipo, recursos y tecnología disponible, así como las características específicas de las corrientes de desecho.

### IV.1 ECUALIZACIÓN Y SEPARACIÓN DE LAS CORRIENTES DE DESECHOS.

El flujo que llega a los sistemas de tratamiento varía en cantidad y concentración de los contaminantes, esto debido a que las descargas de los procesos de manufactura y servicio no son constantes. Estas variaciones afectan las operaciones del sistema y pueden afectar la calidad final del flujo tratado.

La ecuilización reduce los efectos de las fluctuaciones del flujo y concentración de contaminantes, controlando las variaciones. Existen dos métodos comunes de ecuilización: en línea y la alterna.

<sup>(31)</sup> Kenneth D. Kerri. Treatment of Metal Wastestreams. Universidad del Estado de California segunda edición, 1994. Pag. 549.

La ecuación alterna desvía aquellos flujos de gran magnitud hacia tanques de reposo para después liberarlos de forma gradual cuando las condiciones del sistema de tratamiento sean de menor flujo.

En los tanques de ecuación en línea se reciben todo tipo de flujo para después descargarlos al sistema de acuerdo a sus capacidades. Estos deben de estar contruidos para poder ecuación cualquier carga que genere los procesos de manufactura, servicio o mantenimiento.

Ambos sistemas son efectivos para la ecuación de los flujos; pero el sistema con ecuación en línea es más efectivo para nivelar las concentraciones del flujo ya que la totalidad del flujo es mezclado en los tanques de ecuación. En cambio, en la ecuación alterna solo los flujos de gran magnitud son canalizados y solo se logra la mezcla de algunos de los desechos.

La ecuación es necesaria cuando existen dentro de la planta procesos que produzcan desechos industriales intermitentes y de gran variabilidad tanto en flujo como en concentración o que existan muchos procesos, ya sea de manufactura servicio o limpieza que provoquen diferentes descargas al sistema de tratamiento.

Los beneficios de la ecuación son:

- Aumentar la calidad del flujo tratado, debido a que se manejan flujos masicos conocidos y por lo tanto se pueden manejar procesos químicos y físicos a la medida de éstos.
- Ahorro de productos químicos que son necesarios para la precipitación o floculación, (ej. polímeros) esto debido a que se conocen los volúmenes y concentraciones del agua a tratar.
- Se logra un mejor ajuste del pH ya que este es conocido y constante.
- Las bombas y el equipo mecánico utilizado para el transporte del agua son utilizados con mayor eficiencia resultando un ahorro de energía.
- La existencia de un tanque de ecuación reducirá el tamaño de los demás procesos de tratamiento.
- Aumentar la sedimentación de lodos ya que estos al ser mezclados en los tanques de ecuación tienden a flocular. (Esta ventaja se elimina si la bomba de alimentación al sistema de tratamiento es centrifuga).
- Un aumento de respuesta a las cargas de impacto.
- La probabilidad de una reducción de la BOD (Demanda bioquímica de oxígeno) en el tanque de ecuación aereado. Una reducción del 10 al 20 % se lograría, aunque depende del tiempo de detención, la cantidad de aireación suministrada, temperatura y otros factores.<sup>(32)</sup>

La localización de los tanques de ecuación normalmente es al principio del sistema de tratamiento, ya que ayuda al control de los siguientes procesos, disminuir el tamaño de los siguientes tanques y trabajar con un mismo caudal y concentración; aunque en algunos casos es benéfico tener estos tanques después del tratamiento primario. Estos casos son:

---

<sup>32)</sup> José Luis Morales Cruz. Evaluación Técnico-Económica de Plantas Paquete Instaladas en México en una Industria Manufacturera para Tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales Conforme a Datos de Operación. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM 1998. Anexo B.

- a) Cuando las aguas de desecho contienen altas concentraciones de sólidos y/o solventes estos pueden requerir gran cantidad de movimiento para no sedimentarse.
- b) Cuando los equipos pueden ser sobre fatigados.
- c) Cuando se tenga tal cantidad de solventes que puedan llegarse a volatilizares y causar violaciones en la contaminación del aire.

Otro lugar para la localización es en el sistema de colección, esto es generalmente hecho en grandes sistemas de tratamiento o sistemas con estaciones colectoras y de bombeo, donde el fluido puede ser descargado en proporciones controladas.

Los tanques para instalaciones nuevas pueden ser construidos casi de cualquier material compatible con las aguas de desecho incluyendo metal, concreto, plástico o fibra de vidrio reforzada, etc.

La ecualización para instalaciones ya existentes puede ser implementada con relativa facilidad acoplando tanques abandonados tales como clarificadores, tanques de aireación, digestores (vasijas para calentar sustancias a presión) o piletas. Los tanques deberán contar con deflectores que ayuden a un buen mezclado, ya que los tanques de forma cuadrada dan un buen volumen por área pero generan áreas muertas en las esquinas. Cuando se tengan tanques cilíndricos se deberá evitar que el agua de desecho solo se mueva en una sola dirección sin revolverse.

La separación de los desechos puede ser necesaria en los casos en que los desechos no sean compatibles y que esta incompatibilidad provoque reacciones peligrosas o complejos difíciles de destruir. En estos casos será necesario tratar los flujos por separado para después agregarlos a la corriente de desechos principal. El caso de la separación de desechos cianurados, que normalmente son soluciones alcalinas de las soluciones ácidas que pueden contener ácido crómico, es debido a que la mezcla de estas dos corrientes podría llevar a la generación de gas de cianuro, provocado debido a la mezcla de sustancias alcalinas cianuradas que se mezclan con sustancias ácidas y que podrían llevar a la solución a un estado ácido, en donde la formación de gas cianurado (el cual es sumamente tóxico) es favorecida.

Por lo tanto la forma más conveniente de tratar estos desechos es por separado con la oxidación del cianuro, la reducción del cromo hexavalente, aguas residuales alcalinas, aguas residuales ácidas y aguas de desengrase para después poder ser agregados a flujo principal de desechos y continuar con su tratamiento. La ventaja de la separación de los flujos es la posibilidad de aplicar un tratamiento específico, obteniendo lodos monometálicos que pueden ser recuperados más fácilmente.

## IV.2 NEUTRALIZACIÓN (AJUSTE DE pH).

Entre sus principales propósitos están: optimizar las reacciones químicas tales como aquellas asociadas en la precipitación de metales pesados, oxidación del cianuro, reducción de cromo hexavalente, optimización de la actividad biológica, prevención de la corrosión, reducción de compuestos, neutralización de un ácido o una solución base para cumplir con los límites de descarga.

Casi la totalidad de procesos de tratamiento de aguas de desecho involucran ajuste de pH y el efluente final requiere un ajuste de pH. Por ejemplo el pH es considerado la variable más importante en el proceso de coagulación. De manera experimental se ha demostrado que existe por lo menos un

rango de pH en donde ocurre una buena coagulación y floculación en el menor tiempo con una misma dosis de coagulante.<sup>(33)</sup>

Los ajustes de pH más comunes son:

- Ajuste de pH para la descarga.
- Ajuste de pH para la extracción de metales pesados.
- Ajuste de pH para la oxidación y la reducción.

Las aguas de desecho de la industria de la galvanoplastia contienen materiales ácidos o alcalinos, los cuales deberán ser neutralizados antes de descargarlos.

La neutralización del agua es medida en términos de pH y a su vez el pH es medido con una escala de 0 a 14, siendo el 7 neutral. Los niveles debajo del 7 son ácidos, con una mayor concentración de iones de hidrogeno(H<sup>+</sup>) y sobre el 7 son cáusticos, con una concentración mayor de hidróxidos(OH<sup>-</sup>). En la practica los desechos industriales no son comúnmente neutralizados a un pH de 7, estos se ajustan a niveles de pH aceptables para los criterios de la calidad del agua, los procesos de tratamiento usados o la integridad física de los sistemas que manejan el agua.

Los criterios de la calidad del agua son determinados por las necesidades del cuerpo receptor y son normalmente establecidas por una estancia apropiada y agencias de regulación federales y locales. El pH es un factor importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales. La solubilidad de los compuestos metálicos en los sedimentos o como material suspendido es afectado por el pH. La mayoría de los metales pesados son solubles en medios ácidos y precipitan en medios alcalinos.

Elemento	Aluminio	Cadmio	Cromo	Cobre	Níquel	Zinc
pH	6-8	10.5	7-8	7.5	10.5	9-11

Tabla 4.1 Rango de pH en la cual se presenta una solubilidad mínima en el agua.

La extensa variedad de procesos de tratamientos requieren un pH específico para trabajar o para trabajar mejor, en algunos casos las aguas de desecho requieren de ajustes de pH periódicos por lo que deberán ser monitoriados. Un buen control del nivel de pH resultará en:

- Menores costos de operación y una eficiencia más alta en cada uno de los procesos de tratamiento.
- La neutralización es también importante en el control de la corrosión, ya que a pH extremos el rango de corrosión es mayor.

El pH es una de las reacciones químicas más difíciles de controlar, ya que se mide en una escala logarítmica, lo que significa que para cada cambio de una unidad en la escala de pH existe una diferencia entrelazada de diez unidades en la concentración de iones de hidrogeno (ácida).

<sup>(33)</sup> Alvarez García Guillermina. Métodos Analíticos en el Tratamiento de Líquidos Desechados en la Industria de la Galvanoplastia. ENCB, IPN 1996. Pag. 32.

La definición básica para el pH es: el pH es una expresión de la intensidad de la condición básica o ácida de un líquido. <sup>(34)</sup>

Matemáticamente, el pH es el logaritmo de base 10 del recíproco de la actividad del ion de hidrógeno.

$$pH = \text{Log} \frac{1}{[H^+]}$$

Las aguas de desecho con altos niveles de pH son ajustadas con la adición de ácidos como ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) por su bajo costo y disponibilidad o ácido hidrocloreídrico (HCL) conocida también como ácido muriático. El uso de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y dióxido de sulfuro ( $SO_2$ ) en estado gaseoso son también usados para disminuir el nivel pH en las aguas de desecho.

Las aguas de desechos con bajos niveles de pH son ajustadas con la adición de óxido de calcio o lima ( $CaO$ ), lima hidratada o lechada de cal [ $Ca(OH)_2$ ], amonía ( $NH_3$ ), óxido de magnesio ( $MgO$ ), hidróxido de magnesio [ $Mg(OH)_2$ ], carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ), hidróxido de sodio o sosa ( $NaOH$ ) siendo estas usadas más comúnmente por su costo, disponibilidad y alta capacidad, algunas veces se da el uso de sulfuros (como  $Na_2S$ ) si no se cumplen con los límites máximos para descarga por lo general por la presencia de complejos de níquel. Dependiendo de la complejidad de la solución pueden ser agregados uno o varios de estos compuestos a las aguas de desecho siendo dosificados al mismo tiempo o en orden de los más fuertes primero y los más débiles al final solo para ajustar gradualmente.

En los casos de sistemas automatizados para el ajuste de pH se tiene que el sistema de control consiste de: el elemento primario (electrodo de pH), el transmisor, directamente asociado y conectado con el electrodo, el controlador de pH y el elemento final, que es la bomba contadora química.

En los casos de sistemas de tratamientos sencillos se deberá de calcular el volumen de reactivo necesario para lograr el cambio de pH deseado y aplicar este mismo volumen al agua de desecho hasta que las prácticas de muestreo constante o el uso de electrodos de pH determinen un cambio de volumen de reactivo.

### IV.3 DESTRUCCIÓN DEL CIANURO POR OXIDACIÓN.

Los cianuros contenidos en las aguas residuales son extremadamente tóxicos por lo que deben de ser removidos de las aguas de desecho galvánicos antes de su descarga al drenaje o medio ambiente.

Los compuestos con cianuro son utilizados en las soluciones de recubrimiento de cobre, zinc, cadmio, plata y oro, en la remoción por inmersión de varios electrodepositos y en algunas soluciones de activado. La toxicidad del cianuro en los seres humanos es causada por la irreversible reacción del fierro con la hemoglobina lo que resulta en la pérdida de la habilidad de la sangre para transportar oxígeno. Los enjuagues que prosiguen a los recubrimientos con cianuro se contaminan con los

<sup>(34)</sup> Diccionario Enciclopédico Quillet. Tomo X. Editorial Cumbre S.A. de C.V. 13ª Edición 1979.

mismos. El cianuro se encuentra presente como cianuros alcalinos simples de sodio o potasio y en complejos con metales pesados como zinc, cadmio, oro, cobre, níquel o hierro.

Con propósitos de control en los tratamientos de desechos con cianuro, se separan en dos grupos principales, aquellos cianuros que pueden ser oxidados con cloración y los que no (también llamados cianuros refractarios).

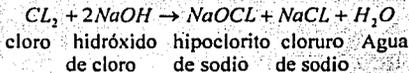
Los cianuros de sodio, potasio, cadmio, zinc, cobre, oro, plata y hasta el de níquel pueden ser reducidos con la cloración. Cada uno con parámetros específicos para la oxidación.

El compuesto de hierro (más comúnmente la sal de ferrocianuro de sodio) no se considera que pueda ser oxidado con la cloración.

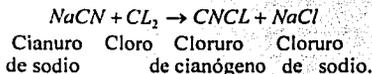
Los sistemas de tratamiento para desechos cianurados son diseñados más comúnmente para oxidar los compuestos de cianuro con:

- a) Hipoclorito de sodio (NaOCl) mediante dos fases, en la primera se forma cianatos y en la segunda descomponer los cianatos en carbonatos con desprendimiento de hidrogeno.
- b) Peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) con lo que se oxidan los cianuros a cianatos y con una oxidación adicional se puede formar agua ya que no se introducen iones; actualmente esto se emplea para el cianuro de sodio. Los cianatos formados se pueden seguir oxidando hasta formar agua por medio de radiación ultravioleta o permosulfatos.
- c) Ozono a altas concentraciones.
- d) Vía electrolítica.

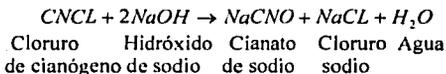
La solución de hipoclorito de sodio requerida para la oxidación, se produce por la reacción de cloro e hidróxido de sodio, de acuerdo a:



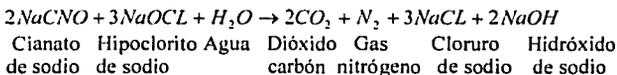
El cianato de sodio (NaCNO) se forma con la reacción de hipoclorito y cianuro. Esta reacción es realmente una simplificación de la cloración de cianuro. El cloro es liberado del hipoclorito por disociación (el reverso de la formación del hipoclorito). El cloro reacciona con el cianuro y forma cloruro de cianógeno de acuerdo a:



El cloruro de cianógeno entonces reacciona con el hidróxido de sodio para formar el cianato:



El cloruro de cianógeno es un gas que tiene una limitada solubilidad a pH neutros o bajos. A valores de pH de 10 o más la reacción que produce el cianato se presenta bastante rápido para los cianuros que se encuentran estrechamente acomplejados con metales pesados. A valores de pH bajos no solo la reacción es muy lenta si no que también es muy probable la liberación de gas (cloruro de cianógeno) el cual es muy tóxico(lacrimógeno). La oxidación del cianato es posible con cloración donde la reacción es:



El dióxido de carbón que se forma reacciona con el álcali y forma carbonato, cualquier exceso se libera a la atmósfera, el nitrógeno tiene una solubilidad limitada y también escapa al aire. La segunda reacción de oxidación es más rápida a valores de pH ligeramente menores que en la primera reacción de cianuro a cianato. Si el pH desciende mucho > 7.0 entonces otra reacción se provocaría con el agua y cianato produciendo compuestos de amonía.

#### IV.4 REDUCCIÓN DEL CROMO HEXAVALENTE.

El cromo hexavalente que se conduce en las aguas de desechos es producido en los electrorecubrimientos de cromo, revestimientos de conversión de cromo, en el grabado con ácido crómico y en las operaciones de terminado de metales donde se use cromo como material base.

Además de su alta toxicidad es soluble en todo el rango de pH ácido y alcalino. En muchas de las soluciones más comunes se tiene un contenido de cromo hexavalente en concentraciones que van de 10 a 500 mg/L. De cualquier forma en caso de presentarse concentraciones de mas de 100,000.mg/L deberán ser combatidas. El cromo hexavalente puede estar presente en forma de ácido crómico, cromato o dicromato en una solución ácida.

Para remover el cromo de las aguas de desecho, primero el cromo hexavalente ( $Cr^{6+}$ ) con alta toxicidad, debe de ser reducido (la reducción es la disminución del estado de oxidación que es la ganancia de electrones) a cromo trivalente ( $Cr^{3+}$ ) con baja toxicidad, el cual puede ser removido mediante la precipitación hidróxida.

Entre los agentes reductores usados en este proceso de tratamiento químico se encuentran:

- Dióxido de azufre
- Bisulfito de sodio
- Metabisulfito de sodio
- Hidrosulfito de sodio
- Sulfato ferroso.

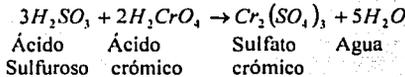
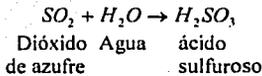
El dióxido de azufre gaseoso es el agente reductor más usado por economía para reducir el cromo hexavalente o trivalente. Esta reacción tiene lugar a valores de pH muy bajos alrededor de 2.0. Esta tasa de reacción se reduce con el aumento de pH. Los desechos con cromo son comúnmente tratados en procesos en bache de dos pasos.<sup>(35)</sup>

El primer paso es reducir el cromo hexavalente de alta toxicidad a cromo trivalente de baja toxicidad. El cromo trivalente es removido mediante la precipitación de hidróxidos en el segundo paso.

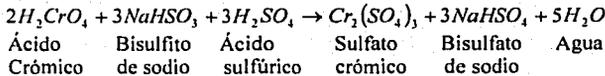
**Paso 1**

Cromo hexavalente ( $Cr^{6+}$ ) es reducido a trivalente ( $Cr^{3+}$ ). Para ello se necesita agregar ácido sulfúrico para reducir el pH a 2.0 o menor. En la solución ácida las siguientes reacciones de reducción tendrán lugar dependiendo del agente reductor empleado:

Usando dióxido de azufre ( $Cr^{6+}$ ) a ( $Cr^{3+}$ ).

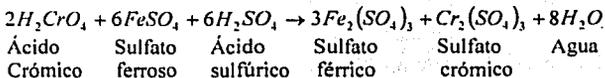


Usando bisulfito, ( $Cr^{6+}$ ) a ( $Cr^{3+}$ ).



Algunas veces se usa hidrosulfito para adiciones manuales de químicos donde no es práctico reducir el pH a 2.0, ya que este trabaja bien a valores de pH de 4.0. El hidrosulfito no se usa en procesos continuos ya que es más caro que el bisulfito y se oxida con el aire una vez en solución o en reposo. El hidrosulfito es convenientemente usado cuando los químicos se agregan manualmente.

Usando sulfato ferroso, ( $Cr^{6+}$ ) a ( $Cr^{3+}$ ).

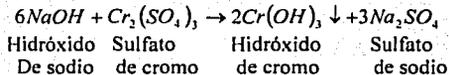


<sup>(35)</sup> Kenneth D. Kerri. Op.Cit., Pag. 548.

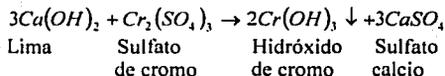
**Paso 2:**

Los compuestos de cromo trivalente ( $Cr^{3+}$ ) formados en el paso 1 son removidos con una precipitación alcalina a un pH de 8.0 a 8.5. Hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) es la base preferida, aunque también se usa lima hidratada o lechada de cal ( $Ca(OH)_2$ ).

Usando sosa para la precipitación de hidróxido de cromo:



Usando lima para la precipitación de hidróxido de cromo:



La reducción de cromo hexavalente requiere de un tanque de equalización si el flujo varía considerablemente. Ácido sulfúrico se agrega para lograr un pH de 2.0 a 3.0, el agente reductor se agrega para producir un ORP de alrededor de +250mV o menos. Se deberá de usar un patrón de color para determinar si todo el cromo hexavalente ha sido reducido a trivalente. Si no se deberá de aumentar la dosis de agente reductor. Se deberá de monitorear los valores en los cuales se logra una total destrucción de cromo hexavalente para su posterior uso.

Después de haber reducido el cromo hexavalente, la corriente de desecho tratada puede combinarse con otras aguas de desecho que contengan metales comunes. Esta mezcla puede ser tratada por precipitación de hidróxidos para remover el cromo y otros metales.

**IV.5 REMOCIÓN DE METALES COMUNES.**

Entre los metales comunes se encuentra el aluminio, cadmio, cromo, cobre, acero, plomo, níquel, estaño, zinc o cualquier combinación de estos. Los metales comunes pueden ser removidos de las aguas de desecho mediante hidróxido precipitación o sulfuro precipitación. El cromo hexavalente no puede ser removido con hidróxido precipitación y el cianuro interferiría con la precipitación por lo que deben de ser tratados con anterioridad.

El primer paso para la hidróxido precipitación de metales comunes es determinar el valor de pH óptimo para la precipitación de cada uno. Esto se puede lograr mediante tablas que muestren el valor de pH ideal para la sedimentación de los metales.

Cuando se estén tratando dos o más metales con valores de pH óptimos para la sedimentación muy diferentes, normalmente se utiliza una operación de dos fases. Primero el agua de desecho se ajusta al pH óptimo para la remoción de los metales con el valor de pH más bajo permitiendo la precipitación de estos y después se transfiere a otro tanque para hacer un reajuste de pH para los metales con pH óptimo más alto para su remoción, prosiguiendo la precipitación de estos. Usualmente el pH es incrementado a valores óptimos para la precipitación de los metales por medio de la adición de sosa(hidróxido de sodio) o cal. A parte de las tablas, el valor de pH óptimo puede

ser determinado con pruebas de laboratorio ( pruebas en tarros o jarras) en donde cada tarro tiene diferentes valores de pH con diferencia de 0.5 unidades de pH. El tarro que requiera el mínimo tiempo para la reacción de sedimentación de metales y cumpla con los estándares indica el valor óptimo de pH.

La mayoría de los metales pesados son solubles en medios ácidos y precipitan en medios alcalinos, por lo que se agrega sosa o cal.

Cuando se agrega sosa( $\text{NaOH}$ ) o cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) a las aguas de desechos debe de ser mezcladas con algún tipo de dispositivo para la mezcla. Debido a que las hidróxido precipitaciones de metal son normalmente de tipo coloidal (partículas que no se disuelven y que por su pequeño tamaño y carga eléctrica se repelen impidiendo la formación de floculos y su sedimentación) se emplean químicos coagulantes o polímeros tanto aniónicos, catiónicos y neutros que cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie de los coloides permitiendo una mejor coagulación, floculación y sedimentación.

Al determinar el pH óptimo para la remoción de los metales es necesario llevar acabo la coagulación, floculación y sedimentación (operaciones necesarias para la remoción de los metales ya sean comunes o complejos) de estos para acelerar y eficientar el proceso de remoción.

Para aumentar la remoción de las precipitaciones hidróxidas de metal en suspensión del efluente del clarificador, operaciones de filtrado como microcolado, ultrafiltración y filtración en arena son utilizados. Las limitaciones de la hidróxido precipitación incluyen:

- La presencia de iones complejos (agentes quelantes) como EDTA (etilen-diamina-tetra-acético), fosfatos y amonía comúnmente encontrados en las formulaciones de recubrimiento pueden afectar las eficiencias de la remoción de metales.
- Las hidróxido precipitaciones tienden a resolubilizarse si el pH de la solución disminuye o aumenta con respecto al punto óptimo de insolubilidad del metal o metales y por lo tanto a disminuir la eficiencia de la remoción.
- Los metales tienen diferentes puntos de insolubilidad a diferentes pH.

Un método alternativo que resulta efectivo para la remoción de los compuestos con metales pesados es la adición de sulfuro de hidrogeno o sales de sulfuro solubles como de hierro o sulfuro de sodio para causar la precipitación de los metales como compuestos de sulfuro. Este procedimiento es capaz de lograr mejores resultados que la precipitación hidróxida ya que la mayoría de los sulfuros metálicos son menos solubles que los hidróxidos metálicos a pH altos. Así como en la hidróxido precipitación, la solubilidad de los compuestos de sulfuros metálicos depende de pH; aunque los compuestos de sulfuros metálicos, son insolubles en rangos de pH mucho más amplios.

Se pueden lograr altas eficiencias de remoción debido a las solubilidades extremadamente bajas de los compuestos de sulfuros metálicos. Los procesos de sulfuro precipitación pueden remover cromo hexavalente sin ningún tipo de reducción o tratamiento previo. También la mayoría de los complejos pueden ser precipitados. Desgraciadamente la sulfuro precipitación tiene varias desventajas severas, si el pH disminuye mucho hasta niveles de por debajo de 8 se puede producir el gas de sulfuro de hidrogeno el cual es muy tóxico. En el caso de que la fuente de sulfuro sea sulfuro ferroso el problema de la generación de este gas sería minimizado.

Debido a que el sulfuro es tóxico, el efluente de proceso no debe de contener nada de este. Por lo que el uso de sulfuro requiere agregar pasos de oxidación del efluente por medio de la adición de cloro o peróxido para la eliminación de cualquier residuo de sulfuro. Los costos de los químicos para la sulfuro precipitación son más elevados que para la hidróxido precipitación. Otro de los aspectos de mayor relevancia en el uso de sulfuro es la forma de manejo de los lodos ya que estos son altamente tóxicos y por lo tanto peligrosos. Por el lado positivo, los lodos de sulfuros son menos solubles en rangos más amplios de pH que los lodos de hidróxidos, también cuando son depositados en los lugares para desechos peligrosos es menos probable la filtración de los lodos de sulfuro a los mantos acuíferos subterráneos y por lo tanto su contaminación. Las ventajas de la alta calidad de efluente alcanzado por este tipo de precipitación deben de ser comparados con las desventajas del costo del manejo de lodos y los altos riesgos, para su uso. En la siguiente tabla se muestra una comparación de los procesos para la precipitación de los metales.

	Hidróxido	Sulfuro
1- Calidad del efluente	Concentraciones del metal satisfactorias	Concentraciones muy bajas, sulfuro tóxico puede estar presente
2- Eficiencia de remoción	Satisfactoria	Muy alta
3- Rango de pH para la precipitación	Estrecha	Amplia
4- Cromo hexavalente	No removido	Efectiva remoción
5- Metales complejos	No se precipitan	Se precipitan
6- Gas de sulfuro de hidrogeno	No es problema	Generado a pH menores de 8
7- Costos de los químicos utilizados	Bajos	Altos
8- Volumen de lodos	Grandes cantidades	Bajas cantidades
9- Disposición de lodos	Desecados, contenidos en envases y dispuestos en lugares autorizados	Desecados, contenidos en envases y dispuestos en lugares autorizados
10- Frecuencia de uso	Común	Raro

Tabla 4.2 Comparación de métodos de remoción metales. <sup>(36)</sup>

#### IV.6 REMOCIÓN DE METALES COMPLEJOS.

Los metales complejos tienen la tendencia de permanecer en solución en vez de precipitarse y sedimentarse. Estos metales son aquellos que se encuentran las aguas de desecho y que han reaccionado o se encuentran atados con agentes químicos como amoníaco, citratos, tartratos y EDTA. Los desechos que contienen metales complejos pueden provenir de las soluciones de recubrimiento sin electricidad, recubrimiento por inmersión y de la manufacturación de tarjetas de circuitos impresos y grabados. El cadmio, cobre, níquel y zinc son los metales complejos mas comúnmente encontrados en las aguas de desecho, estos metales no pueden ser precipitados por los procesos de precipitación hidróxida, por lo que, deberán mantenerse separados de los demás flujos y ser tratados separadamente. Los metales complejos pueden ser tratados por medio de:

- Precipitación a pH altos

<sup>(36)</sup> Ibid., Pag.562.

- Reducción química
- Sulfuro precipitación

La precipitación a pH altos es un proceso que requiere la adición de químicos que incrementen drásticamente el pH a niveles de 12. Este pH produce un cambio en el punto de equilibrio químico y la ruptura de la atadura del complejo resultando la producción de iones de metal. Estos iones de metal pueden ser precipitados por iones disponibles de hidróxido y removidos por sedimentación.

Los metales complejos pueden ser también removidos por un proceso de reducción química (como en la reducción del cromo hexavalente), este proceso de tratamiento disminuye el pH a valores muy bajos para así romper los complejos de varios metales. El nivel de pH depende del complejo, algunos necesitan un pH de entre 4.0 a 6.0 mientras que otros de 2.0 a 2.5 o menos. Una vez alcanzado el valor de pH requerido se agrega un agente reductor como dióxido de azufre  $SO_2$ , bisulfito de sodio  $NaHSO_3$ , metabisulfito de sodio  $Na_2S_2O_5$ , o sulfato ferroso  $FeSO_4$ , para reducir los metales a un estado de oxidación que permita la precipitación de los metales. Después químicos básicos son agregados para incrementar el pH y permitir la hidróxido precipitación.

Así como en la remoción de metales comunes, se utilizan polímeros para mejorar las eficiencias y velocidades de sedimentación, utilizando pruebas de laboratorio para determinar el agente reductor, dosis requeridas, pH y el polímero mas adecuado.

Debido a las crecientes y más estrictas demandas para cumplir con estándares de descarga y para lograr la remoción de ya sean metales comunes o complejos con un alto grado de eficiencia, se implementan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación en el orden de mención.

Para cumplir con estos requerimientos de descarga se llevan acabo estos procesos en los que se hace uso de químicos para mejor la eficiencia del proceso. Al agregar coagulantes, polímeros y floculantes se ayuda además a eliminar sólidos en suspensión, DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y algunas bacterias.

#### IV.7 TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO.

En la mayoría de los casos, si se permitiera a los metales y sólidos en suspensión sedimentarse a su propio paso, resultaría un proceso muy lento y no costeable, por lo que se hace uso del tratamiento fisicoquímico ( que es parte del tratamiento para la remoción de metales) para lograr la clarificación y desintoxicación deseada del líquido. El tratamiento fisicoquímico consiste de un proceso de tres pasos que consisten de:

1. Coagulación
2. Floculación
3. Separación de los líquidos y sólidos.

Estos tres pasos deben de ocurrir en esta secuencia para obtener mejores resultados.

**a) Coagulación:** Durante la coagulación se agregan químicos a las aguas de desecho y se aplica un mezclado rápido, esto para provocar reacciones químicas y con estas la formación de pequeñas

partículas (precipitados). La coagulación involucra tanto procesos físicos (mezclado y aglomeración) como químicos (desestabilización). La coagulación colecta pequeños sólidos suspendidos de tal manera que estos puedan formar unidades más grandes con el tamaño suficiente para separarse de la corriente de desechos por sedimentación o quedar atrapados en el posterior medio filtrante. Siendo un punto crítico el que la coagulación se realice de la manera más fuerte posible para que al ser manejados posteriormente no se rompan estas unidades y se separen nuevamente.

Coagulación se conoce al efecto de las partículas de tamaño de entre 1-2 micras (dentro de las cuales se encuentran los compuestos metálicos) de formar aglomerados llamados también "bolas de nieve", debido al contacto físico entre estas partículas.

Aunque estas partículas tienden a acumular cargas eléctricas ya sean (+) o (-) (dependiendo de la composición de las partículas envueltas). Estas cargas tiene dos efectos (1) repulsión electrostática y (2) formación de esferas. La repulsión electrostática es la tendencia de las cargas de un tipo a repeler cargas del mismo tipo. La formación de esferas resulta de las características de las moléculas de agua para lograr una formación de en una manera ordenada en los alrededores de una carga eléctrica. Con partículas cargadas y de tamaño coloidal, las moléculas de agua realizan una formación de capas semi-atadas, rodeando la partícula con especies de conchas de agua que tienden a mantener su forma física.

A fin de obtener la coagulación, las cargas electrostáticas de las partículas deberán de ser modificadas para eliminar el efecto de repulsión, esto es el efecto de desestabilización por la neutralización de las cargas iónicas ( algunas veces referido como reducción de las electrostáticas). Esto se logra mediante la adición de químicos con una carga opuesta a la carga de las partículas suspendidas.

Las partículas sólidas en el agua de desecho tienden a tener una carga negativa mientras el agua de desecho tiende a un pH de 6.0 o menor. Algunas veces los químicos agregados para el ajuste de pH producen iones que tienen carga opuesta a las que mantienen dispersas a las partículas sólidas.

Los químicos usados para estos ajustes son regularmente cáusticos (álcali o base) tales como hidróxido de sodio y cal o ácido sulfúrico y ácido muriático.

En el caso de que las aguas de desecho tengan un alto contenido de fosfato la adición de cal  $\text{Ca(OH)}_2$  puede ser suficiente para la desestabilización y la coagulación. Esto debido a que la cal reacciona con el fosfato precipitándose fosfato de sodio que además colecta a los iones de calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ). Los precipitados de fosfato cargados positivamente absorben las partículas sólidas cargadas negativamente de las aguas de desecho, neutralizando las cargas electrostáticas y eliminando el efecto de repulsión.

Aunque debido a que pocas aguas de desecho tienen esta característica, en la mayoría de los casos se utiliza otros químicos como polímeros (más comúnmente utilizados en la floculación) o sales metálicas de aluminio (3+)(alumbre) o fierro (3+)(férico). Para desestabilizar los sólidos en las aguas de desecho. Una vez desestabilizados los sólidos, la coagulación comienza. Debido a que en este proceso intervienen principalmente colisiones entre partículas se deberá de asegurar un mezclado energético para lograr la coagulación. El paso de mezcla rápida es importante por dos aspectos: el primero es que proporciona una mezcla homogénea de las partículas suspendidas y los químicos coagulantes, la segunda es que causa el contacto entre las partículas.

La coagulación es una mezcla de corto tiempo ya que si fuera por más tiempo o muy rápida podría provocarse la ruptura de los floculos ya formados; aunque por el otro lado, si fuera muy lenta y de escasa duración se provocarían espacios muertos en los tanques, permitiendo que algunos de los sólidos comenzaran a sedimentarse inapropiadamente.

El mezclado rápido de los coagulantes puede lograrse de tres maneras:

- Con el uso de mezcladores de alta velocidad (impulsores o turbinas).
- Bombas o mezcladoras en línea.
- Compartimento deflectores o de tubos (mezcladores estáticos).

El uso de los mezcladores de alta velocidad es el más común debido a las altas eficiencias alcanzadas. Normalmente la localización de estos es en paralelo para permitir un mayor tiempo de residencia. Los compartimentos deflectores o de tubos aprovechan las altas velocidades de flujo para que al golpear contra los deflectores o tubos se provoque turbulencia y con ella el potencial de mezclado requerido. Lo mismo sucede con las mezcladoras y bombas en línea que producen la turbulencia debido a la alta velocidad del flujo a través de los tubos.

Algunas veces la coagulación puede no ser suficiente para la remoción deseada de sólidos de las aguas de desechos, debido a la concentración de partículas suspendidas (altas concentraciones), su composición, el método de desestabilización utilizado o la calidad del efluente deseada (como en el caso de tratamiento de agua para su reuso o la calidad de efluente requerida para el filtrado por debajo de 15mg/L). Por tal motivo se debe aplicar un procedimiento conjunto que asegure lograr los objetivos deseados, este procedimiento es llamado floculación.

**b) Floculación:** Este procedimiento sigue a la coagulación y consiste de un mezclado lento del agua de desecho. El propósito es producir floculos de mayor tamaño y densidad que podrán sedimentarse y ser separados rápidamente. El líquido se agita lentamente para provocar el contacto de las partículas suspendidas con los químicos coagulantes pero sin provocar la ruptura de floculos antes formados. El crecimiento de los floculos es acelerado mediante el control de las colisiones de las partículas. La diferencia de mezclado con la coagulación es que el mezclado es más lento para permitir la formación de floculos de mayor tamaño o cadenas de estos; pero sin dejar de proporcionar la energía suficiente para mantener una buena homogeneidad entre el agua de desecho y las partículas sólidas.

La floculación produce floculos que pueden ser vistos por el ojo humano a diferencia de la mezcla de la coagulación que solo luce nieblosa o turbia. La floculación se logra con más facilidad utilizando polímeros sintéticos que son más ligeros y frágiles que las partículas sólidas (floculos).

La selección del tipo más adecuado de polímero esta influenciada por el pH, conductividad, tipo y concentración de los sólidos, tamaño de las partículas, tipo y cantidad de los coagulantes suministrados y proceso de tratamiento posterior. Los químicos más utilizados para mejorar la sedimentación son: sulfato de aluminio (seco o sólido), sulfato de aluminio (líquido), cloruro férrico o polímeros. Cada uno con diferentes características y cuidados necesarios para su utilización. En el caso de los floculantes poliméricos estos son compuestos orgánicos de alto peso molecular que tienen las características de los polímeros y electrolitos. Son normalmente llamados polielectrolitos y pueden ser sintéticos o naturales.

Debido a la gran variedad de productos y de sus presentaciones se deberá de implementar un procedimiento de selección del más adecuado, convenientemente conforme a resultados de laboratorio de pruebas con los diferentes químicos, características de los desechos y mapas de eficiencia( para el caso de polímeros).

Existen dos reacciones fisico-químicas más que tienen lugar durante la coagulación y la floculación que también contribuyen a la formación de floculos que pueden ser removidos por sedimentación que son: puenteo interparticular y ligamiento físico.

Algunos polímeros tienen la capacidad de absorberse sobre partículas suspendidas cargadas negativamente y actuar como un puente entre ellas formando floculos de dos maneras: (1) el polímero cargado positivamente neutraliza las cargas negativas de las partículas de agua y (2) el polímero actúa como puente que conecta las partículas sólidas. Los efectos del puenteo intermolecular son: (1) las partículas son atadas en floculos de mayor dimensión y (2) los floculos de mayor tamaño atrapan sólidos adicionales dentro de su masa cuando estos se colisionan durante el mezclado en la coagulación o floculación.

El ligamiento físico también tiene lugar cuando cationes de sales metálicas de fierro, aluminio o (en pH altos) magnesio son usados para la desestabilización. Estos cationes se combinan con iones de hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) encontrados en el agua de su disociación natural como se muestran:



Esta disociación natural de agua es resultado de la alcalinidad del agua o es resultado de incremento del pH debido al uso de sosa o cal.

Los iones metálicos se combinan con los iones de hidróxido para formar precipitaciones de forma de una hojuela extendida llamada gelatinosa. Mientras este precipitado gelatinoso se forma también se colecta cualquier sólido cercano provocando la formación de floculos de mayor tamaño.

Las unidades mecánicas para la floculación pueden ser:

- Rotatorias.
- Del tipo horizontal con eje en riel.
- Turbina de eje rotatorio.
- Reciprocante rotatorio

Los tres tipos rotatorios cuentan con ejes verticales. Tanto los rotatorios como los rotatorios reciprocantes utilizan paletas impulsoras. Los reciprocantes tienen dos o más ejes que giran en direcciones opuestas.

**c) Separación de los sólidos de los líquidos:** Este paso sigue a la floculación y en la mayoría de los casos consiste una convencional sedimentación por gravedad; aunque ocasionalmente también se utilice la flotación por aire.

La sedimentación se define a grosso modo como aquellas operaciones efectuadas, en las que una suspensión de partículas es separada para lograr un líquido clarificado y una suspensión más concentrada(lodo). La sedimentación puede ser físicamente colocada siguiendo cualquier proceso que genere una suspensión.

La sedimentación se realiza en tanques especiales para esto, llamados clarificadores, los cuales pueden mejorar la sedimentación haciendo uso de la gravedad. Los clarificadores pueden incluir no solo la sedimentación de las partículas sino también la coagulación y floculación, teniendo cada una de estas operaciones en espacios diseñados para tal propósito pero que forman parte del mismo.

Los clarificadores pueden ser de dos configuraciones básicas basadas en las características del flujo, esto es flujo vertical o flujo horizontal, siendo el segundo el más utilizado. Los clarificadores pueden ser ya sea circulares o rectangulares dependiendo de las dimensiones de espacio disponibles. Los clarificadores rectangulares de flujo horizontal se componen principalmente de la entrada de flujo en un extremo, dirigiendo el flujo a lo largo del clarificador y haciendo pasar este por distintos tipos de dispositivos que provoquen el choque de los floculos y la consecuente sedimentación de estos al fondo, que puede ser plano o cónico. Este tipo de clarificadores se presta más para la construcción con placas y tubos que forman compartimentos, en donde las partículas se sedimentan con mayor velocidad. Algunas veces el diseño de esto implica la colocación de las placas con cierto ángulo de inclinación, por lo que cuando el flujo sube por la placa o tubo las partículas (lodos) caen. El efluente procedente de los clarificadores de tasa alta contiene concentraciones que van de 5 a 20 mg/L.<sup>(37)</sup>

En el caso de que el fondo sea cónico o plano se deberá de contar con dispositivos como lo son las espigas que dirijan los lodos o sedimentado al colector de estos para su posterior bombeado o remoción. Si el clarificador es de fondo cónico los floculos se sedimentan y agrupan por la acción de la gravedad, contando con un orificio de salida para los lodos. Las figuras muestran ejemplos de clarificadores.

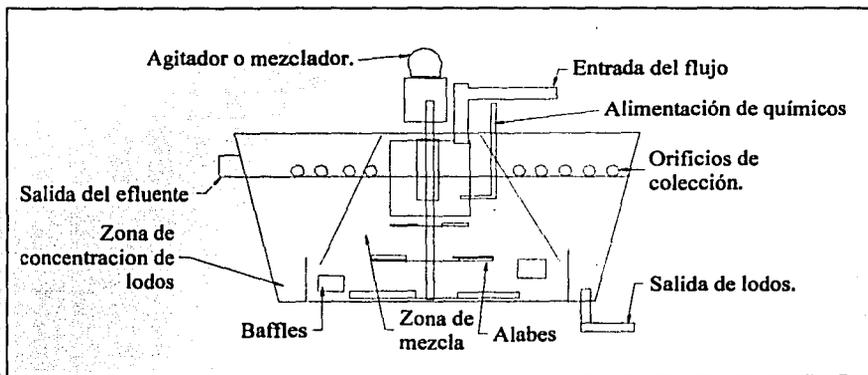


Fig. 4.1 Clarificador circular de flujo vertical.

<sup>(37)</sup> Jairo Alberto Romero Rojas. Potabilización del Agua. Editorial Alfaomega 3ª edición, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. Pag. 162.

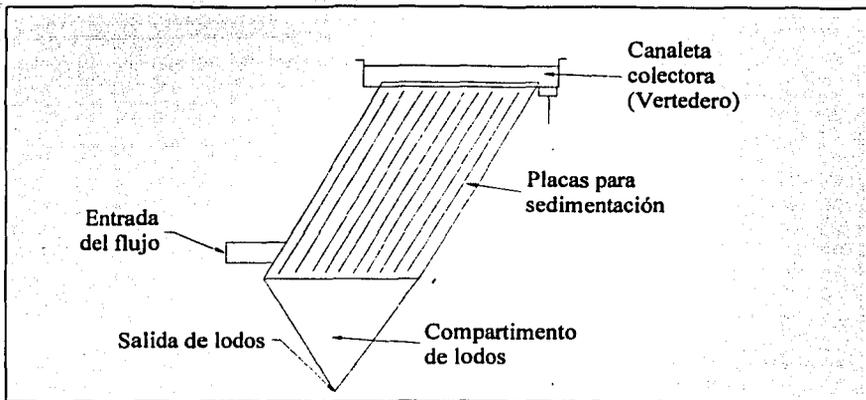


Fig. 4.2 Clarificador de placas inclinadas.

Son cuatro los factores que determinan la eficiencia de un clarificador y son:

- Tiempo de retención
  - Rango de flujo en el vertedero
  - Rango de carga de la superficie
  - Carga de sólidos.
- 1) Tiempo de retención es el tiempo requerido para que una porción del flujo entre y salga del clarificador. Si el tiempo de retención es menor que el requerido entonces se permitirá el paso de sólidos en el afluente. Para poder aumentar el tiempo de retención se tendrá que incrementar la capacidad del tanque clarificador.
  - 2) El rango de flujo en el vertedero expresa la cantidad de agua que pasa a través del clarificador en relación de unidades lineales del vertedero disponible.
  - 3) El rango de carga de la superficie expresa la cantidad de agua que está siendo tratada en relación con la superficie del clarificador. La eficiencia de sedimentación se incrementa con el aumento de la superficie de sedimentación.
  - 4) La cantidad de sólidos contenidos en el agua que pasa a través del clarificador.

Otras características también influyen en las eficiencias de los clarificadores. Uno de los puntos importantes de los clarificadores es la característica de sedimentación de las partículas. El rango de sedimentado es afectado por muchos factores incluyendo el tamaño de la partícula, forma, la temperatura del agua alrededor, el peso de la partícula en relación con el agua alrededor. Las partículas de mayor peso y densidad se sedimentan más rápido. La velocidad horizontal a la superficie de sedimentado, así como la profundidad del tanque determinan el tiempo de sedimentado.

La velocidad de sedimentación alcanzada por una partícula depende del caudal, de la viscosidad del agua y las características de sedimentación de las partículas. La temperatura juega un papel importante ya que a menor temperatura el agua es más densa y existe menos sedimentación. Por lo que la sedimentación se favorece a temperaturas mayores.

La eficiencia del clarificador se puede ver disminuida por la formación de flujos de circuito corto que significa que en algunas parte de las corrientes y debido a una posible diferencia de temperaturas o densidades existe el paso de flujo a mayor velocidad lo que provoca que junto con estas porciones de corriente se logren colar partículas que no se sedimentan. Para evitar esto se deberá de tener un diseño que permita un flujo uniforme. El material apropiado para la construcción de los clarificadores es muy diverso pero tiene mucho que ver el capital económico con que se cuente ya que dependiendo del material se incrementa o disminuye la expectativa de vida útil de estos, que pueden ser de concreto, aleaciones de acero, metales recubiertos, plásticos, fibra de vidrio, etc.

#### IV.8 FILTRACIÓN.

El propósito general de la filtración de una corriente de aguas de desecho es remover las partículas de tal manera de obtener una calidad de agua que pueda ser reusada o desechada.

En el caso de las plantas de tratamiento de desecho para la industria de la galvanoplastia el propósito es para remover los floculos de partículas que hallan podido pasar atravez de los tratamientos para la sedimentación. Las partículas sólidas son comúnmente removidas de las corrientes de desecho haciéndolas pasar atravez de una cama de medio granular (arena), la cual atrapa los sólidos y permite el paso de agua clarificada. Cuando los contaminantes removidos son de tamaño muy pequeño para ser removidos por medio granular, se emplean filtros de membrana. En este tipo de proceso, el agua de desecho fluye por medio de presión atravez de un material poroso (la membrana). Los poros (aberturas) en la membrana separan los contaminantes (floculos) de las aguas de desecho, ya que permiten el paso libre del agua pero bloquean el paso de cualquier sólido.

Cualquiera que sea el medio filtrante el proceso de filtración se lleva acabo de la siguiente manera: el agua a ser tratada entra al filtro atravez de una válvula de entrada y es distribuida atravez de la superficie filtrante. La corriente de agua pasa distribuidamente atravez medio filtrante dejando atrás los sólidos, el agua entonces alcanza a los sistemas de colección del filtro y sale por medio de una válvula que controla el caudal dentro de este.

Los filtros granulares pueden funcionar por medio de la gravedad o por presión que normalmente es suministrada por una bomba. Los filtros de gravedad (actúan con la presión proporcionada por la gravedad) y pueden ser empleados para:

- La remoción de floculos de residuo biológico después de una precipitación de fosfato agregando aluminio, hierro o cal en tanques de sedimentación secundarios de los procesos de tratamiento biológicos.
- La remoción de sólidos o floculos que permanecen en el flujo de las corrientes de desecho provenientes una coagulación química de los procesos de tratamiento fisicoquímico terciario o independiente. (puede ser directamente de la coagulación o después del clarificador).

Los filtros pueden ser con flujo hacia abajo, hacia arriba y biflujo. Los tres tipos necesitan de periodos de retrolavado; aunque también existen diseños que tienen un retrolavado continuo. Los

filtros pueden ser diseñados para atrapar a los sólidos en la parte superior del filtro o todo lo largo de este. Los retrolavados se llevan a cabo para remover del medio filtrante las partículas sólidas que quedaron atrapadas anteriormente. Normalmente el tiempo exacto para llevar a cabo los retrolavados es determinado por las lecturas de presión perdida en el filtro. El retrolavado consiste de cerrar las válvulas y parar el flujo para proteger el flujo de agua, entonces se suministra agua por medio de gravedad o a presión en dirección contraria al flujo de las aguas de desecho. Mientras el agua fluye a través del medio filtrante esta recoge las partículas que anteriormente se habían separado de las aguas de desecho tratadas limpiando así el medio filtrante. Aunque se debe de considerar que el volumen de agua para el retrolavado es muy inferior al volumen de aguas de desecho tratadas por el filtro. Para poder hacer los retrolavados se deberá de sacar de servicio al o los filtros lo que disminuye eficiencia.

En el caso de los filtros que utilizan un retrolavado continuo se elimina esta desventaja, ya que estos aprovechan que la arena (medio filtrante) tiene una mayor velocidad de sedimentación mayor a la velocidad de las partículas sólidas para poder estar separando la arena de las partículas sólidas contaminantes durante el proceso de filtrado.

Las partes principales de los sistema de filtrado son: entrada, medio filtrante, drenadores, dispositivos de recolección de los sólidos del agua de lavado, fuentes del agua de retrolavado, control del flujo del agua de retrolavado y alarmas.

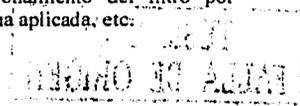
La entrada del filtro permite una distribución uniforme del agua dentro del filtro para poder aprovechar así la mayor parte posible del medio filtrante. Cuando se necesita llevar a cabo el retrolavado esta se cierra.

El medio filtrante es una de las consideraciones de diseño más importantes y consiste generalmente de uno o más materiales inertes que no reaccionan con las aguas de desecho. Estos materiales son arena de sílice, carbón fósil, arena gránate e ilmenita. Debido a su rápido taponamiento, las camas de medio filtrante simple son poco recomendables para tratar desechos industriales que generalmente tienen grandes cantidades de partículas sólidas por lo que se emplean camas de múltiples medios filtrantes. Los drenadores son dispositivos colocados para coleccionar el agua que ha sido filtrada o el agua de los retrolavados. Tienen una importante repercusión en el tipo de flujo en el filtro, por lo que deben de permitir un flujo uniforme para no crear efectos de "corto circuito" o espacios muertos dentro del medio filtrante.

Los dispositivos de recolección de los sólidos del agua de retrolavado es cualquier dispositivo que, ya sea en filtros con retrolavados intermitente o filtros con retrolavado continuo, separan o saquen los sólidos arrastrados por el agua de retrolavado del medio filtrante. El filtro más comúnmente utilizado para la remoción de los hidróxidos que pudieron pasar el clarificador son los filtros de arena de sílice de 0.5 a 0.8 mm de tamaño, de flujo ascendente con retrolavado continuo, aplicable generalmente en la eliminación de sólidos suspendidos en el intervalo de 5 a 50 mg/L.<sup>(38)</sup>

Las alarmas más comunes son aquellas que anuncian un mal funcionamiento del filtro por taponamiento, problemas de bombeo, turbulencia, altos volúmenes de agua aplicada, etc.

<sup>(38)</sup> José Luis Morales Cruz. Op.cit. Anexo B.



Los filtros que son utilizados después de un tratamiento físico-químico no necesitan de un paso para agregar químicos coagulantes al agua ya que estos tienen el objetivo de remover los ya formados flocos. La selección del filtro más indicado depende de las características de flujo del sistema de tratamiento, los objetivos requeridos y los recursos con que se cuenta. Los dibujos muestran ejemplos de los filtros.

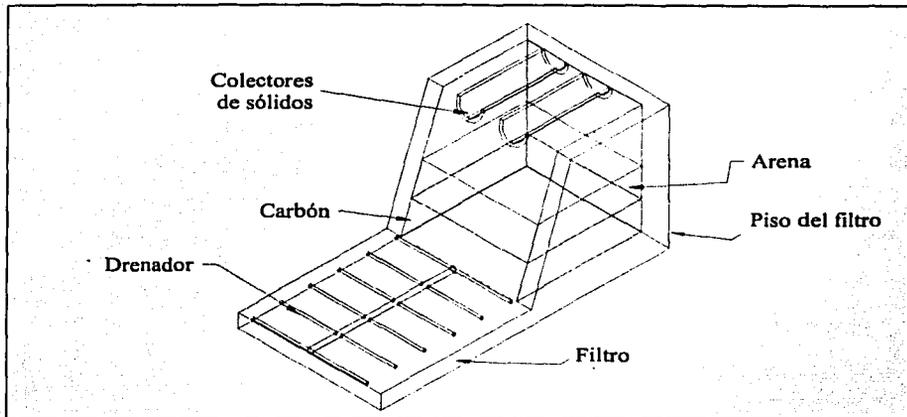


Fig. 4.3 Filtro de arena

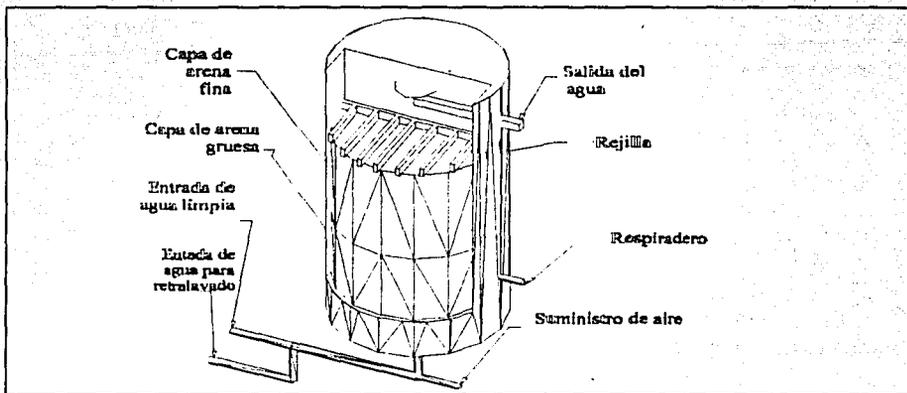


Fig. 4.4 Filtro de arena con flujo hacia arriba.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### IV.9 REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS.

La remoción de los aceites es considerada un método de depuración, si esta se lleva a cabo después de que el agua ha sido contaminada y mezclada con otras corrientes de aguas de desecho provocando la contaminación de las mismas; ya que si se lleva a cabo inmediatamente después de que los aceites contaminen el agua o si se utilizan técnicas para eliminar de las piezas estos aceites antes de ocupar cualquier cantidad de agua, se dice que estos son métodos para la prevención de la contaminación y están contenidos en el capítulo número 3 de este trabajo.

Los desechos con aceites se producen en las operaciones de limpieza, enfriamiento y lubricación, procesos de pintado y lubricaciones de maquinaria.

Las técnicas que generalmente emplean las galvanizadoras y terminadoras de metal para la remoción de aceites son:

- Desnatado.
- Conglutinamiento.
- Ruptura de emulsión
- Flotación
- Centrifugación
- Filtración (ultra filtración)
- Osmosis inversa.

El tratamiento de los aceites es más eficiente económicamente si los desechos son separados de otras corrientes de desecho de diferente tipo. Los procesos de separación varían dependiendo del tipo de aceite involucrado. En general los desechos de aceite encontrados en las aguas de desecho de este tipo de industrias son tres: aceites libres, aceites emulsificados o solubles en agua y grasas. Las áreas de manufactura llegan a producir muy altas concentraciones de hasta 400000 mg/L. Menores concentraciones se encuentran en los desechos de aceite que son combinados debido a la limpieza o enjuague de piezas con aceite, derrames o fugas.

El tratamiento aplicado a los desechos de aceite depende del tipo de desecho que sea. Aceites o grasas libres o flotantes pueden ser separados de las corrientes de desecho por gravedad (método utilizado por su simplicidad y ventaja económica), separadores de aceite, centrifugaciones, unidades de flotación por aire disuelto y nitrificación. Los aceites emulsificados son tratados por medio de procedimientos de ruptura de la emulsión tales como los de vapor, agrietamiento por calor, ácidos o el uso de ruptores de emulsión (polímeros) con adición de químicos para provocar la separación de los aceites. Los aceites por conveniencia deben de ser removidos de las aguas de desecho antes de cualquier tipo de tratamiento a estas, por que de no ser así, los aceites interferirían con los tratamientos obteniendo resultados no satisfactorios para cumplir con los límites establecidos para la descarga.

La remoción de los aceites se puede lograr en filtros de arena de ultra filtración, una vez removidos los aceites de cierta corriente de aguas de desechos, esta podrá ser mezclada con el resto de las corrientes de aguas de desecho para después hacer la remoción de metales por hidróxido precipitación y sedimentación, para así remover los precipitados.

## **CAPITULO 5**

### **Requerimientos legales**

## V.1 NECESIDAD DE CONTROL.

Actualmente en nuestro país es un reto impostergable disminuir y minimizar residuos peligrosos que son generados en los diversos procesos industriales, debido a que afectan gravemente al medio ambiente. Ya que no solamente se deben de tomar medidas efectivas de productividad para maximizar la eficiencia de los procesos; si no también tomar medidas efectivas para el manejo adecuado de los residuos que sean generados.

Un problema de suma gravedad es el manejo y deposito de los desechos generados en los procesos industriales, ya que gran parte de las industrias que generan residuos peligrosos los mantienen o los desechan clandestinamente. En algunos otros casos los desechos son arrojados de manera ilegal en forma de aguas de proceso, en cuerpos de agua, mezclados con basura municipal o se desechan clandestinamente en sitios sin control. De tal forma que se generan riesgos muy importantes de contaminación a los acuíferos, daños a la salud y los ecosistemas, y en general riegos para la población.

El hecho de que los residuos permanezcan almacenados temporalmente dentro de las empresas no resulta lo mas adecuado, además de que plantea problemas potenciales. Por ello se resalta la importancia de desarrollar sistemas de manejo y tratamiento para evitar este tipo de circunstancias. Los residuos peligrosos incluyen: sustancias y agentes de características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico infecciosas.

## V.2 INSTITUCIONES A CARGO.

Hasta el momento, las instituciones encargadas del regulamiento de estos residuos no cuentan con un esquema metodológico para determinar el potencial de afectación y evaluar los riesgos a la salud y al medio ambiente asociados a este problema. Los estudios realizados se enfocan a los problemas generados por el mal manejo de los desechos, según indica el documento "*Bases para una política nacional de residuos peligrosos*", del Instituto Nacional de Ecología (INE), organismo desconcertado de la Secretaria del medio Ambiente y Recursos Naturales.<sup>(40)</sup>

De acuerdo con datos preliminares de esta dependencia, dentro de las aguas residuales de la industria el 38% de los desechos generados corresponden a solventes, seguidos por aceites y grasas, (15%) y pinturas y barnices (9%). En menores porcentajes figuran los siguientes: Resinas, ácidos, y bases, derivados del petróleo, metales pesados, adhesivos, freón, lodos, silicón, tintas y plásticos. Los principales organismos involucrados con la protección del medio ambiente y que se encuentran relacionados con los reglamentos y normas aplicables a la industria de la galvanoplastia y tratamiento de aguas son:

- La Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales (SEMARNAT) a través del Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Secretaria de Trabajo y Previsión Social (STPS).
- Secretaria de Comunicaciones y Transportes(SCT).
- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI).
- Secretaria de salud (SS).

<sup>(40)</sup> Instituto Nacional de Ecología. 1ª Edición, México 1994. [www.ine.gob.mx/upsec/publicaciones.new/nove.htm](http://www.ine.gob.mx/upsec/publicaciones.new/nove.htm).  
Pag. 3

Ahora bien enfocándonos a un sistema productivo manufacturero en donde se tenga que realizar procesos electrolíticos para depósito de metales ( como el sistema en que se basa el presente trabajo) se emplean materias primas que al procesarse provocan que sus mismos residuos rebasen los límites de las normas oficiales mexicanas para descarga de aguas de desecho en la red pública de alcantarillado, por el alto contenido de metales pesados como lo son el cadmio, níquel, cromo hexavalente, cobre, plomo, estaño, cianuro, etc. Además de un riguroso control de pH de ácidos y bases, así como la temperatura a la cual se descarga, DBO y la presencia de materiales sólidos o materia flotante.

Como es evidente la peligrosidad de estos residuos es necesario implementar sistemas tecnológicos que permitan su tratamiento, recolección, reciclaje, transporte y disposición final de los residuos peligrosos en pocas palabras su adecuado manejo.

Debido a la contaminación indiscriminada y por la consiguiente necesidad de reducir esta problemática se publica en 1988 y se reforma en 1996 "La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente" que establece los principios de política ecológica y define los organismos e instrumentos habilitados para que se lleve a cabo su aplicación.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de residuos peligrosos determina en su artículo 1º. Que el reglamento para el manejo de residuos peligrosos rige en todo territorio nacional y las zonas donde la nación ejerce su soberanía y jurisdicción y tiene por objeto reglamentar en lo que se refiere a residuos peligrosos.

A su vez determina que en el Distrito Federal el organismo regulador será la Secretaría del Desarrollo Urbano y Ecología, la subsecretaría de Hidrología y suelo y la secretaria de control y prevención de la contaminación, las cuales entre otras tienen las siguientes funciones:

- Determinar la lista de residuos peligrosos.
- Expedir las noticias técnicas ecológicas y procedimientos para el manejo de residuos.
- Controlar el manejo de residuos.
- Autorizar la instalación y operación de sistemas para el manejo de residuos.
- Evaluar el impacto ambiental.
- Autorizar al generador y a las empresas de servicio de manejo para cualquier operación.
- Autorizar la importación y exportación de residuos peligrosos.
- Expedir los instructivos y formatos y manuales necesarios para el cumplimiento del reglamento.

En el artículo 6º indica que las personas físicas o morales, públicas o privadas que con motivo de sus actividades generen residuos, están obligadas a que por su propia cuenta determinen si estos son peligrosos.

En relación con este artículo se debe recurrir a laboratorios ambientales registrados al sistema nacional de acreditamiento de laboratorios de pruebas de conformidad con la ley federal sobre meteorología y normalización.

Comúnmente para este tipo de empresas se solicita un análisis de descarga de agua residual y en su caso un estudio CRETIB. Ver anexo A.

### **V.3 REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVIDAD APLICABLE A LA INDUSTRIA DE LA GALVANOPLASTÍA Y SUS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA.**

Esta sección pretende mostrar los reglamentos y normas que regulan las actividades referentes a los desechos de la industria de la galvanoplastia y sistemas de tratamiento de agua de desechos.

#### **5.3.1 LA LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE.**

La Ley General de Equilibrio Ecológico y protección al medio ambiente (LGEEPA), es el marco legal que fija las condiciones para la protección al medio ambiente, así como para la preservación y restauración del equilibrio ecológico. Las modificaciones hechas en 1996 a la LGEEPA hacen especial énfasis en reforzar el carácter preventivo de la política ambiental.

Las reformas incorporan como instrumento de carácter preventivo y correctivo, disposiciones referidas a la auditoría ambiental y promueven la autorregulación y certificación voluntaria. En materia de residuos, materiales y riesgo ambiental, las modificaciones tienen el propósito de promover las políticas de minimización, reciclaje y recuperación de materiales secundarios o de energía, así como proporcionar una gestión administrativa más eficiente. En general y con referencia a la contaminación del agua la LGEEPA establece tres condiciones para descargas las aguas residuales:

1. Se deberán de realizar estudios para saber si los desechos son peligrosos o no y se tendrá la responsabilidad de registrarse ante la SEMARNAT adecuadamente como productor de contaminantes. Ver anexo B.
2. Llevar acabo el tratamiento de las aguas de desecho dentro de la misma empresa y antes de ser descargadas a la red de drenaje.
3. Cumplir con las NOM's aplicables tanto las aguas residuales como a los sistemas de tratamiento.

De este marco genérico que establece la Ley, se desprenden diversos reglamentos y normas específicas en materia de protección ambiental del agua, aire y suelo, así como de la salud humana.

Debido a que los contaminantes pueden transferirse fácilmente de un medio a otro y que los impactos ambientales pueden involucrar más de un medio (aire, agua o suelo) se vuelve necesario considerar las emisiones desde un punto de vista multimedios. Por lo que se presentan los aspectos relevantes de la LGEEPA en materia de protección ambiental y no únicamente referentes a los residuos peligrosos, y que requieren de una importante consideración por parte de la industria de la galvanoplastia.

El titulo primero de la LGEEPA articulo 3:

- Fracción XXXI. Establece como residuo "a cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita utilizarlo nuevamente en el proceso que lo genero".

- Asimismo la fracción XXXII define residuos peligrosos como *“todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológicoinfecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico, o el medio ambiente”*.

El título cuarto de la LGEEPA se refiere a la protección al ambiente y contiene entre otras las siguientes disposiciones:

Capítulo II. “Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera”

- Por medio de los artículos 111 bis y 113 quedan regulados y requieren de autorización de la Secretaría (SEMARNAT), la operación y el funcionamiento de fuentes fijas que puedan omitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera. Para tal efecto debe de cumplirse las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) correspondientes.

Capítulo III. “Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos”.

- Por medio de los artículos 120, 121, 122 y 139 quedan sujetos a regulación federal o local y requieren de un tratamiento previo adecuado, las descargas de origen industrial, el vertimiento de residuos sólidos, materiales peligrosos y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, así como las aguas residuales con contaminantes, a cualquier cuerpo y corriente de agua o en el suelo o subsuelo. Toda descarga deberá de satisfacer las NOM's correspondientes. Ver anexo A y H.

Capítulo IV. “Prevención y Control de la Contaminación del Suelo”

- El artículo 134. I AL III establece que corresponde al estado y a la sociedad evitar la contaminación del suelo y que deben de ser controlados los residuos en tanto que constituyen la fuente principal de la contaminación del suelo, incorporando las medidas que previenen y reducen su generación, las técnicas para su uso y reciclaje así como así como la regulación eficiente del manejo y disposición final de los mismos.
- El artículo 144. Hace referencia a las restricciones arancelarias y no arancelarias relativas a la importación y exportación de materiales peligrosos.

Capítulo V. “Actividades consideradas como altamente riesgosas”.

- El artículo 147 establece que las actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosas deben de realizarse con apego a esta ley, así como a los reglamentos y normas correspondientes. Quien realice este tipo de actividades deberá de realizar un estudio de riesgo ambiental para su aprobación por las autoridades correspondientes.

Capítulo VI. “Materiales y Residuos Peligrosos”

- El manejo de materiales y residuos peligrosos, incluyendo su uso, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje, tratamiento y disposición queda sujeto a lo establecido en la presente Ley, el reglamento en Materia de Residuos Peligrosos y NOM correspondientes.
- El artículo 151 otorga “la responsabilidad de manejo y disposición final de los residuos peligrosos a quien los genere”. En el caso de que se contrate los servicios de manejo y disposición final de residuos peligrosos con empresas autorizadas por la Secretaría, y los residuos sean entregados a estas, la responsabilidad de las operaciones será de estas. Quienes generen, reusen o reciclen residuos peligrosos, deberán de hacerlo del conocimiento de la Secretaría en los términos previstos en el reglamento de esta Ley.

De la LGEEPA se desprenden asimismo leyes y reglamentos, algunos de los cuales son aplicables a este giro industrial:

- Ley General de Desechos en Materia de Agua-1997.
- Ley de Agua Nacionales-1994.
- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas- 1988.
- Reglamento de la Ley de Agua Nacionales-1994.
- Reglamento en materia de residuos peligrosos.

El reglamento de la LGEEPA en materia de residuos peligrosos especifica que su aplicación compete a la autoridad federal, asimismo incluye responsabilidades en cuanto al manejo de residuos, definición de términos y procedimientos de generación, manejo, importación y exportación, control y sanciones en cuanto al manejo de residuos peligrosos. En donde los requisitos específicos se manejan en NOM's. En el reglamento se especifica que la SEMARNAT a través del Instituto Nacional de Ecología (INE), es la autoridad competente en materia de residuos peligrosos para las autorizaciones de manejo de estos, incluyendo los tramites administrativos necesarios. El reglamento establece la obligación del generador de residuos peligrosos de reportar la generación de sus residuos y darles un manejo adecuado (art. 8) en las etapas de envasado, almacenamiento en la planta, transporte, tratamiento y disposición final, así como una clasificación correcta. Ver anexos B y D.

### 5.3.2 NORMAS OFICIALES MEXICANAS Y REGLAMENTOS APLICABLES.

Las Normas Oficiales Mexicanas(NOM) <sup>(41)</sup>, en materia ambiental, además de permitir a las autoridades el establecer límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a diferentes medios y de las condiciones para su verificación, permite crear una atmósfera de certidumbre jurídica, tanto para los generadores de contaminantes, como para los prestadores de servicios involucrados. De la misma forma promueven cambios tecnológicos.

En cuanto a la caracterización de los residuos peligrosos rigen las siguientes normas:

- NOM-052-ECOL-1993. Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Norma de observancia obligatoria en la definición y clasificación de residuos peligrosos. En esta norma los residuos se clasifican por giro industrial y proceso, así como por fuente no especifica, incluyendo la clave CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Biológico-Infecioso) y número de INE correspondiente.
- NOM-053-ECOL-1993. Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Norma de observancia obligatoria en la generación y manejo de residuos peligrosos.

<sup>(41)</sup> Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Normas Oficiales Mexicanas en Materia Ambiental. <http://uninet.mty.itesm.mx/legis-demo/indices/indecol.htm>

- NOM-054-ECOL-1993. Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos.

En cuanto al manejo de sustancias peligrosas tenemos que la Secretaría de Trabajo y Prevención Social a emitido el siguiente reglamento y normas en materia de seguridad, higiene y medio ambiente laboral, que deben de ser consideradas en el manejo de sustancias peligrosas. Dicho reglamento aplica tanto para las plantas de galvanoplastia como para sus plantas de tratamiento de aguas residuales.

El Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo <sup>(42)</sup>; en su capítulo VI se refiere al manejo, transporte y almacenamiento de materiales en general y materiales y sustancias peligrosas.

- NOM-005-STPS-1993. Relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles.
- NOM-009-STPS-1993. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias corrosivas, irritantes y tóxicas en los centros de trabajo.
- NOM-010-STPS-1993. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.

En cuanto se refiere al almacenamiento, etiquetado y transporte de residuos peligrosos, se tiene que los requerimientos técnicos y organizativos para el almacenamiento temporal dentro de las empresas se encuentra en el reglamento de residuos peligrosos de la LGEEPA.

Por otro lado, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha emitido el siguiente reglamento y normas al respecto <sup>(43)</sup>:

- Reglamento para el transporte de materiales y residuos peligrosos: Que tiene por objeto regular el transporte de materiales peligrosos por vías terrestres, el cual corresponderá aplicar a la Secretaría. En este mismo reglamento se especifican las clases, que son nueve, y denominación con las que se clasifican las sustancias peligrosas mencionadas en las normas correspondientes a esta dependencia.

Para el almacenamiento y transporte deben de observarse las siguientes normas:

- NOM-002-SCT2-1994. Norma par clasificar e identificar las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados, de acuerdo a clase, riesgo secundario, número asignado por la Organización de las Naciones Unidas, así como las disposiciones especiales a las que deberá de sujetarse el transporte de las sustancias y materiales y el método de embaque y embalaje. Esta norma es de observancia obligatoria para los expedidores,

<sup>(42)</sup> Secretaría de Trabajo y Prevención Social. Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, Normas Oficiales Mexicanas. [www.stps.gob.mx](http://www.stps.gob.mx).

<sup>(43)</sup> Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Reglamento para el transporte de materiales y residuos peligrosos, [www.sct.gob.mx](http://www.sct.gob.mx)

transportistas y destinatarios de las sustancias, materiales y residuos peligrosos que transitan por las vías generales de comunicación terrestre.

- NOM-005-SCT2-1994. Establece información de emergencia para el transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos en caso incidente o accidente.
- NOM-006-SCT2-1994. Establece disposiciones básicas que deben de cumplirse para la revisión diaria de las unidades para el transporte.
- NOM-010-SCT2-1994. Establece las disposiciones de compatibilidad y segregación que deben aplicarse para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.

Asimismo, para el transporte de residuos peligrosos es necesario cumplir con normas de etiquetado e identificación <sup>(44)</sup>:

- NOM-003-SCT2-1994. Establece las características, símbolos, dimensiones y colores de las etiquetas que deben de tener envases y embalajes que representan el riesgo de estos.
- NOM-004-SCT2-1994. Establece las características y dimensiones de los carteles que deben de portar las unidades de transporte.
- NOM-007-SCT2-1994. Establece las características y especificaciones que se deben cumplir para el marcado de envases y embalajes. Ver anexo E.

Para la prevención y control de la contaminación se tiene <sup>(45)</sup>:

- NOM-001-ECOL-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-031-ECOL-1993. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicio y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal. La presente norma es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de agua residuales.

Para la prevención y control de la contaminación atmosférica. Las emisiones atmosféricas en fuentes fijas están reguladas por las normas <sup>(46)</sup>:

- NOM-043-ECOL-1993. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.
- NOM-085-ECOL-1994. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requerimientos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos de emisión de bióxido de azufre en los

<sup>(44)</sup> Id.

<sup>(45)</sup> Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Op. Cit.

<sup>(46)</sup> Id.

equipos de calentamiento directo por combustión utilizados en fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos, gaseosos o cualquiera de sus combinaciones.

Las medidas de protección contra el ruido se encuentran regidas por las siguientes normas:

- NOM-081-ECOL-1994. Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.
- NOM-011-STPS-1993. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.

Para la protección y seguridad en las áreas de trabajo se tienen las siguientes normas<sup>(47)</sup>:

- NOM-001-STPS-1993. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo.
- NOM-002-STPS-1993. Relativa a las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
- NOM-004-STPS-1993. Relativa a los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria, equipos y accesorios de los centros de trabajo.

### 5.3.3 PROYECTOS DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS.

Con respecto a los residuos peligrosos se tiene:

- Revisión de criterios de la caracterización y listado de residuos peligrosos (NOM-052-ECOL-1993)
- Manejo de envases y embalajes que contuvieron sustancias químicas.
- Manejo de aceites y lubricantes usados.
- Manejo de lodos de plantas de tratamiento.
- Muestreo de residuos para determinar su peligrosidad.
- Manejo de solventes residuales.
- Listado de actividades altamente riesgosas.

Otras regulaciones:

- Inyección e infiltración de aguas residuales.
- Emisiones de partículas en procesos industriales.
- Manejo de sustancias químicas altamente peligrosas.
- Seguridad ambiental en operaciones altamente riesgosas.
- Lineamientos generales para el cargado, distribución y sujeción de las unidades de autotransporte de materiales y residuos peligrosos.

<sup>(47)</sup> Secretaría de Trabajo y Previsión Social. Op.cit.

#### V.4 REQUERIMIENTOS POR LA GENERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS.

El generador de residuos peligrosos según el artículo 8° de la LGEEPA deberá:

1. - Inscribirse en el registro que para tal efecto establezca la secretaria. Ver anexo B.
2. - Llevar una bitácora mensual sobre la generación de residuos peligrosos.
3. - Dará a los residuos peligrosos el manejo previsto en el reglamento.
4. - Manejar separadamente los residuos que sean incompatibles.
5. - Envasar sus residuos peligrosos en envases seguros.
6. - Identificar sus residuos peligrosos según las noticias técnicas ecológicas.
7. - Almacenar sus residuos peligrosos en condiciones de seguridad.
8. - Transportar los residuos en vehículos que determine la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
9. - Dar a sus residuos peligrosos el tratamiento que corresponda de acuerdo con lo dispuesto en el reglamento.
10. - Dar a sus residuos peligrosos la disposición final que corresponde de acuerdo con los métodos previstos en el reglamento y conforme a lo dispuesto por las normas técnicas ecológicas aplicables.
11. - Remitir a la Secretaría, en el formato que esta determine un informe semestral sobre los movimientos que hubiera afectado con sus residuos peligrosos durante dicho periodo.

#### V.5 REQUERIMIENTOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS.

El generador podría; en caso de así necesitarlo, contratar los servicios de empresas de manejo de residuos peligrosos para cualquiera de las operaciones que comprenden el manejo. Estas empresas deberán contar con la autorización previa de la secretaria y serán responsables por lo que toca a la operación de manejo en la que intervengan, del cumplimiento de lo dispuesto en el reglamento y en las normas técnicas ecológicas que del se deriven. Ver anexo D.

#### V.6 SANCIONES.

Las infracciones de carácter administrativo a los preceptos de la ley y el reglamento serán sancionadas por la SEMARNAP, con una o más de las siguientes sanciones.

- I.- Multa por el equivalente de veinte a veinte mil días de salario mínimo general vigente del Distrito Federal, en el momento de imponer la sanción.
- II.- Clausura temporal o definitiva principal o total, cuando conociéndose la peligrosidad de un residuo peligroso, en forma dolosa no sé de este manejo previsto por el reglamento y las normas técnicas ecológicas correspondientes.
- III. Arresto administrativo por 36 horas.

## **V.7 REQUERIMIENTOS DEBIDO A LA CONTAMINACIÓN GENERADA POR FUENTES FIJAS.**

La ley ambiental del distrito federal determina en su artículo 101. que los propietarios o poseedores de fuentes fijas de la competencia de la Administración Pública del D.F. que emitan contaminantes están obligadas a:

I.- Cumplir con los límites de emisiones contaminantes y con los requisitos, procedimientos y métodos establecidos en las normas oficiales o en las conducciones particulares de descarga.

II.- Cubrir el derecho por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público del D.F. como cuerpos receptores de descargas de aguas residuales, cuando se incumplan los límites y condiciones establecidos por las normas oficiales o las condiciones particulares de descarga.

III.- Inscribirse en el registro de fuentes fijas y de descargas de aguas residuales del D.F. Ver anexo C.

IV.- Proporcionar en los términos de las normas oficiales y en los formatos determinados por la Secretaría, un inventario de sus emisiones contaminantes, incluyendo su naturaleza y cantidad.

V.- Prevenir y minimizar la generación y descarga de contaminantes y residuos, así como reciclar y manejar los que se generen de conformidad con esta ley, las normas oficiales y el programa respectivo.

VI.- Someter sus instalaciones a las verificaciones periódicas de emisiones contaminantes que realice la Secretaría.

VII.- Contar con plataformas y puertas de muestra.

VIII.- Dar aviso inmediato a la administración Pública del D.F. y tomar las medidas conducentes en caso de emisiones contaminantes, accidentes, fugas, derrames, explosiones o incendios que pongan en peligro o afecten la integridad de las personas o del ambiente.

IX.- Acatar las medidas que establezcan la Administración Pública del Distrito Federal y las demás autoridades competentes en caso de contingencia Ambiental, emergencia ecológica o como medida de seguridad.

### **5.7.1 REQUERIMIENTOS PARA EL REGISTRO DE FUENTES FIJAS Y DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES.**

Tratándose de fuentes fijas en operación, los propietarios deberán solicitar a la SEMARNAP su inscripción en el registro de las fuentes fijas y de descarga de aguas residuales, mediante el formato que para tal efecto determine la propia a secretaria, el cual deberá incluir la siguiente información:

- I. Nombre y domicilio del propietario.
- II. Ubicación y giro de la fuente fija.
- III. La naturaleza, característica y cantidad de las emisiones contaminantes al ambiente y a la red de drenaje, así como la generación y manejo de residuos.
- IV. Procesos productivos, combustibles y fuentes de energía utilizadas.

## **CAPITULO 6**

### **Plantas de tratamiento**

## VI.1 DEFINICIÓN DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

Un sistema de tratamiento de agua es un grupo de dispositivos los cuales por medio de diferentes procesos reducen las concentraciones de diferentes contaminantes en el agua, (estos procesos pueden ser físicos, químicos, biológicos o combinaciones de estos). Los dispositivos se encuentran en diferentes arreglos según el tipo de desecho que se desee eliminar del agua o el grado de purificación que se desee alcanzar.

La principal característica con la que debe de contar un sistema de tratamiento de agua es la capacidad de reducir la contaminación del agua hasta el punto para el que fue diseñado, esto según la necesidad específica de la industria en el que es requerido. Esta necesidad generalmente se ve envuelta con la normatividad establecida por los organismos gubernamentales y que en caso de no ser respetada podría llegar hasta la clausura de la empresa.

## VI.2 INVESTIGACIÓN DE CAMPO.

El propósito fundamental de la investigación de campo es obtener información de los criterios y consideraciones que empresas con sistemas de tratamiento ya existentes tienen que aplicar a sus sistemas de tratamiento según la problemática que se les presente o pueda presentar.

En esta investigación se muestran los tipos de arreglo para el tratamiento de las aguas residuales que tienen cada una de las empresas visitadas, para así tomar la mejor selección, tanto de los tratamientos a aplicar como el arreglo de estos. Con el propósito de obtener información uniforme y ordenada se realizó el siguiente cuestionario de las características de estos sistemas de tratamiento:

1. - ¿Cuáles son y de donde provienen los desechos que su sistema trata?

DGCOH "EL LLANO"	IMASA LAMINADORA DE ALUMINIO	INDUX (REMACHES Y BOTONES)
Drenaje municipal. Primordialmente domésticos e industriales.	Aguas residuales de proceso: - Soluble utilizado para enfriar el aluminio. - Agua de desnatado generada en la purificación del soluble. Agua residuales de servicio: - Agua de lavado alcalino (con sosa) - Aguas de enjuague - Agua recolectada de las bombas.	- Aguas de solución o aguas de los baños de tratamiento (recubrimiento) provenientes de latonado, zincado, cromatizado contaminados después de su uso. - Aguas de enjuague provenientes del enjuague de las piezas después del recubrimiento.

2.- ¿Cuál es la capacidad de su sistema?

250 L/seg. = 3963 gpm.	El sistema trata: - De 16 000 a 24 000 lts. de soluble cada 3 meses. - 1200 lts de agua de desnatado	Las fosas de recolección tienen las siguientes capacidades: - 10,000 lts aguas residuales generales.
---------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

CAPITULO VI. PLANTAS DE TRATAMIENTO

	cada 7 días. 48 000 lts de agua de lavado cada 3 meses.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 10,000 lts aguas residuales con Cr<sup>6</sup>.</li> <li>- 5,000 lts aguas residuales con cianuro.</li> </ul>
--	------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.- ¿Es su sistema de tratamiento continuo, en bache o ambos?

Ambos	Bache	Continuo
-------	-------	----------

4.- ¿Cómo funciona su sistema?

<p>La planta recibe el agua de drenaje provenientes de las colonias cercanas. Una vez recibida el agua residual se lleva acabo el pretratamiento para eliminar los sólidos de gran tamaño. Para después transferir el flujo de agua a las fosas de recolección, donde se llevara acabo una desestabilización de las cargas de los sólidos en suspensión para poder así poder ser sedimentados y separados del flujo una vez que se haya alcanzado el volumen para el cual la planta fue diseñada. El agua clarificada pasara entonces al tratamiento biológico y como ultimo paso se hará una desinfección con rayos ultravioleta. Después del tratamiento a las que son sometidas en la planta se descargan al subsuelo. Existiendo la posibilidad de vender esta agua a la industria.</p>	<p>La planta recibe las aguas provenientes tanto de las actividades de proceso como de servicio aplicando a estas un tratamiento primario (fisico-químico), un tratamiento secundario anaerobio y el tratamiento final de desinfección, para de esta manera cumplir con los límites permisibles para la descarga al drenaje.</p>	<p>Antes de pasar las aguas de desecho a su correspondiente fosa pasan a travez de tres trampas de aceite. Después son dirigidos hacia su correspondiente fosa. Una vez ecualizados las corrientes en las fosas de recolección son dirigidos a las unidades de tratamiento correspondientemente. Las corrientes residuales con Cr<sup>+6</sup> son dirigidas a la unidad donde se llevara a cabo la reducción para convertirlo a Cr<sup>+3</sup>.</p> <p>Las corrientes con cianuro pasaran a la unidad de oxidación del cianuro para ser convertido a dióxido de carbono y nitrógeno.</p> <p>Una vez tratados las aguas residuales con cianuro y cromo VI son dirigidas a las fosa general para ser después bombeadas a la unidad de Precipitación y neutralización donde se agregan químicos para inducir la precipitación de los metales en la zona de placas.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5.- En caso de haberlo diseñado o construido ¿cuales son los criterios de diseño y construcción?

<p>El principal criterio fue la alta variabilidad en los contaminantes. Lo que significa que no se puede tener una concentración o caudal o tipo de contaminante determinado.</p>	<p>Fue construido y diseñado por el proveedor del equipo.</p>	<p>Fue construido y diseñado por el proveedor del equipo.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------

6.- ¿Cuáles son los tratamientos que en su sistema se utilizan y por qué?

<p><b>Pretratamiento.</b> - para eliminar objetos de gran tamaño que pueden afectar a los tratamientos posteriores.</p> <p>- Tratamiento Físico químico. El cual elimina el 70 % de los contaminantes.</p> <p>- T. Biológico. Elimina todo tipo de bacterias y orgánicos.</p> <p>- Desinfección ultravioleta que garantiza una calidad de agua similar a la del agua potable.</p>	<p><b>Tratamiento primario:</b></p> <p>- Consiste básicamente de tratamientos físico-químicos que involucran separación de desechos en concentrados y diluidos, coagulación en línea por medio de la adición de un coagulante, flotación de las grasas, aceites y partículas suspendidas, por último filtración por medio de un filtro de arena.</p> <p><b>Tratamiento anaerobio e infeccioso por así determinarse necesario debido a la concentración de DBO y DQO.</b></p>	<p><b>Tratamiento físico:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se lleva acabo la equalización para tener concentraciones uniformes y flujos uniformes.</li> <li>- Separación de aceites es el primer paso para obtener los niveles adecuados de descarga.</li> <li>- Precipitación por gravedad de los floculos formados en la neutralización, debido a que se proporciona al flujo un medio no turbulento.</li> <li>- Filtración por medio de arena de las partículas que no fueron removidas durante la clarificación.</li> <li>- Compactación de los lodos generados en la sedimentación para reducir su volumen y por lo tanto costos de confinamiento.</li> </ul> <p><b>Tratamiento químico:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oxidación del cianuro en dos etapas, ya que esta agua residual representa descargas tóxicas que requieren la destrucción del cianuro por niveles inferiores a 0.1 ppm. <sup>(48)</sup></li> <li>- Reducción del cromo VI, que debe de ser removido a niveles por debajo de 0.05 ppm para ser descargado. <sup>(49)</sup></li> <li>- Neutralización de las cargas de las partículas en el agua por medio de sosa o cal, polímero catiónico y un aniónico, para poder así ser precipitadas fácilmente.</li> <li>- Coagulación /floculación. Debido a que sería poco eficiente permitir a las partículas en el agua su asentamiento normal se agregan polímeros aniónicos y catiónicos que permitan el neutralizado de las cargas para su precipitación.</li> <li>- Ajuste final de pH, que se lleva acabo debido a que después de los tratamientos aplicados se puede tener un pH fuera de los limites permitidos el cual se ajusta a 9.0.</li> </ul>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7.- ¿Qué tipo de contaminantes necesita eliminar?

<p>Una gran variedad de contaminantes y DBO, todo tipo de orgánicos, solubles y</p>	<p>- Principalmente grasas y aceites.</p>	<p>- Aceites y grasas. - Cianuro.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------	-------------------------------------------

<sup>(48)</sup> Norma Oficial Mexicana, NOM-002-ECOL/96. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales. (SEMARNAT). Normas Oficiales Mexicanas en Materia Ambiental, <http://uninet.mty.itesm.mx/legis-demo/indices/indecol.htm>

<sup>(49)</sup> Id.

ácidos.	- DBO. - Sólidos suspendidos totales.	- Cromo. - Metales pesados.
---------	------------------------------------------	--------------------------------

8.- ¿ Sus tanques de almacenamiento o tratamiento tienen algún diseño en especial? ¿Cuáles son sus características (recubrimientos, forma, etc.)?

<p>No cuentan con ningún diseño especial, tienen una capacidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 144 m<sup>3</sup> los tanques donde se aplica el cribado o pretratamiento, el tratamiento físico-químico y la desinfección ultravioleta. Son de forma rectangular y de concreto.</li> <li>- 40 m<sup>3</sup> los reactores de acero.</li> <li>- 2000 m<sup>3</sup> los sedimentadores, son de concreto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El tanque para la separación de grasas por medio de flotación es construido de acero al carbón y un volumen útil de 8.1 m<sup>3</sup>, con un sistema de rastras en la parte superior para dirigir al material flotante a un deposito separado del agua clarificada. Teniendo en cuenta que el nivel dentro de este no deberá estar en ningún caso por debajo del nivel de las rastras.</li> <li>- Tanque de alimentación y recirculación de 430 lts.</li> <li>- El tanque para el tratamiento anaerobio es un cilindro de plástico reforzado con capacidad para 5000 lts.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las fosas de recolección son cilíndricas, con capacidades mencionadas de material resistente a la corrosión química.</li> <li>- Los tanques de destrucción de cianuro y cromo VI son plásticos, de forma cilíndrica y con resistencia a la corrosión química.</li> <li>- Las unidades de precipitación y neutralización de son de acero de forma rectangular con placas inclinadas a cierto ángulo de diseño ( 60 -80 ° aproximadamente).</li> </ul>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

9.- ¿Cuenta con un sistema de bombeo? Cuales son sus características. En caso de estar ligado a algún proceso indicarlo (se necesita alguna velocidad o caudal de flujo específico para alguno de los tratamientos)

<p>Si, se tiene que bombear el agua con un caudal de 250 L/s.</p>	<p>El sistema cuenta con 4 bombas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bomba centrífuga horizontal de alimentación a trampa de grasa. Su caudal de ser de 21 LPM, controlada por una válvula de compuerta a la entrada de la trampa.</li> <li>- Bomba dosificadora del coagulante. Bomba de control tipo manual de diafragma con un caudal ajustable de 160 a 17 mL/min, operando a 126 ± 15 mL/min a una presión de descarga máxima de 150 psi para mantener una</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bombas para el tratamiento del cromo cianuro. Debe mantener un flujo de 3 - 4 gpm.</li> <li>- Bomba para la unidad de precipitación y neutralización tendrá el flujo del agua que se va a tratar, está esta en función de la cantidad de agua acumulada en las fosas de recolección.</li> </ul>
-------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>concentración del coagulante optima.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bomba centrífuga horizontal de alimentación al sistema anaerobio con un flujo de 27 LPM. Flujo controlado por la estrangulación del tubo mediante la válvula de compuerta de descarga de la bomba.</li> <li>- Bomba centrífuga horizontal de disposición de agua tratada, cuyo flujo es de 21 LPM. De operación intermitente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bombas dosificadoras de los químicos son eléctricas y trabajan mediante pulsos eléctricos que son controlados por medio de los sensores de pH y ORP que definirán tanto la intensidad del pulso eléctrico como su duración.</li> <li>- Bomba de transferencia de lodos es de diafragma</li> </ul>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

10.- ¿Cuál es el material de construcción de las diferentes partes del sistema? (Tanques, equipos y tuberías)

<p>Tanques.- Concreto Tuberías.- acero Reactores.- acero</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanque con trampa de grasas- acero al carbón.</li> <li>- Tanque de tratamiento anaerobio plástico reforzado.</li> <li>- Tubería de acero y pvc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanque de neutralización y sedimentación de acero al carbón de ¼ " de espesor con pintura epoxica como recubrimiento y de fondo cónico.</li> <li>- Tanque de tratamiento de cianuro y cromo hexavalente de material plástico.</li> <li>- Trampa de grasas está construida de cemento y materiales con afinidad a las grasas como lo es el polipropileno.</li> <li>- Tubería es de acero (tanque de neutralización y sedimentación) y pvc(unidades de oxidación y reducción).</li> <li>- Vavulas son de acero y pvc.</li> <li>- Filtro prensa cuanta con placas y lonas filtrantes de polipropileno, construido de acero al carbón y protegido contra la corrosión con pintura epoxica de alta resistencia química.</li> </ul>
----------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

11. - ¿De qué nacionalidad son los equipos utilizados en su sistema?

Mexicana y estadounidense.	Estadounidense	Estadounidense
----------------------------	----------------	----------------

12.- ¿Utiliza algún tipo de químicos para el tratamiento y en donde?

Si en el tratamiento físico - químico, para ayudar la precipitación de los sólidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se utiliza un coagulante llamado MINOX CL que básicamente es un coagulante con base de aluminio polimerizado que es dosificado al sistema antes del mezclador (coagulador).</li> <li>- También se utiliza Hipoclorito de sodio para realizar una desinfección al final de todos los tratamientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En la oxidación del cianuro se utiliza hipoclorito de sodio, y sosa al 10 % para subir el pH.</li> <li>- En la reducción del cromo hexavalente se utiliza metabisulfito de sodio al 12 %, y ácido sulfúrico al 98 % para bajar el pH.</li> <li>- En la neutralización de las corrientes generales se utiliza cal al 12.2 %, sosa al 50 %, ácido sulfúrico al 98 %, polímero aniónico al 1.0 % y uno catiónico al 10 %.</li> </ul>
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

13.- ¿Cuáles son las dosis de aplicación de estos químicos y como se calculan o calcularon?

Se desconocen	<p>El calculo lo hizo el proveedor por medio de un análisis de jarras obteniendo los siguientes resultados:</p> <p>1) Dosis de MINOX CL</p> <p>Soluble-6L /100L -0.6% Desnatado- 0.2 % Lavado alcalino - 0.03% Enjuague - 0.07 %</p> <p>2) Dosis de Hipoclorito de sodio</p> <p>La dosificación del cloro debe ser de 15 mg/L de una solución al 13 % lo que implica adicionar 0.12 ml por litro de agua tratada, de tal manera se tendrá un excedente de cloro de 0.5 a 1.0 mg/L. Lo que garantiza la eliminación de organismos patógenos.</p>	<p>El calculo lo hizo el proveedor por medio de un análisis de jarras obteniendo los siguientes resultados:</p> <p>1) Para la reducción de cromo hexavalente se necesita operara con los siguientes parámetros para lograr su correcta destrucción. - ORP= 250 millivolts, pH = 11 Dosis de a) ácido sulfúrico 10 % = 0.93 ml/L = 3.53 ml/gal. b) Dosis de metabisulfito de sodio al 12 % = 0.31 ml/L = 1.17 ml/gal</p> <p>2) Para la oxidación del cianuro se requiere de: - ORP = 550 millivolts, pH = 11. Dosis de a) hipoclorito de sodio al 13% = 80 ml/L = 302 ml /gal. b) Sosa al 50 % = 0.1 ml/L = 0.3 785 ml/gal.</p> <p>3) Para el tratamiento de las aguas generales se requiere: - pH = 8-9, dosis de a) hidróxido de calcio al 12.5 % = 15 ml/L, b) Polímero catiónico al 12 % = 5 ml/L c) Polímero aniónico al 0.1 % = 5 ml/L.</p> <p>4) Para el ajuste final de pH se requiere de una dosis de ácido sulfúrico al 98 % = 0.2 ml /L.</p>
---------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

14.- ¿Cuenta con un sistema para recuperar materiales a ser reciclados y de que tipo?

No	No	Si, por medio de la precipitación de hidróxidos.
----	----	--------------------------------------------------

15.- ¿Cuáles son los materiales que se recuperan para ser reciclados?

-	-	Níquel
---	---	--------

16.- ¿Cómo funcionan sus sistemas?

		Se realiza una coagulación precedida de floculación para propiciar la sedimentación de los hidróxidos de níquel en el clarificador.
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

17.- ¿Cuáles son las capacidades de los sistemas de tratamiento y recuperación de materiales?

Se trata agua a un caudal de 250 L/s = 3963 gpm.	Los efluentes son tratados a un caudal de 21 LPM en la trampa de grasas así como en el tratamiento de desinfección y 27 LPM para llenado en el tanque anaerobio.	El caudal de tratamiento es de 12 gpm.
--------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------

18.- ¿Cuáles son los equipos más especializados en su sistema y cual es su función?

Los reactores que forman parte del tratamiento biológico Su función es la de generar las condiciones en las que bacterias realizan su biodegradación de forma más rápida, así como lograr solubilizar algunos elementos como el bióxido de carbono para poder eliminarlo.	Es la trampa de grasas, su función es la de aprovechar la diferencia de densidades (provocada por la neutralización de las cargas por la adición de coagulante MINOS CL) para provocar la separación de las grasas y aceites del agua que esta siendo tratada, esto por medio de la flotación de grasas y aceites, que serán dirigidas por medio de rastras a un deposito separado para su disposición y confinamiento.	El filtro prensa, su función es la de comprimir los lodos generados en la sedimentación, para poder obtener una masa con mayor densidad, por lo que es más fácil de recuperar el níquel.
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

19.- ¿ Cuáles son los productos o materiales que fabrica su empresa y como se generan las aguas de desecho?

<p>Esta planta es una planta de tratamiento de aguas negras provenientes del drenaje</p> <p>Aguas de origen Industrial, domestico, ganadero, etc.</p>	<p>Se lamina aluminio en caliente.</p> <p>El agua se utiliza principalmente como agua de enfriamiento de contacto directo, agua de lavado del sistema, agua de enjuague y servicio al equipo de laminación y de tratamiento.</p>	<p>Se fabrican principalmente remaches y botones. Los desechos son generados en el enjuague de las piezas después de los recubrimientos electrolíticos.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

20.- ¿ Cuenta usted con un programa de muestreo y análisis de sus desechos?

<p>Si, se realiza mensualmente, para poder corregir los problemas que se puedan presentar.</p>	<p>Si cada seis meses. Se implemento para checar así la eficiencia del sistema y poder corregir los problemas que se pueden presentar.</p>	<p>Si, este es realizado cada 8 horas de operación de la planta de tratamiento.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

21.- ¿Con qué tipo de normas tiene que cumplir para el desecho de sus aguas al drenaje municipal?

<p>Normas referentes a la calidad del agua</p> <p>Para descargarse en el subsuelo.</p>	<p>Se debe cumplir con la normalización establecida por las autoridades mexicanas y que tienen que ver con la calidad mínima que deben de alcanzar las aguas residuales al ser descargadas al drenaje.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- NOM-001-ECOL-1996</li> <li>- NOM-002-ECOL-1996</li> <li>- NOM-003-ECOL-1996</li> </ul>	<p>Se debe cumplir con la normalización establecida por las autoridades mexicanas y que tienen que ver con la calidad mínima que deben de alcanzar las aguas residuales al ser descargadas al drenaje.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- NOM-001-ECOL-1996</li> <li>- NOM-002-ECOL-1996</li> </ul>
----------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

22.- ¿ Cuenta con un sistema de aseguramiento de calidad?

<p>No, es una planta que todavía no trabaja al 100 %, se encuentra a prueba.</p>	<p>No.</p>	<p>No</p>
----------------------------------------------------------------------------------	------------	-----------

ESTA TESIS NO SALI  
DE LA BIBLIOTECA

23.- ¿ Cada cuándo se realizan las auditorias, quien la realiza, y cuales son las medidas que se toman después de estas?

Todavía no se determina ese tipo de cuestiones.	-	-
-------------------------------------------------	---	---

24.- ¿Cuenta con alguna certificación en calidad o piensa obtenerla más adelante?

Hasta el momento no. Probablemente cuando funcione normalmente.	No, cuando se logren los objetivos para los que fue construido el sistema se podría implementar.	No; pero si se requiriese la obtendríamos.
-----------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------

25.- ¿Cuál es la temperatura de tratamiento y por que?

Es la temperatura ambiente, ya que si se necesitara alguna temperatura en especial se le daría dentro de los reactores dependiendo del tipo de bacteria o residuo a tratar.	Ambiente	Ambiente
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	----------

26.- ¿ Tiene un programa de mantenimiento de su sistema?

Si, en los equipos como las bombas, válvulas y medidores de caudal es más frecuente que en los tanques de tratamiento, tuberías, etc.	Si, cada tres meses se realiza una limpieza del sistema de enfriamiento, y después de llevar acabo esto y ser tratada el agua originada se aplica mantenimiento preventivo y correctivo al sistema de tratamiento.	Si, se aplica diariamente conforme a un programa de mantenimiento.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------

27.- ¿Cuántas personas trabajan en la planta?

4 Personas	1 Persona	1 Persona
------------	-----------	-----------

28.- ¿ Con qué grado de capacitación?

3 técnicos y un ingeniero.	Técnica	Técnica
----------------------------	---------	---------

29.-¿Cuál es el arreglo general de su sistema de tratamiento?

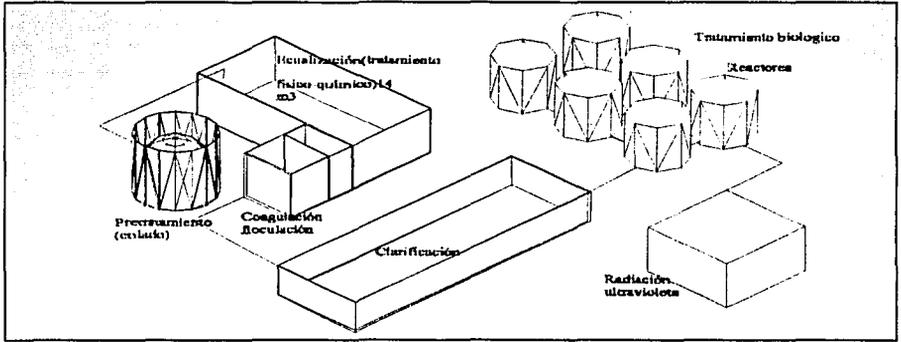


Fig. 6.1 PLANTA "EL LLANO"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

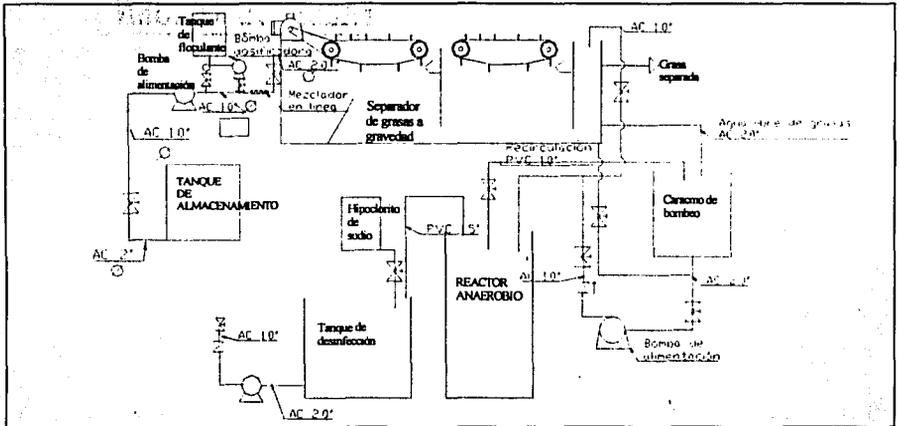


Fig. 6.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE IMASA

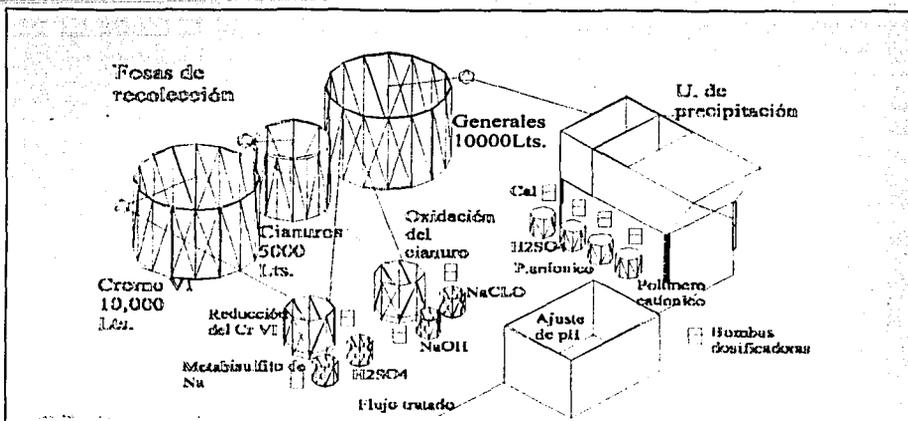


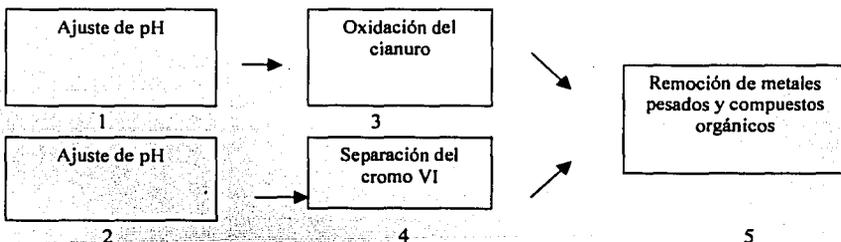
Fig. 6.3 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE INDUS

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

**VI.3 INVESTIGACIÓN DOCUMENTADA.**

La siguiente sección es dedicada al estudio de las opiniones con que cuentan diferentes fuentes acerca de cómo deben de ser los sistemas de tratamiento de agua, el arreglo más conveniente para el tipo de desecho a tratar y otras características más. Se intenta presentar casos en los que los sistemas de tratamiento tengan los mismos objetivos que para el presente sistema; aunque en realidad esto es muy difícil ya que cada sistema es diseñado para fines específicos y con objetivos muy diversos.

**Caso 1. Tratamientos para las aguas residuales de una planta galvanica de cromo.** <sup>(50)</sup>



<sup>(50)</sup> María del Rosario Sun Kou, Procesos Para el Tratamiento de las Aguas Residuales de una Planta Galvánica de Cromo, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería, San Martín de porras, Lima, Perú. [www.icp.csic.es/cyted/monografia/indice.html](http://www.icp.csic.es/cyted/monografia/indice.html)

1.- Se realiza un ajuste de pH debido a que los cianuros aumentan su efecto letal conforme a la disminución de pH y debido a que se puede acelerar en gran medida el tiempo de reacción. Ver tabla 6.2.

2.- Se realiza un ajuste de pH para acelerar la reacción y asegurar un medio alcalino.

3.- Se seleccionó el proceso de oxidación de cianuros con hipoclorito de sodio, porque se adecua mejor a las plantas de detoxificación pequeñas que usan el proceso de flujo discontinuo o en bache, por su fácil manipuleo y control de dosis. La destrucción de cianuro es inmediata. La operación se realiza a condiciones ambientales y la producción de lodos es baja. Ver tabla 6.2.

4.- Se realiza la separación del cromo hexavalente mediante la oxidación del cromo trivalente con agua oxigenada en un medio alcalino. Este método de separación de cromo hexavalente se eligió por las siguientes razones:

- Los rendimientos aumentan con la concentración de los metales, contrario con lo que ocurre con otros métodos.
- No se necesita ningún reactivo de alto precio, lo cual es interesante dada la posible aplicación practica de este método.

5.- La remoción se realiza mediante el empleo de arcillas. Esto se basó en los estudios realizados por Slavee y Pickering (1981). Helios y Rybicka (1983) estudiaron la adsorción de beidellitas, illitas y caolinitas, ellos mostraron que usando arcillas de la serie de esmectitas se conseguía hasta un 80 % de remoción de dichos metales.

Los niveles de contaminación son producidos por la empresa son:

PARAMETRO	Etapas del Proceso	Valor Promedio del parámetro (mg/L)	Volumen del agua residual (L/día)	Carga contaminante (kg/día)
Cianuro	Desengrase Electrolítico	942,8	175,0	0,165
Cianuro	Cobreado Alcalino	390,6	175,0	0,068
Cromo Hexavalente	Cromado Brillante	4833,1	215,0	1,039
Níquel	Níquelado Brillante	616,9	180,0	0,111
Cobre	Cobreado Alcalino	293,0	175,0	0,051

Tabla 6.1 Carga contaminante generada en las diferentes etapas del proceso de la planta de Cromado Brillante.

A continuación se muestran algunos resultados de la oxidación del cianuro:

Muestra	pH del Agua Residual	Cianuro libre (mg/L)	Cianuro Total (mg/L)	Primera Etapa de la Oxidación CN <sup>-</sup> (ac) □ CNO <sup>-</sup> (ac)		
				Dosis del Agente Oxidante Cl <sub>2</sub> /CN <sup>-</sup>	Potencial Redox en el punto de equivalencia (mv)	Tiempo de reacción (min)
01-3	12,6	920,15	1363,81	3,57	370	1
02-3	11,8	223,60	367,90	2,96	386	1
04-3	12,4	731,50	1105,20	3,82	360	1
05-3	12,4	746,20	1126,50	2,93	355	1
07-3	12,0	356,4	560,4	3,14	385	1
08-3	12,1	452,4	700,1	3,69	390	1

Segunda Etapa de la Oxidación CNO <sup>-</sup> (ac) □ CO <sub>2</sub> (g) + N <sub>2</sub> (g)				
pH del agua residual	Dosis del agente oxidante Cl <sub>2</sub> /CN <sup>-</sup>	Potencial Redox en el punto de equivalencia (mv)	Tiempo de reacción sin ajuste del pH (días)	Tiempo de reacción con ajuste del pH (8,0 - 8,5) (min)
11,7	10,25	625	3	16
11,1	9,81	630	3	18
11,1	10,87	640	3	15
11,5	9,41	600	3	18
11,4	10,53	610	3	17
11,4	8,96	634	3	16

Tabla 6.2 Parámetros de Operación para los Procesos de Oxidación de Cianuros de las Aguas Residuales del Enjuague del Desengrase Electrolytico

**Caso 2.** Unidad de tratamiento de desechos en bache para la remoción de metales comunes por precipitación de hidróxido y sedimentación. <sup>(51)</sup>

El proceso de tratamiento de desechos en bache es el más simple de los arreglos para el tratamiento de aguas de desecho, con el cual se pueden realizar la remoción de metales por precipitación de hidróxido logrando un ajuste de pH, mezcla, floculación y clarificación satisfactorios en un solo tanques. Aunque normalmente se requiere de dos o más tanques de tratamiento para una operación eficiente ya que mientras un tanque se esta llenando el otro puede estar operando. Además de darla posibilidad de tratar el cianuro y el cromo hexavalente por separado.

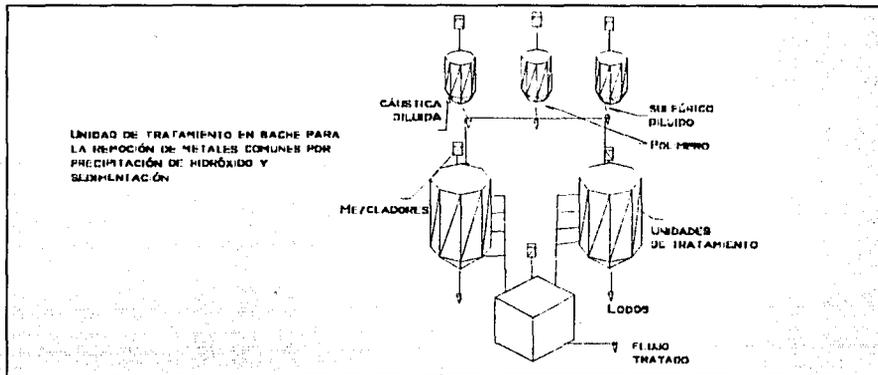


Fig. 6.4 Esquema de la unidad de tratamiento en bache para la remoción de metales comunes por precipitación de hidróxidos y sedimentación.

Secuencia:

- 1.- El tanque 1 se llena mientras el 2 esta en tratamiento.
- 2.- Cal, cáustica o ácido es agregado para un ajuste de pH para la precipitación de metal de hidróxido.
- 3.- Mezcla rápida (3-10 min. Dependiendo el tamaño.) Para mezclar los químicos agregados para el ajuste del pH.
- 4.- Se agrega un polímero para mejorar la floculación
- 5.- Mezcla lenta por 20 – 30 min. Para provocar la formación de floculos.
- 6.- Se permite el reposo del agua por 1 –3 horas para permitir la sedimentación de los floculos.
- 7.- Se realiza un segundo ajuste de pH en el otro tanque.
- 8.- Se extraen los lodos.
- 9.- Se descarga el flujo tratado.

<sup>(51)</sup> Kenneth D. Kerri. *Op. Cit.* Pag. 550.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**Caso 3.** Unidades de tratamiento en bache para la remoción de metales comunes por la precipitación de hidróxido para desechos concentrados. <sup>(52)</sup>

Los sistemas de tratamiento son un instrumento eficiente para tratar los desechos concentrados en bache que provienen de descargas repentinas de ácidos, soluciones de recubrimiento gastadas, limpiadores alcalinos y otras soluciones que podrían sobrepasar las capacidades de los sistemas de tratamiento continuo.

La mayoría de los sistemas de tratamiento separan las aguas de los enjuagues de las descargas en bache provenientes de soluciones concentradas que terminaron su vida útil, ya que estas presentan (1) bajo volumen, (2) alta concentración de contaminantes dos razones que favorecen a la separación para su tratamiento.

El buen control de las concentraciones a la descarga puede mantenerse si las concentraciones de contaminantes no varían ampliamente durante el tratamiento, situación que se presentaría al hacer la descarga de las soluciones concentradas a las aguas de enjuague.

Otra ventaja del tratamiento en bache es la referente a sólidos suspendidos, ya que es mejor y más económico manejar volúmenes pequeños con altas concentraciones que grandes volúmenes con concentraciones pobres y difíciles de extraer.

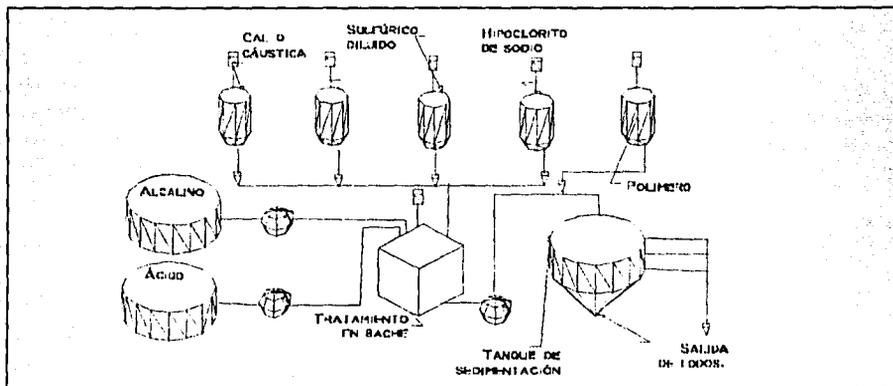


Fig. 6.5 Esquema de las unidades de tratamiento en bache para la remoción de metales comunes por precipitación de hidróxido y sedimentación para desechos concentrados.

<sup>(52)</sup> Ibid. Pag. 551

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Secuencia A para cianuro presente:**

1. - El desecho alcalino se traslada al tanque de tratamiento en bache. Se empieza a mezclar.
2. - Se realiza una cloración alcalina en bache, usando cáustica para modificar el pH a 10.5 - 11.5 y hipoclorito hasta oxidar todo el cianuro.
3. - Se hace un segundo ajuste de pH a 8.5-9.5 y se agrega hipoclorito Para la oxidación de cianato.
4. - Se bombea al tanque de sedimentación agregando el polímero.
5. - Después de 1-3 horas de sedimentación se realiza la descarga.
6. - Se extraen los lodos.

**Secuencia B para cromo hexavalente presente:**

1. - Se vacía el desecho ácido al tanque de tratamiento en bache. Se comienza el mezclado.
2. - Se realiza la reducción del cromo hexavalente, usando ácido sulfúrico se ajusta un pH de 2.0 o menor y se agrega bisulfito.
3. - Se agrega álcali para ajustar el pH a 8.5 o más para una precipitación hidroxida.
4. - Se bombea al tanque de sedimentación agregando el polímero.
5. - Después de 1-3 hrs. se descarga el agua tratada.
6. - Se extraen los lodos.

**Secuencia C Para desechos sin cianuro ni cromo hexavalente.**

1. - Se bombea ya sea desechos ácido o álcali al tanque de tratamiento en bache.
2. - Se comienza el mezclado.
3. - Se bombea ya sea desecho ácido o álcali para ajustar el pH a 8.5-9.5. Se realiza un ajuste final con cáustica o sulfúrico.
4. - Se realiza el bombeo de los desechos al tanque de sedimentación agregando polímero.
5. - Después de 1-3 hrs. de sedimentación se hace la descarga de los desechos.
6. - Se extraen los lodos.

**Caso 4. Unidad de tratamiento continuo para remoción de metales comunes por precipitación de hidróxido y sedimentación para las aguas de enjuague.**<sup>(53)</sup>

La mayoría de las industrias no practican el tratamiento en bache debido a los grandes flujos y el espacio requerido para las instalaciones. Las instalaciones de tratamiento continuo son usadas para tratar desechos con estas características, normalmente constan de varios tanques o unidades de tratamiento.

Cuando los rangos de flujo o concentración de contaminantes varían mucho es necesario contar con un tanque de equalización antes del tratamiento.

Las precipitaciones de metal se extraen del clarificador como lodos para su posterior disposición.

<sup>(53)</sup> ACS Medio Ambiente, S.A. de C.V. Manual de Instalación Operación y Tratamiento, México D.F. 1994.

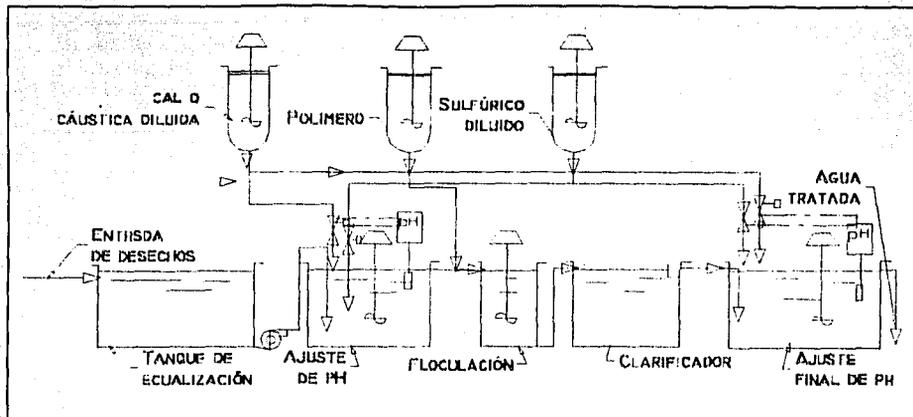


Fig.6.6 Esquema de la unidad de tratamiento continuo para remoción de metales comunes por precipitación de hidróxido y sedimentación para las aguas de enjuague.

Secuencia:

- 1.- Se ecualizan los flujos y las concentraciones.
- 2.- Se bombea hacia el siguiente tratamiento con un flujo uniforme.
- 3.- Se ajusta el pH agregando ácido o álcali para la precipitación de los metales pesados usando una mezcla rápida por 5 o 7 min.
- 4.- Cuando se realiza la transferencia del desecho al tanque de floculación se agrega el polímero para mejorar la floculación.
- 5.- Ya en el tanque de floculación se le da un mezclador lento para favorecer la formación de floculos de mayor tamaño.
- 6.- Se le permite al flujo el reposo en el clarificador por 1-3 hrs. Para la sedimentación por gravedad (retirando periódicamente los lodos).
- 7.- Ajuste final de pH.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **CAPITULO 7**

### **Sistema propuesto**

## VII.1 NECESIDAD

En todos los procesos de manufactura además de productos, se crean también inevitablemente materiales de desechos que son agresivos al equilibrio ecológico y a la salud de los seres vivos.

Este es el caso que se presenta en la producción de joyería de fantasía, en donde para lograr sus objetivos, se llevan acabo procesos mecánicos y electrolíticos, entre otros, que tienen como resultado la contaminación de grandes volúmenes de agua, mismos que deben de ser tratados para poder cumplir con los límites de concentración de contaminantes en las aguas de desecho, establecidos por los organismos gubernamentales por medio de normas y reglamentos, los cuales garantizan un efecto inofensivo de las aguas de desecho a la naturaleza.

Conforme a un estudio realizado por un laboratorio registrado al Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas de Conformidad con la Ley Federal sobre Meteorología y Normalización, para determinar la concentración de contaminantes en las aguas de desecho de una empresa manufacturera de joyería de fantasía y fina, generadas en su área de galvanoplastia.

Por medio de los análisis fisicoquímicos y de metales (Ver anexo A), se determinaron varias violaciones a los límites de descarga de sus aguas de desecho, provenientes de los procesos de manufactura que en dicha empresa se llevan acabo, estas violaciones corresponden a la concentración de cadmio, cobre, níquel, plomo y cromo hexavalente.

Aunado a esto se tiene que existen muchos otros parámetros y concentraciones de metales cerca de los límites para la descarga tales como sólidos suspendidos totales, DBO, grasas y aceites, que podrían fácilmente exceder los límites, esto provocado por un ritmo de producción elevado o a un crecimiento de la infraestructura de la empresa.

Todo lo anteriormente mencionado podría ocasionar a la empresa VERSATO sanciones, aplicadas por la SEMARNAT y las cuales pueden ser:

- 1 - Multa por el equivalente de veinte a veinte mil días de salario mínimo general vigente del Distrito Federal, en el momento de imponer la sanción.
- 2 - Clausura temporal o definitiva principal o total, cuando conociéndose la peligrosidad de un residuo peligroso, en forma dolorosa no sé de a este manejo previsto por el reglamento y las normas técnicas ecológicas correspondientes.
- 3 - Arresto administrativo por 36 horas

Situación que hace necesaria la implementación de un sistema de minimización, recolección, tratamiento, reciclaje, transporte y disposición final de las aguas de desechos del área de galvanoplastia de esta empresa, que precisamente es donde se producen las violaciones a las normas NOM-002-ECOL/96 Y NOM-001-ECOL/96. Dicho sistema deberá garantizar el cumplimiento con la normatividad y reglamentación vigente para las descargas de aguas residuales industriales (ver capítulo V), establecidos por la Secretaria del Medio Ambiente

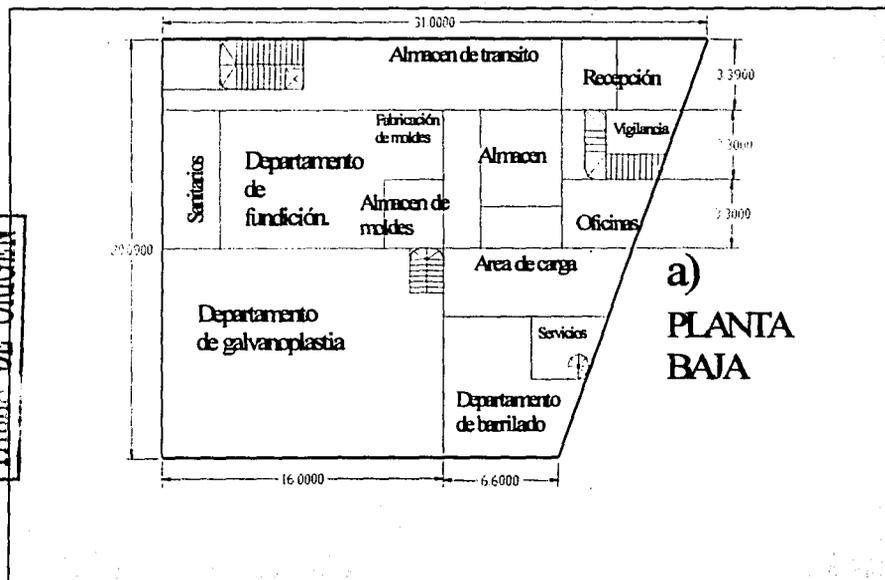
Recursos Naturales (SEMARNAT) a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) que a su vez determina que en el Distrito Federal el organismo regulador será la Secretaría del Desarrollo Urbano y Ecología, la subsecretaría de Hidrología y suelo y la secretaria de control y prevención de la contaminación

### 7.1.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

El objetivo de esta empresa (VERSATO S.A. de C.V.) es la manufactura de joyería de fina (oro, plata, paladio, etc.) y fantasía. El ritmo de producción de la instalación es de 35'000 piezas por turno. Las instalaciones para la elaboración y manejo de dichos productos son:

1. Área de modelaje y diseño.
2. Área de fabricación y vulcanizado de moldes.
3. Área de fundición.
4. Área de desbaste y abrillantado de piezas (Departamento de barrilado).
5. Área de limpieza y acabado electrolítico (Departamento de galvanoplastia)
6. Área de terminación y preparación final del producto.
7. Área de empaque y entrega al cliente.

El alcance físico de arreglo en planta se muestra en la figura 7.1. y el diagrama de flujo de la línea de proceso se aprecia en la figura 7.2.



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

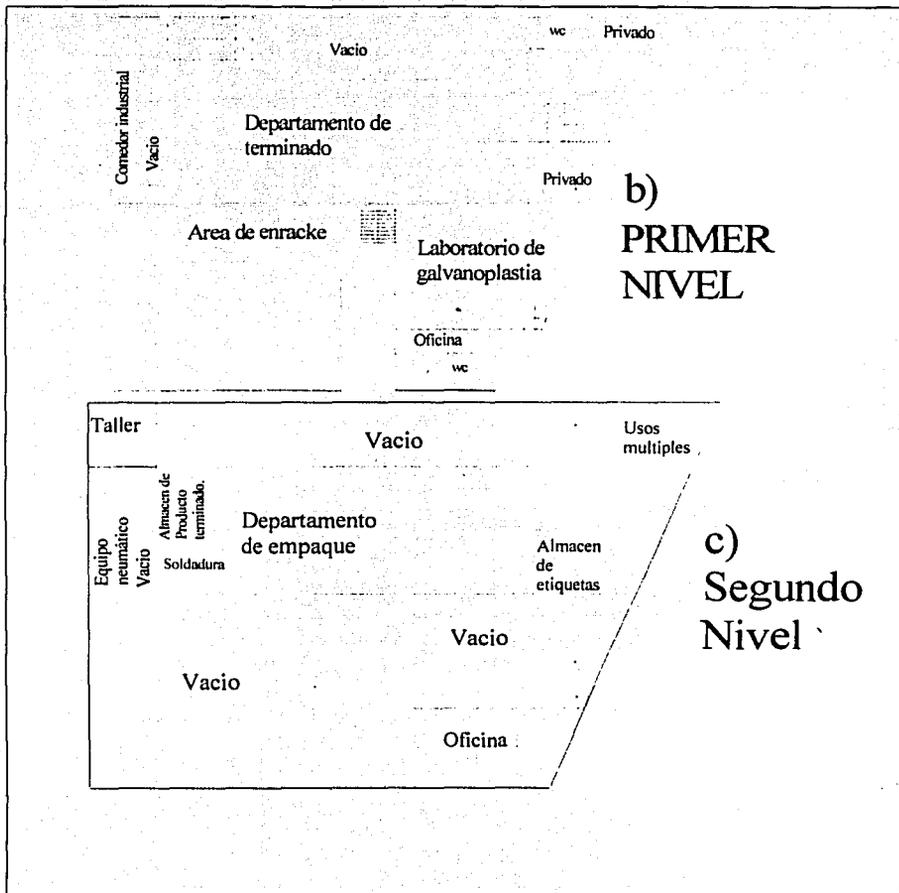


Fig. 7.1 Arreglo físico de la planta de joyería.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Fig. 7.2 Diagrama de flujo.

La contaminación del agua se presenta fundamentalmente en el departamento de galvanoplastia, debido al uso de grandes cantidades de agua, específicamente en los baños de recubrimiento y en los baños de enjuague (como se especifico en la sección 2.2.6 del capítulo II de este trabajo). Ver figura 7.3, y anexo F.

Además de la contaminación del agua generada en el departamento de galvanoplastia se encuentra aquella generada en otros departamentos, como en el departamento de barrilado; pero estas no se consideran para el diseño de este sistema ya que son de menor proporción.

El proyecto para la realización de un sistema de tratamiento de aguas residuales como complemento al área de galvanoplastia de acabados electrolíticos, se presenta en un momento oportuno para esta empresa que se encuentra desarrollando una nueva planta de galvanoplastia que permitirá la ampliación de la capacidad productiva de la misma y modernizara el proceso tecnológicamente y permitirá cubrir oportunamente las necesidades crecientes del mercado.

Este hecho permitirá que el diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales, se adecue a

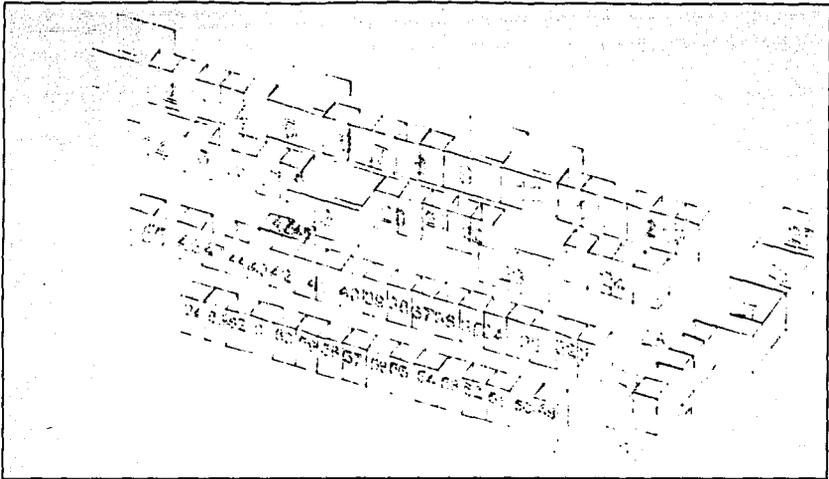
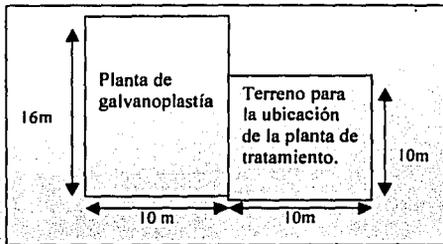


Fig. 7.3. Disposición de los tanques en el departamento de galvanoplastía.

las necesidades específicas de tratamiento, se organice de la manera más sencilla y económica posible, además de involucrarse métodos de prevención de la contaminación en lugar del empleo de tratamientos. Además de contar con un terreno aledaño de  $100 \text{ m}^2$ . Donde se podrá realizar la construcción e instalación de equipos para la planta de tratamiento de las aguas residuales de esta planta de galvanoplastía, la localización de este predio la muestra la figura:



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig 7.4 Ubicación del predio para la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Las piezas que normalmente se recubren en el área de galvanoplastía son:

- Anillos
- Cadenas
- Dijes
- Esclavas
- Aretes
- Brazaletes

Los tratamientos y recubrimientos que son aplicados a estas piezas, son generalmente los mismos, los cuales requieren de:

- Semejantes parámetros de los baños tales como intensidad de corriente, voltaje, temperatura, concentraciones de metales o aditivos, etc.
- Los mismos tiempos de estancia en los baños. Por consiguiente el mismo espesor de recubrimiento, considerando una misma intensidad de corriente..
- Los mismos metales de recubrimientos.
- El mismo orden para aplicar los recubrimientos (a excepción de algunos cuantos casos).
- Los mismos aditivos para los baños, requeridos para el brillo, color, pureza, uniformidad del recubrimiento, viscosidad, etc.

Estando todos estos parámetros sujetos a las requisiciones de los clientes, mercado o tendencias. Los tratamientos y recubrimientos aplicados se muestran a continuación:

- |                                                   |                                                                         |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1.) Desengrasado electrolítico y con ultrasonido. | 5.) Neutralizado                                                        |
| 2.) Activado.                                     | 6.) Recubrimiento con metales preciosos<br>(Oro, paladio, plata, rodio) |
| 3.) Cobrizado alcalino y ácido.                   | 7.) Cromación.                                                          |
| 4.) Niquelado                                     |                                                                         |

Los recubrimientos de las diferentes piezas que son producidas por esta empresa, son aplicados con diferentes dispositivos para sujetar o contener las piezas, dichos dispositivos son racks (colgado), dispositivos para cadena y barril (granel).

Los parámetros usuales de los baños son:

Parámetro	Voltaje	Amperaje	Temperatura	pH	Concentración
<b>Desengrase Alcalino y Ultrasonido</b>	5-12 v.	100-150 amp/m <sup>2</sup>  Frecuencia 21-45 Khz.	48 a 53 °C	8 -10	Hidróxido de sodio = .5-2 lbs/gal Agentes secuestrantes Detergentes = 6-12 oz/ gal
<b>Activado</b>	5-12 v.	0	Ambiente	2-4	5-10% de ácido sulfúrico
<b>Cobre Ácido</b>	5-12 v.	20-100 Amp/ m <sup>2</sup>	Ambiente	2-3.5	Sulfato de cobre = 250 g/l Ácido sulfúrico = 100 g/l Aditivos de brillo = 6 g/l
<b>Cobre Alcalino</b>	5-12 v.	60 Amp/m <sup>2</sup>	Ambiente	10-11	CuCN = 40-60g/l, KCN = 100g/l, K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> = 15g/l, KOH = 15g/l O CuCN = 40-60g/l, NaCN = 100g/l, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> = 15g/l  NaOH = 15 g/l
<b>Niquelado</b>	5-12 v.	20-100 amp/m <sup>2</sup>	45-70 °C watt	3.5-4.5	Sulfato de Niquel = 290 g/l Cloruro de niquel = 50 g/l Acido bórico = 40 g/l
<b>Metales preciosos</b>	5-12 v.	5-80 amp/ m <sup>2</sup>	ambiente		

El arreglo físico de los tanques de tratamiento en la planta de galvanoplastía se muestra en el anexo F. Determinándose de estos tanques, los volúmenes de agua de desecho que actualmente son descargados al sistema de drenaje y siendo estos:

Tipo de agua de desecho	Tanques (número total)	Volumen desechado / 8Hrs
Diluidas ácidas (enjuagues)	4 <sup>1</sup> , 8 <sup>1</sup> , 11 <sup>2</sup> , 13 <sup>1</sup> , 18 <sup>1</sup> , 22 <sup>1</sup> , 24 <sup>3</sup> , 28 <sup>3</sup> , 33 <sup>1</sup> , 41 <sup>1</sup> .  No. de tanques = 25	25 tanques de 200 lts.  25 × 200 = 5000 lts.
Diluidas alcalinas (enjuagues)	2 <sup>1</sup> , 16 <sup>1</sup> , 62, 63, 64. No. de tanques = 7	7 tanques de 200 lts. 7 × 200 = 1400 lts.
Cianuradas (enjuagues)	6 <sup>1</sup> , 20 <sup>1</sup> . No. de tanques = 4	4 tanques de 200 lts. 4 × 200 = 800 lts.
Cromo hexavalente (enjuagues)	65 <sup>1</sup> . No. de tanques = 2	2 tanques de 200 lts. 2 × 200 = 400 lts.
<b>Volumen total de aguas de desecho diluidas</b>		<b>Total = 7600 lts.</b>

Tipo de agua de desecho	Tanques (número total)	Volumen desechado / de generación aleatoria.
Concentradas alcalinas	1, 14, 15  No. de tanques = 3	1 tanque de 1152 lts. = 1152 lts 1 tanque de 400 lts. = 400 lts. 1 tanque de 200 lts. = 200 lts. = 1752 lts.
Concentradas con cromo hexavalente	47, 48	2 tanques de 200 lts. = 400 lts. = 400 lts.
Concentradas cianuradas	5, 19.	1 tanque de 1152 lts. 1 tanque de 1440 lts. = 2592 lts.
Concentradas ácidas	3, 7, 9, 10, 12, 17, 21, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 40.	9 tanques de 200 lts. = 1800 lts. 5 tanques de 1152 lts = 5760 lts. 2 tanques de 1440 lts = 2880 lts. = 10440 lts.
<b>Volumen total de aguas de desecho concentradas</b>		<b>Total = 15184 lts.</b>

<sup>1</sup> Tanque doble.

<sup>2</sup> Tanque triple.

<sup>3</sup> Tanque cuádruple.

Observándose que la generación de desechos concentrados ya sean cianuradas, ácidas, alcalinas o con cromo VI se presenta en el caso en que los baños se contaminan o salen fuera de parámetros de funcionamiento y ya no pueden ser restablecidos. Situación que se presenta muy pocas veces en esta empresa, pero que se contemplara para casos de emergencia.

Dicho volumen rebasa varios límites de parámetros para la descarga de aguas residuales al drenaje municipal, por lo que se hace necesario el tratamiento, ya que actualmente los únicos tratamientos que actualmente se llevan a cabo son la recuperación de metales preciosos y la neutralización de las aguas de desecho ácidas con las aguas de desecho alcalinas, por medio de las descargas de estas al mismo tiempo, situación que provoca paralelamente el peligro de la formación de gases tóxicos como el de cianuro.

### 7.1.2 REQUERIMIENTOS

Actualmente la contaminación del agua es uno de los problemas que más preocupa los organismos gubernamentales, esto debido a la probable escasez de esta en un futuro y por lo mismo se provoca que las medidas de regulación se vuelvan más exigentes. Situación que obliga a empresas como ésta a cambiar, modernizarse y organizarse, para convertir su industria en una que sea lo menos ofensiva al agua y medio ambiente.

Actualmente el hecho de generar aguas residuales que se desechan al drenaje provoca la necesidad de cumplir con los requisitos legales que los organismos de protección al ambiente determinan y que son:

- El registro de las empresas generadoras de residuos peligrosos según lo expuesto en la sección 5.4 de este trabajo.
- Un apropiado control de los residuos peligrosos que en la empresa se generen de acuerdo a la sección 5.5 de este trabajo.
- El registro como fuente fija y de descarga de aguas residuales, así como el seguimiento de los requerimientos que se generen por esto según lo expuesto en la sección 5.7 de este trabajo.

Por lo que se hace necesario el diseño e implementación de un sistema de minimización, manejo y tratamiento que garantice el cumplimiento de los límites para la descarga de aguas residuales establecidos por las normas NOM-002-ECOL/96 Y NOM-001-ECOL/96. Ver anexo G.

Dicho sistema deberá cumplir además con los reglamentos y normas ya mencionados en el capítulo 5 de este trabajo.

### VII.2 OBJETIVOS.

El objetivo de este capítulo es diseñar e implementar un sistema de tratamiento de agua residual para esta de empresa, que permita resolver los problemas que genera el manejo, producción y control de residuos peligrosos, generados por los diversos procesos de manufactura que involucra la fabricación de joyería y a su vez cumplir con las normas nacionales que implican la conservación del medio ambiente y equilibrio ecológico. Entre otros objetivos que se mencionan a continuación:

- Diseñar e implementar un sistema de tratamiento de agua residual para el área de galvanoplastia de una empresa manufacturera de joyería, que le permita cumplir con los límites para la descarga aguas residuales industriales de acuerdo a la normatividad y reglamentación vigente.
- Mostrar las diferentes formas en que se genera el agua de desecho en esta empresa.

- Revisar las oportunidades de minimización de la contaminación del agua en esta empresa para así poder aplicarlas posteriormente.
- Garantizar la seguridad de los trabajadores e instalaciones en las áreas de trabajo.

Así mismo este sistema debe contribuir ampliamente en los sistemas de calidad y mejora continua del producto en esta industria como son:

1. Satisfacer a los clientes nacionales e internacionales.
2. Eliminar desperdicios.
3. Elaborar productos libres de defectos. Practicas que evitan la contaminación del agua.
4. Asegurar una mejora continua.

### VII.3 SISTEMA

El sistema que se diseña para esta empresa incluye no solo una planta de tratamiento para las aguas de desecho generadas en el área de galvanoplastia; si no también, proposiciones de cambios de los procesos y procedimientos llevados a cabo en esta área, para poder así tener una reducción en los volúmenes, frecuencia, concentraciones, toxicidad de las aguas de desechos producidas.

Así como también proponer medidas para aumentar la seguridad de los trabajadores e instalaciones.

Las partes que conforman este sistema son:

#### 1.) Lista de chequeo para la prevención y minimización de generación de aguas residuales.

- Buenas practicas de operación.
- Sustitución de materiales
- Modificaciones de Proceso
- Reuso y reciclaje de materiales

#### 2.) Planta de tratamiento

- Sistema de colección.
- Fosas de recolección y equalización.
- Unidad de oxidación de cianuro.
- Unidad de reducción de cromo hexavalente.
- Tanques de neutralización 1 y 2.
- Clarificador.
- Filtro de arena.
- Tanque de ajuste final de pH.

3.) Químicos utilizados en los tratamientos del agua residual.

- Especificaciones de los químicos.
- Seguridad necesaria para el manejo de estos.

**7.3.1 LISTA DE CHEQUEO PARA LA PREVENCIÓN Y MINIMIZACIÓN DE LA GENERACION DE AGUAS RESIDUALES.**

Se advierte la necesidad de contar con una guía que permita la localización de las oportunidades para la minimización de la contaminación tanto en la planta de galvanoplastia como en la planta de tratamiento, dicha guía será el resultado de la revisión de la factibilidad para estas plantas de todas las oportunidades de minimización señaladas en el capítulo 3 del presente trabajo. Aunado a esto se requiere de la capacitación de los empleados, con el objeto de que estos tengan los conocimientos sobre donde y como es generada la contaminación, y poder así identificar y resolver problemas generados tanto en la planta de tratamiento como en la planta de galvanoplastia y aplicar procedimientos para la prevención que resulten en la reducción de la generación de las aguas de desecho.

Para tal objeto se elabora la lista de chequeo que ayudara a identificar problemas y localizar oportunidades de minimización. Dicha lista de chequeo será implementada tanto en la planta de galvanoplastia como en la de tratamiento, buscando la reducción del volumen y toxicidad de aguas de desecho a ser tratadas y por lo tanto, reducción en los costos de tratamiento.

La lista de chequeo desarrollada para este sistema es:

a) Buenas practicas de operación	b) Sustitución de materiales	c) Modificación del proceso	d) Reuso y reciclaje de materiales
		Segregación de los desechos	Reutilizar las aguas de enjuague
Establecimiento de procedimientos para el cuidado de la materia prima en la compra almacenamiento y empleo.	Lamentablemente la sustitución de baños con cianuro y cromo hexavalente son hasta ahora alternativas no viables para esta empresa en donde se requiere que el terminado tenga la mejor calidad y brillo posible	Modificación del tipo de enjuague	Separación electrolítica de los iones metálicos
Filtración de los baños de tratamiento y desengrase		Viscosidad del baño	
Capacitación de los empleados		Agitación en tanques de enjuague	

A). Buenas practicas de operación

1.-Con la finalidad de evitar el desperdicio de los químicos y materia prima se establecen procedimientos, los cuales indicaran a los empleados y operario pasa a paso los procesos, practicas y cuidados que se deben de tomar con estos para evitar la generación de contaminantes en el agua. Dichos procedimientos se muestran en el Anexo H.

2. - Con la finalidad de mantener en optimas condiciones y prologar la vida de los baños de recubrimiento se pondrán en funcionamiento filtraciones periódicas a estos. La filtración sirve para eliminar partículas e impurezas no disueltas. El tipo y origen de estas impurezas son muy variables

La filtración es una medida de carácter exclusivamente físico. Los residuos generados son restos de electrolito junto con filtros usados y que deberán gestionarse correctamente. La filtración es recomendable para todos los baños de recubrimiento.

Considerando el estudio de campo realizado y reportado en el capitulo VI de este trabajo se emplea un filtro semejante al utilizado por la empresa INDUS, el cual aumenta la vida útil de dichos baños hasta en un 30 %. Dicha filtración se hará con el filtrobomba marca BOFIL, tipo 1600 -K -M que tienen las siguientes características:

Caudal l/h	Carga M	Area de filtrado dm <sup>2</sup>	Medio filtrante	Ent mm	Sal mm	KW	HP	Volts	Amp	Peso
1600	3 1/2		1 cartucho de 20'', 10 micrón	19	19	0.075	1/10	220-240	1,1-1,3	10

- 1 Motor estándar AC, 3 fases, 50 ciclos, 2760 r.p.m.
- 1 cartucho de filtración.
- 1 colador de succión.
- 1 interruptor de motor.
- 1 Cordón 5m.

3. - Otro de los cambios en cuanto se refiere a buenas practicas de operación es la capacitación del personal de las áreas compras, almacén, galvanoplastía y tratamiento. La capacitación sugerida será sobre los temas de:

- I.- Características de los materiales y sustancias empleados.
- II.- Cuidados que se deben de tener con el manejo y empleo de los materiales y sustancias.
- III.- Procesos en la galvanoplastía.
- IV.- Oportunidades de minimización de la contaminación desde la compra, almacenaje y en la planta de galvanoplastía y planta de tratamiento.
- V.- Que hacer en casos de emergencia.

Dichos cursos de capacitación deberán de ser tomados por todo aquel personal que labore en las áreas donde se utilicen los materiales, sustancias y equipos que tengan repercusión en la contaminación del agua. Entre los que se incluyen:

- Responsable o jefe del área o departamento de compras de compras.
- Responsable o jefe del área o departamento de almacén.
- Responsable o jefe del área o planta de galvanoplastia.
- Responsable o jefe del área o planta de tratamiento.
- Todo el personal a cargo de los responsables área.

b). – La sustitución de materiales es una buena practica de operación que por el momento no representa una alternativa aplicable a esta empresa, ya que hasta ahora no se puede alcanzar el nivel de calidad de terminado de las piezas con diferentes sustancias o materiales a los usados actualmente. Además de que una alta calidad del los terminados es una de las condiciones que ponen los dirigentes de las empresas para poder dar marcha a proyectos como este.

c). – Modificación del proceso

1. - La segregación de los desechos es una practica que permite dar un mejor tratamiento a cada uno de los tipos de desechos generados, dando la oportunidad de identificar sus características y encontrar el mejor método de tratamiento.

En este caso particular, la segregación de las corrientes de desecho permitirá darle el tratamiento adecuado a las corrientes de desecho con cianuro, cromo hexavalente, grasas y aceites, ácidos y bases con metales disueltos, permitiendo también el poder reusar algunas de estas para el tratamiento de otras, como es el caso de los desechos ácidos y alcalinos. Además de esta manera se impiden reacciones indeseables que se generan al mezclar los diferentes desechos entre los que se tiene la generación de gas de cianuro al mezclarse los desechos de cianuro con desechos ácidos y la formación de complejos que son muy difíciles de tratar.

La segregación de los desechos se realizara mediante el sistema de colección, sistema que forma parte de la planta de tratamiento y que por lo tanto se desarrollara en esa sección.

2. - Con la finalidad de contaminar un menor volumen de agua en los enjuagues de los baños, se determina la necesidad de un cambio para la mejora en la forma en que se aplica el enjuague a las piezas después del baño de recubrimiento. Actualmente se realiza por inmersión en los tanques de enjuague; pero que provoca los volúmenes de aguas residuales antes mencionados, siendo una alternativa de menor contaminación de agua los enjuagues por rocío que puede disminuir la generación de aguas residuales hasta en un 50%.<sup>(54)</sup>

Dicho sistema de enjuague aprovecha la fuerza del impacto del agua sobre las piezas para eliminar el agua de arrastre sobre ellas, haciendo el uso del agua más eficiente. La implementación de este sistema se realizara con utilización de las líneas de aire comprimido de 33 psi. ya existentes, para la agitación de los baños de recubrimiento y que en este caso se utilizara para los aspersores en los primeros tanques de enjuague de cada uno de los tanques de recubrimiento y para la agitación de los tanque de enjuague por inmersión. La figura 7.5. muestra el resultado en los tanques de la aplicación de esta medida de prevención.

<sup>(54)</sup> Portal del Ingeniero Ambiental. Residuos Industriales, [www.ingenierosambientales.com/inf/residuosindustriales/htm](http://www.ingenierosambientales.com/inf/residuosindustriales/htm)

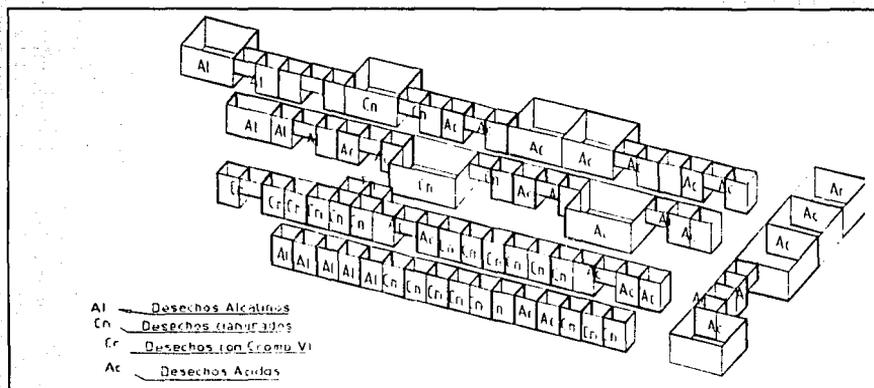


Fig. 7.5 Disposición de los tanques después de aplicar las medidas de prevención de la contaminación.

### 7.3.2 PLANTA DE TRATAMIENTO "77 AE".

La planta para tratamiento químico-físico de las aguas residuales del área de galvanoplastia es diseñada para realizar las siguientes operaciones de acuerdo a consideraciones tomadas después del estudio de campo mostrado en el capítulo VI de este trabajo y a información documentada de diferentes sistemas de tratamiento:

- Ecuilización /Colección/Separación Ácidos, Alcalinos, cianuros y Cromo 6+.
- Oxidación de Cianuro.
- Reducción de Cromo Hexavalente.
- Neutralización1/Ajuste de pH..
- Neutralización2/Ajuste de pH.
- Coagulación/Mezcla rápida /Floculación/Mezcla lenta./Clarificación por sedimentación por gravedad.
- Separación de partículas suspendidas por filtración con arena.
- Ajuste final de pH.

Por las condiciones en que las aguas de residuales son producidas (frecuencia) dicha planta de tratamiento es de operación en bache, designado como Modelo "77AE".

Fue calculada, diseñada según los datos preliminares que se indican a continuación y que son resultado de la aplicación de las medidas de minimización por medio de la lista de chequeo las cuales lograrán una reducción del 29.5 % lo cual se confirma con el artículo "Residuos Industriales", en donde se muestra el resultado de la implementación de una medidas de minimización que resultaron en la reducción del volumen de hasta el 90 %.

Considerando que la planta labora un promedio de 25 días al mes, se tiene:

Volumen promedio de descarga de aguas residuales cada ocho horas antes de la implementación de las medidas de minimización de la contaminación.	Volumen promedio de descarga de aguas residuales cada ocho horas después de la implementación de las medidas de minimización de la contaminación.
<b>8232 lts.</b>	<b>5802 lts.</b>

Por lo que se obtiene una reducción en el volumen descargado de 2430 lts, lo que representa como ya se menciono una reducción equivalente al 29.5 %. Donde se observará los siguientes volúmenes descargados:

<b>INFLUENTE</b>	<b>VOLUMEN lts/8 hrs.</b>
Corriente de Aguas Residual: Generales Alcalinas	1100 max.
Corriente de Aguas Residuales Generales Ácidas	3600 max.
Corriente de Aguas Residuales con Cromo +6	300 max.
Corriente de Aguas Residuales Cianuradas	600 max.
<b>TOTAL</b>	<b>5600 lts.</b>
<b>INFLUENTE</b>	<b>VOLUMEN lts aleatorios</b>
Corriente de Aguas Residuales Alcalinas Concentradas	1752 max.
Corriente de Aguas Residuales Concentradas con Cromo +6	400 max.
Corriente de Aguas Residuales Concentradas con Cianuro	2592 max.
Corriente de Aguas Residuales Ácidas Concentradas	10440 max.
<b>TOTAL</b>	<b>15184 lts.</b>

Encontrándose que los contaminantes principales que deberán ser combatidos para el cumplimiento de las normas y reglamentos son:

- Grasas y Aceites.
- Cianuro CN.
- Cromo Hexavalente +6.
- Metales Pesados en general.
- Sólidos suspendidos

### 7.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS.

Las condiciones y parámetros de los procesos son diseñados y establecidos de acuerdo con lo observado y recomendado por la investigación documentada, investigación de campo, bibliografía consultada y experiencia de personas que laboran en el campo.

#### 7.3.2.1.1 TRATAMIENTO QUÍMICO.

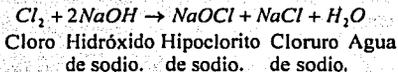
##### A). Oxidación de Cianuro.

La oxidación del cianuro se realizara en un tanque rectangular utilizando cloro como oxidante. El proceso se lleva acabo en dos reacciones, a un pH alcalino de 10.5 unidades en la primera reacción de oxidación (de cianuros a cianatos), en la segunda con un pH ligeramente mas bajo de 9-9.5 (cianatos a dióxido de carbono y nitrógeno) parámetro que será controlado con un sensor de pH y uno ORP, reacciones que por lo menos necesitan de (30) treinta minutos de retención dependiendo del tipo de desecho, concentraciones de contaminantes y pH.

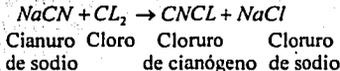
La fuente de cloro será de aproximadamente 6.1 Kg de hipoclorito de sodio al 100 % por cada kilogramo de cianuro de sodio, siendo utilizado un sensor para medir y mantener y el potencial de oxido reducción (ORP) a un valor de 500 mV para la primera fase y 600 mV para la segunda.

Para garantizar contar con una concentración de cloro suficiente para la oxidación de cianuro se deberá de tener una concentración de por lo menos 10 mg/L de cloro libre.

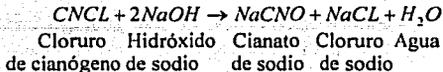
Antes que nada cabe señalar la reacción por la cual se produce el hipoclorito de sodio:



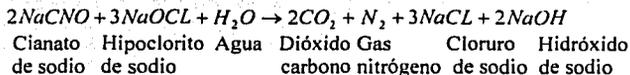
La oxidación se realiza de acuerdo a las siguientes reacciones, que muestran la reacción para el cianuro de sodio; aunque cabe aclarar que se encuentran otros cianuros, los cuales pueden ser destruidos de la misma manera. Para la primera reacción de oxidación se tiene:



Entonces el cloruro de cianógeno reacciona con el hidróxido de sodio y forma cianato de acuerdo a:



Para la segunda reacción de oxidación se tiene:

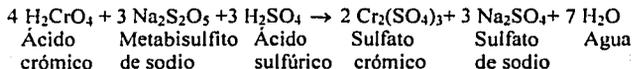
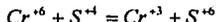


Los efluentes concentrados con cianuros serán dosificados al sistema de oxidación junto con los efluentes diluidos (enjuagues), los cuales serán equalizados en las fosas de recolección para tales. Los efluentes tratados por oxidación de cianuro serán enviados directamente a las fosas de recolección general de alcalinos por gravedad.

### B) - Reducción de Cromo Hexavalente.

La reducción de cromo hexavalente se lleva a cabo por una sulfatación ácida. Reduciendo el pH a 3.0 unidades con ácido sulfúrico y adicionando metabisulfito de sodio, hasta alcanzar un valor de 250 mV en el potencial de oxido-reducción. El cromo hexavalente (café) es reducido a trivalente (verde). EL cromo hexavalente es muy soluble en todo el rango de pH y no puede ser precipitado de forma económica de la solución, mientras que el cromo trivalente es fácilmente precipitado como hidróxido de cromo por un simple ajuste de pH alcalino, el cual será aplicado una vez que estos desechos hallan sido agregados a los desechos generales ácidos para su posterior tratamiento en la planta.

La reacción de reducción de cromo VI se presenta como sigue:



Aproximadamente se utilizan 1.5 Kg de metabisulfito ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) y 1.4 Kg de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) para reducir un Kg de ácido crómico. Aunque las cantidades necesarias se determinarán una vez funcionando la planta de tratamiento y llevando acabo pruebas que se adecuen específicamente a las características de los desechos generados.

El tanque en la reducción del cromo hexavalente deberá de contar con un agitador y el tiempo de retención 25 minutos. Este tiempo puede variar dependiendo de los desechos, pH y concentraciones de cromo.

Los efluentes concentrados con cromo hexavalente serán dosificados al sistema de reducción junto con los efluentes diluidos.

Los efluentes tratados por reducción de cromo hexavalente serán enviados directamente a las fosas de recolección general de ácidos por gravedad.

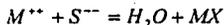
**C). Neutralización1/Ajuste de pH.**

Una vez agregados y equalizados todas las corrientes de las aguas residuales en la fosa de equalización, estos serán transportados al tanque para la Neutralización1/Ajuste de pH, donde se llevará a cabo la neutralización y el ajuste de pH correspondiente de la corriente general, el pH será modificado primero con las mismas aguas de desecho general, ya sean alcalinas o ácidas con la finalidad de alcanzar un pH de 8 a 9, esto debido a que el cobre y cromo trivalente tienen una limitada solubilidad en este punto.<sup>(55)</sup>

Debido a la superioridad en volumen de la corriente de desechos ácidos, se pronostica que con el resultado de la mezcla de las corrientes generales ácidas y alcalinas no se logrará alcanzar el nivel de pH requerido y por lo tanto se recurriría a la adición de calcio (cal) en el caso de un pH menor al rango de pH deseado; aunque si por alguna razón el valor de pH fuera mayor se adicionará ácido sulfúrico.

La reacción retendrá el agua residual durante (10) diez minutos y con un rango de mezclado de por lo menos (3) cambios de volumen por tanque por minuto.

En esta fase del tratamiento será dosificado un secuestrante de metales. Este secuestrante es utilizado con la finalidad de atrapar a los metales pesados que pudieran disolverse en el siguiente tanque cuando el pH se ajuste nuevamente a diferente valor. Este secuestrante es una solución de dimetilditiocarbonato de sodio. Dicho secuestrante se suministrará al sistema en el volumen especificado por el proveedor de este, el cual va de acuerdo al tipo de ion metálico que se desee secuestrar. Aunque realmente la dosis se determine mediante pruebas de jarras. Atrapados los metales de esta manera son totalmente insolubles a diferentes valores de pH.



Los efluentes concentrados alcalinos y ácidos provenientes de los baños de tratamiento serán dosificados a la fosa de recolección de aguas residuales generales:

**D). Neutralización2/Ajuste de pH2.**

En el mismo tanque se lleva a cabo la Neutralización2/Ajuste de pH2, esto es, se lleva a cabo un segundo ajuste de pH con la finalidad de precipitar los metales que en la etapa anterior no se precipitaron y permanecieron solubles o disueltos en cantidades mayores a las permitidas por las normas, esto debido a que tienen diferentes niveles óptimos de pH, tal es el caso del níquel y del cadmio. El pH de agua a tratar es alcalino de entre 8.5 a 9.5 unidades. Agregando hidróxido de sodio se ajusta el pH hasta 10.5 unidades que es el valor óptimo promedio de pH para la precipitación del níquel y cadmio.<sup>(56)</sup>

La zona de reacción retendrá el agua de (10) diez minutos y con un rango de mezclado de por lo menos (3) cambios de volumen por tanque por minuto.

<sup>(55)</sup> Kenneth D. Kerri. Op.Cit., Pag. 556

<sup>(56)</sup> Id.

**E). – Coagulación/Mezcla rápida/Floculación/Mezcla lenta.**

Este proceso se llevara a cabo ya en los compartimentos del clarificador destinados para tales propósitos. Las etapas anteriores habrán convertido a los componentes solubles a partículas insolubles suspendidas, con una gravedad específica mayor a la del agua.

Debido a que se pretende asegurar el cumplimiento con las regulaciones ambientales en México, las cuales son muy estrictas, es necesario agregar un polímero catiónico, (formado de cloruro de aluminio polimerizado con un polielectrolito de alto peso molecular catiónico), que atrapa los floculos formados en Neutralización/Ajuste de pH, que se añade en la etapa de Coagulación/mezcla rápida. Este polímero es dosificado con la finalidad de crear una mejor floculación en combinación con el polímero aniónico agregado posteriormente en la etapa de floculación

En la coagulación se provee una a mezcla rápida por 25 a 30 segundos, permitiendo dispersar adecuadamente el polielectrolito en el agua previamente tratada.

Después en el siguiente compartimento del clarificador, la cámara de floculación, se provee de una agitación suave por aproximadamente 10 minutos que permitirá las condiciones óptimas para la aglomeración de las partículas y un polielectrolito orgánico/aniónico que es agregado, estas partículas se aglomeran (floculan) formando una masa de suficiente densidad para sedimentar. Las masas aglomeradas no deberán estar sujetas a condiciones turbulentas después de su formación, de tal manera que a partir de este punto el flujo deberá de ser no-turbulento. La corriente residual con partículas suspendidas saldrá del fondo de la zona de floculación, entrando directamente a la zona de placas del clarificador.

**F). Ajuste Final del pH del Agua Clarificada.**

La corriente clarificada y filtrada es neutralizada a un pH uniforme de 7.0 unidades, utilizando ácido sulfúrico o hidróxido de calcio, según sea el caso.

**7.3.2.1.2 TRATAMIENTO FÍSICO.****A). Colección/ Ecuilización/Segregación de las corrientes de desechos**

Las diferentes corrientes de agua de desecho alcalinas, ácidas, cianuradas, con cromo 6+, ya sean concentradas o diluidas serán conducidas por medio del sistema de colección, antes de su tratamiento o después de este, los objetivos de este sistema es dirigir cada uno de los flujos de agua residuales provenientes de los baños a la fosa de recolección que les corresponda, siendo estos:

- Dirigir por medio de gravedad las corrientes de agua residual de los baños alcalinos y ácidos, tanto diluidos como concentrados a la fosa de recolección general, para su posterior tratamiento en los tanques de neutralización.
- Canalizar las corrientes de aguas residuales de los baños concentrados y diluidos con cianuros a la fosa de recolección de estos, para su posterior dosificación al tratamiento de oxidación de cianuro en el tanque destinado para esto.
- Canalizar las corrientes de aguas residuales de los baños concentrados y diluidos con cromo hexavalente a la fosa de recolección de estos, para su posterior dosificación al tratamiento de

reducción de cromo 6+ en el tanque destinado para esto.

- La canalización de las corrientes de aguas residuales tratadas por oxidación de cianuro a la fosa de recolección general.
- La canalización de las corrientes de aguas residuales tratadas por reducción de cromo 6+ a la fosa de recolección general.

La colección para separar las diferentes aguas de desecho se realiza con la finalidad de evitar la mezcla de desechos que puedan provocar reacciones peligrosas, poder aplicar tratamientos específicos a las aguas de desechos y obtener un volumen de desechos conocido y con concentraciones de contaminantes uniformes.

La ecuación de las diferentes corrientes de desecho se llevará a cabo en las fosas de recolección, por lo que se contará con una fosa para los desechos ácidos y alcalinos, otra para los desechos con cianuros y otra para los desechos con cromo VI. Una vez colectados y ecuados los desechos pueden ser dirigidos por el sistema de colección a los tratamientos que se les aplicarán.

#### **B). Clarificación.**

La clarificación (sedimentación) se lleva a cabo en un compartimento de un clarificador de flujo ascendente con placas inclinadas por medio de la sedimentación de los flocos formados anteriormente en los procesos de coagulación/mezcla rápida y floculación/mezcla lenta.

La sedimentación es un proceso de separación por gravedad, el cual proporciona en un medio no turbulento, que permite a las partículas del flujo de peso específico mayor a la del agua sedimentarse al fondo del clarificador.

La eficiencia del clarificador dependerá de una coagulación y floculación eficaz, el caudal del flujo de agua, la carga superficial, tiempo de retención del flujo de aguas de desecho e inclinación de las placas.

En el caso de este tipo de clarificadores de placas con flujo ascendente (clarificador de tasa alta), el rendimiento es mayor a los convencionales en un 50 a 150 %.<sup>(57)</sup>

Este clarificador produce una extensa área de asentamiento (área de sedimentación) con un mínimo de espacio de piso. El clarificador está diseñado para una capacidad de 12.2 litros por minuto por metro cuadrado de área proyectada de asentamiento horizontal.

El clarificador contará con un fondo inclinado para depósito de los sólidos sedimentados, cuyas paredes tendrán una inclinación de 60 grados con respecto a la horizontal para provocar la

<sup>(57)</sup> Jairo Alberto Romero Rojas. Potabilización del Agua. Editorial Alfaomega 3ª edición, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. Pag 161

compactación por la fuerza de gravitación de los sólidos sedimentados para luego ser transportados por medio de una bomba de lodos al compactador de estos.

### **C). Filtración final.**

Un filtro de arena será empleado para la remoción final de partículas en suspensión que no fueron removidas durante la clarificación. Esta remoción se efectúa de manera en que se tiene un retrolavado continuo, el cual consiste en el reciclo y limpieza de arena internamente, sin detener la operación de filtrado, de tal manera que se obtiene tanto un fluido clarificado, como un fluido de rechazo muy concentrado con sólidos de desecho.

La filtración se realiza debido al paso del flujo através de la arena de aproximadamente 100 % sílice, el cual sirve como el material filtrante y que podrá ser recuperado en caso de tenerse un nivel bajo de está.

Este proceso de filtración proporciona un efluente de calidad constante, que a decir por algunos de sus empleadores tiene una calidad de reuso, con concentraciones de los contaminantes menores a las especificadas por las normas.

### 7.3.2.2 EQUIPO UTILIZADO.

#### 7.3.2.2.1 FOSAS DE RECOLECCIÓN

Las fosas de recolección/ecualización ya sea la de los desechos generales (F-1) con capacidad para  $6.5 \text{ m}^3$ , la de los desechos con cianuros (F-2) con capacidad para  $0.9 \text{ m}^3$  o la de los desechos con cromo VI (F-3) con capacidad para  $0.9 \text{ m}^3$ , serán de construcción estructural de concreto con cimentación de 50 cm, el piso de concreto armado y maya electrostática de 10 cm, ya que el concreto es un material resistente al ataque químico de este tipo de corrientes. Aunque se deberá que cuidar que en la mezcla del concreto no se agregue demasiada arena, ya que esto provocaría un material poroso y filtrable.

Contara con una capa de pintura resistente al ataque químico (pintura epoxica) para garantizar un funcionamiento por un tiempo más prologando y sin fugas.

#### 7.3.2.2.2 UNIDADES DE NEUTRALIZACIÓN 1 y 2, Y UNIDAD DE AJUSTE FINAL DE pH.

Las unidades están formadas básicamente por el sensor de nivel para el arranque del sistema, controlador de pH con un sensor, el mezclador y las bombas dosificadoras de químicos que para el tanque de neutralización 1 (T-1), serán de cal  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ , ácido sulfúrico  $(\text{H}_2\text{SO}_4)$  y del precipitador de metales, para el tanque de neutralización 2 (T-2) será de sosa (NaOH) y por último para el tanque de ajuste final (T-3) de pH será de ácido sulfúrico  $(\text{H}_2\text{SO}_4)$ .

Los tanques de naturalización serán de acero al carbón  $\frac{1}{4}$ ", con capacidad para 6600 litros, capacidad que garantiza el tratamiento de los  $5.6 \text{ m}^3$  de aguas desecho producidas cada 8 horas por la planta de tratamiento, así como un volumen adicional de  $0.2 \text{ m}^3$  de aguas de desecho que se producen con una frecuencia de generación aleatoria, de tal forma que al dimensionar el tanque de esta forma se cuenta con un factor de seguridad de:

$$\text{Factor de seguridad: } \frac{6600 \text{ Lts.}}{5800 \text{ Lts.}} = 1.14$$

Dicho factor de seguridad es bajo debido a que se toma en cuenta que el volumen de las aguas de desecho ya han sido ecualizadas y controladas en las fosas de recolección, para cuando se llega a los tanques de neutralización.

Los tanques estarán recubiertos con una capa de pintura de resistencia contra el ataque químico y estarán soldados con soldadura doble y continua, que de acuerdo al metal los electrodos son AWS-6013 según Welding Society Specifications. <sup>(58)</sup>

<sup>(58)</sup> Lawrence J. Durney. Electroplating Engineering Handbook. Editorial Van Nostrand Reinhold Company (VNR), Cuarta edición, 1984. Pag. 518

Los tanques cuentan con 3 cinturones de acero para reforzarlos y no permitir que se deformen o se tenga el riesgo de romperse las líneas de soldadura debido a las vibraciones y al traslado de los mismos.

Las dimensiones de los tanques y la disposición de los equipos se ilustran en la figura:

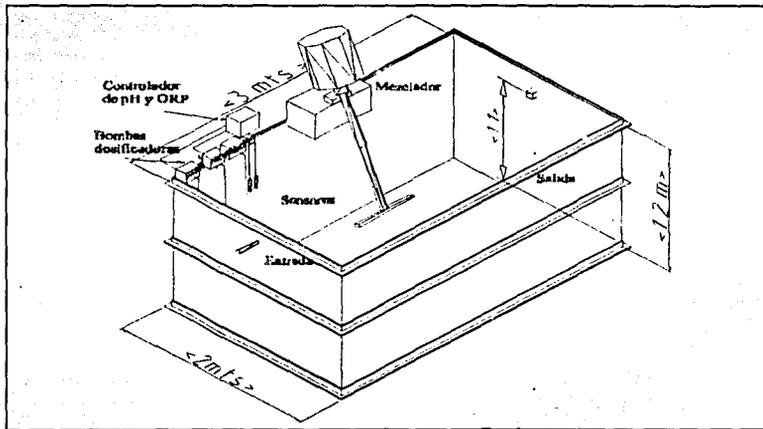


Fig. 7.6 Tanques de Neutralización y Ajuste Final de pH.

Para poder calcular la potencia requerida por el mezclador, así como la velocidad a la que deberá girar se establece un gradiente de mezcla de  $375 \text{ s}^{-1}$ , de acuerdo al tiempo de retención en el tanque de neutralización que es de 10 min. <sup>(59)</sup>

Calculado el gradiente de velocidad se prosigue al calculo de la potencia requerida por el mezclador para lograra este grado de mezcla.

$$P = G^2 (\mu V)$$

Donde: P = Potencia requerida por el mezclador [Watts]

G = Gradiente de velocidad [ $\text{s}^{-1}$ ]

$\mu$  = Viscosidad dinámica del agua. [ $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ] a  $20^\circ\text{C}$

V = Volumen [ $\text{m}^3$ ]

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$P = (375)^2 (1.002 \times 10^{-3})(6.6) = 930 \text{ Watts.}$$

7

<sup>(59)</sup> Jairo Alberto Romero Rojas. Op.cit. Pag.59

Considerando una eficiencia del motor de 70 % se tiene:

$$P = \frac{920.9}{0.7} = 1329 \text{ Watts.} = 1.78 \text{ H.P.}$$

Calculando el número de revoluciones del mezclador, se tiene:

$$N = \frac{P}{K\rho d^5}$$

Donde: K = Constante del mezclador. Para el caso de

mezcladores de turbina es de 4.0. <sup>(60)</sup>

$\rho$  = Densidad del agua a 20 °C = 998.2 [kg/m<sup>3</sup>]

N = Velocidad del impulsor rev/seg.

d = diámetro del impulsor [m]. Que deberá ser = 1/3 del ancho del tanque. <sup>(61)</sup>

$$d = 2/3 = 0.6667 \approx 0.6$$

$$N = \frac{(930)}{(4.0)(998.2)(0.6)^5} = 1.44 \text{ rps.} = 86 \text{ rpm.}$$

Para comprobar que la unidad proporcione un flujo turbulento dentro de este y con esto un grado de mezcla necesario para provocar un buen contacto y reacción entre los reactivos químicos, se deberá de checar que el número de Reynolds sea  $Re > 100\,000$ .

Por lo que se tiene:

$$N_{Re} = \frac{\rho N d^2}{\mu}, \quad N_{Re} = \frac{(998.2)(1.44)(0.6)^2}{1.002 \times 10^{-3}}$$

$$N_{Re} = 516434$$



<sup>(60)</sup> ibid. Pag. 58

<sup>(61)</sup> AWWA. American Water Works Association. Control de la Calidad y Tratamiento del Agua. Mc.Graw Hill. 1975. Pag 217

### 7.3.2.3 UNIDAD DE OXIDACIÓN DE CIANURO

La unidad de oxidación (U-1) esta formada principalmente por el tanque de tratamiento, el controlador de pH y ORP por medio de sensores, el mezclador y bombas dosificadoras de sosa (NaOH) y hipoclorito de sodio(NaOCL).

Este tanque de tratamiento esta construido con acero al carbón de  $\frac{1}{4}$ " de espesor. Contara con dos cinturones para aumentar su resistencia a deformación, la capacidad de este deberá garantizar el tratamiento de 600 litros de las aguas de desecho con cianuro diluidas que se generan cada ocho horas en la planta de galvanoplastía, junto con 200 de las aguas de desecho concentradas con cianuro que tienen una generación aleatoria.

El tanque estará recubierto con una capa de pintura epoxica contra el ataque químico y estará soldado con soldadura doble y continua.

De acuerdo al tiempo de retención de 45min se tiene que el gradiente de velocidad es de  $700s^{-1}$ .<sup>(62)</sup>

Por lo que las dimensiones del tanque, así como la disposición de los equipos, serán las que se muestra en la figura:

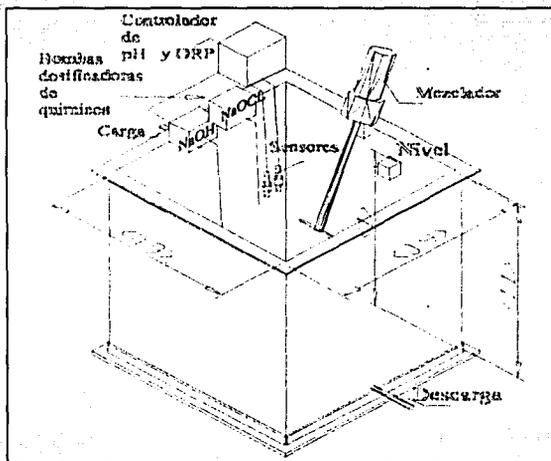


Fig. 7.7 Unidad de Oxidación de Cianuro (U-1).

Calculado el gradiente de velocidad se prosigue al calculo de la potencia requerida por el

<sup>(62)</sup> Jairo Alberto Romero Rojas. Loc.cit. Pag.59

mezclador para lograra este grado de mezcla.

$$P = G^2 (\mu V)$$
 Donde:  $P =$  Potencia requerida por el mezclador [Watts]  
 $G =$  Gradiente de velocidad [ $s^{-1}$ ]  
 $\mu =$  Viscosidad dinámica del agua. [ $N.s/m^2$ ] a  $20^\circ C$   
 $V =$  Volumen [ $m^3$ ]

$$P = (700)^2 (1.002 \times 10^{-3})(0.81) = 398 \text{ Watts}$$

Considerando una eficiencia del motor de 70 % se tiene:

$$P = \frac{398}{0.7} = 568.6 \text{ Watts} = 0.76 \text{ H.P.}$$
 por lo que se adopta un motor de  $\frac{3}{4}$  H.P.

Calculando el número de revoluciones del mezclador se tiene:

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{K\rho d^5}}$$
 Donde:  $K =$  Constante del mezclador. Para el caso de mezcladores de turbina es de 4.0.<sup>(60)</sup>  
 $\rho =$  Densidad del agua a  $20^\circ C = 998.2 \text{ [kg/m}^3]$   
 $N =$  Velocidad del impulsor rev/seg.  
 $d =$  diámetro del impulsor [m]. Que deberá ser =  $\frac{1}{3}$  del ancho del tanque.  
 $d = \frac{2}{3} = 0.6667 \approx 0.6$

$$N = \sqrt[3]{\frac{(398)}{(4.0)(998.2)(0.6)^5}} = 3.44 \text{ rps.} = 207 \text{ rpm.}$$

Para comprobar que la unidad proporcione un flujo turbulento dentro de este y con esto un grado de mezcla necesario para provocar una buena reacción de oxidación, se deberá de checar que el número de Reynolds sea  $Re > 100\,000$ .<sup>(63)</sup>

Por lo que se tiene:

$$N_{Re} = \frac{\rho N d^2}{\mu}$$

<sup>(60)</sup> Ibid. Pag. 58

<sup>(63)</sup> Jairo Alberto Romero Rojas. Loc.cit. Pag 59.

$$N_{Re} = \frac{(998.2)(3.44)(0.3)^2}{1.002 \times 10^{-3}}$$

$$N_{Re} = 308425.9$$

### 7.3.2.4 UNIDAD DE REDUCCIÓN DE CROMO VI.

A la unidad de reducción de cromo hexavalente (U-29 la conforman básicamente el tanque de tratamiento, el mezclador, el controlador de pH y ORP y las bombas dosificadoras de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y metabisulfito de sodio ( $Na_2S_2O_5$ ). Dicha unidad esta diseñada para tratar 300 litros de aguas de desecho diluidas con cromo VI de generación cada ocho horas y hasta 200 litros de aguas de desecho concentradas con cromo VI de generación aleatoria.

Las dimensiones del tanque, así como la disposición de los equipos, serán las que se muestran en la figura:

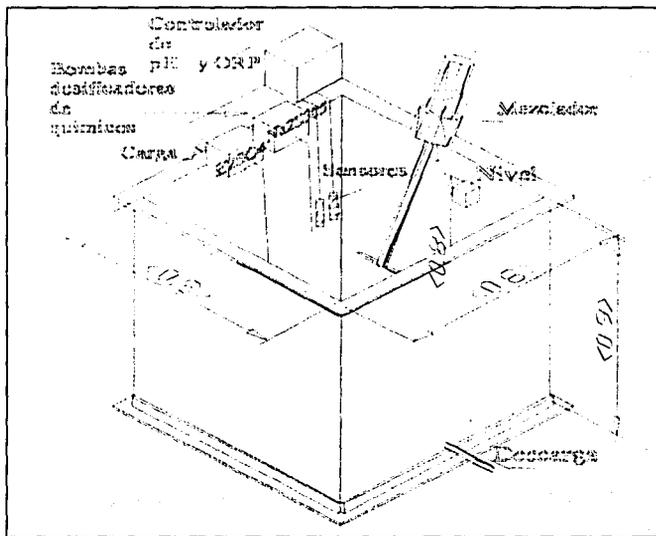


Fig.7.8 Unidad de reducción de cromo VI (U-2).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El tanque de tratamiento esta construido con acero al carbón de ¼" de espesor y con dos cinturones para aumentar su resistencia a la deformación. El tanque estará recubierto con una capa de pintura de resistencia contra el ataque químico y estarán soldados con soldadura doble y continua.

Considerando que el tiempo de retención especificado es de minutos, se determina el grado de mezcla (gradiente de velocidad) necesario para garantizar una correcta agitación. De acuerdo al tiempo de retención (25 min.) se tiene que el gradiente de velocidad es de  $700s^{-1}$ .<sup>(64)</sup> Calculado el gradiente de velocidad se prosigue al calculo de la potencia requerida por el mezclador para lograra este grado de mezcla.

$$P = G^2 (\mu V) \quad \text{Donde: } V = \text{Volumen [m}^3] = (0.8)(0.8)(0.8) = 0.512$$

$$\dot{P} = (700)^2 (1.002 \times 10^{-3})(0.512) = 251.4 \text{ Watts}$$

Considerando una eficiencia del motor de 70 % se tiene:

$$P = \frac{285.75}{0.7} = 359 \text{ Watts} = 0.48 \text{ H.P.} \quad \text{por lo que se adopta un motor de } \frac{1}{2} \text{ H.P.}$$

Calculando el número de revoluciones del mezclador se tiene:

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{K \rho d^5}} \quad \text{Donde: } d = \text{diámetro del impulsor [m]. Que deberá ser = } \\ \frac{1}{3} \text{ del ancho del tanque. } d = 0.8/3 = 0.26$$

$$N = \sqrt[3]{\frac{(251.4)}{(4.0)(998.2)(0.26)^5}} = 3.75 \text{ rps.} = 225 \text{ rpm.}$$

Para comprobar que la unidad proporcione un flujo turbulento dentro de este y con esto un grado de mezcla necesario para provocar una buena reacción de oxidación, se deberá de checar que el número de Reynolds sea  $Re > 100\,000$ . Por lo que se tiene:

$$N_{Re} = \frac{(998.2)(3.75)(0.26)^2}{1.002 \times 10^{-3}}$$

$$N_{Re} = 252538.6$$

### 7.3.2.2.5 CLARIFICADOR.

El clarificador (C-1), en este caso específico se encargará de tratar el agua físico y químicamente, para lo cual consta de tres compartimentos que incluyen; compartimento de coagulación o mezcla rápida, compartimento de floculación y el compartimento de placas inclinadas. Figura 7.9

<sup>(64)</sup> Id.

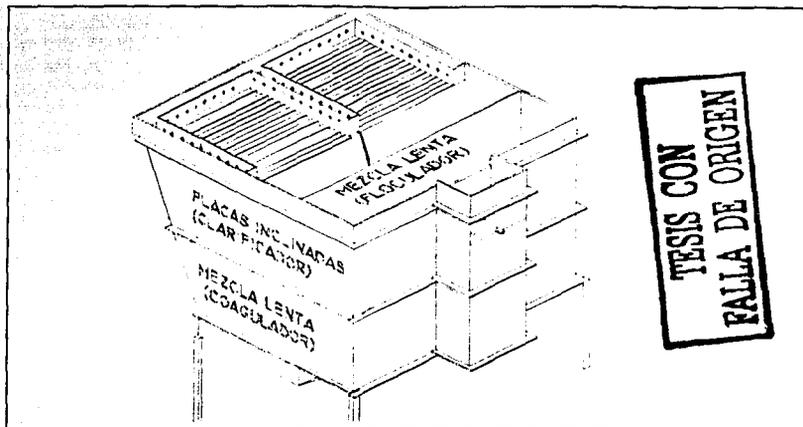


Fig. 7.9 Clarificador de placas inclinadas con coagulación y floculación (C-1).

Incluyendo en un solo equipo tres tratamientos básicos efectuados con la finalidad de propiciar la aglomeración de los hidróxidos formados anteriormente, así como otras partículas suspendidas, operación que garantizará una remoción de aproximadamente 70 % de los contaminantes, de acuerdo a la investigación documentada en el caso I el clarificador junto con el filtro de arena pretenden alcanzar concentraciones de metales aceptables para su descarga al drenaje.

El compartimento de coagulación tiene por objeto el proporcionar una mezcla rápida, que disperse uniformemente el polímero catiónico y propicie el contacto entre los iones tanto del polímero como los de los hidróxidos de los metales y así formen floculos sedimentables con velocidades de asentamiento mayores a las ya logradas con la adición de los cáusticos.

El compartimento de floculación también llamado floculador, tiene el propósito tanto de proporcionar al flujo de aguas de desecho una mezcla suave que permita la aglomeración de los floculos formados en la coagulación sin provocar que estos vuelvan a separarse como la dispersión uniforme del polímero aniónico. Una vez formado floculos de mayor tamaño y con mayor sedimentabilidad es posible una buena tasa de remoción de contaminantes en el compartimento de placas inclinadas.

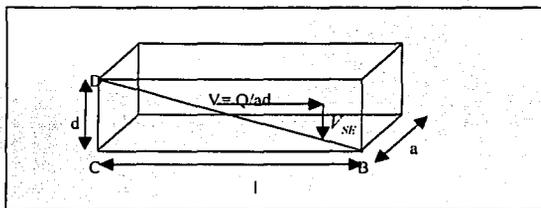
Dicho compartimento tiene por objeto proveer las condiciones necesarias al flujo, tales como lo es el tiempo de retención, tipo de flujo no turbulento y carga superficial adecuados para permitir la sedimentación de las partículas sólidas y los floculos formados anteriormente en la coagulación o mezcla rápida y floculación o mezcla lenta.

Dicho clarificador será diseñado y construido para las características específicas de este sistema, por considerarse conveniente y viable para alcanzar la calidad de agua requerida por los límites y normas gubernamentales en México.

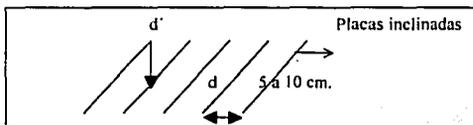
a) Compartimento de placas inclinadas

El tipo de clarificador diseñado es de tasa alta con placas inclinadas que como principales características tiene el ahorro de espacio requerido para su ubicación y una velocidad del flujo más alta, esto debido a que cuenta con área de sedimentación más grande debido a las placas inclinadas, que a su vez propician la autolimpieza del clarificador dirigiendo los sedimentos al fondo cónico, gracias al ángulo de inclinación de estas que deberá ser de aproximadamente 60°. Para poder realizar el diseño del compartimento de placas del clarificador se deberá de considerar:

- $V$  = Velocidad del flujo.
- $V_s$  = Velocidad de asentamiento de la partícula.
- $Q$  = Caudal.



La eficiencia del clarificador es función de la carga superficial en el clarificador y en las placas inclinadas, el tiempo de retención, la longitud relativa, el ángulo de las placas y la garantía de existencia de un flujo laminar dentro de este. De la figura se puede observar que entre mayor sea la profundidad ( $d$ ) se requerirá de una velocidad menor para garantizar que toda partícula en el flujo se sedimente antes del punto B. Es por esto que los sedimentadores de tasa alta permiten una carga superficial mayor, ya que la separación entre las placas es pequeña de aproximadamente 5 a 10 cm.



Tomando en cuenta que el tiempo de retención de las aguas de desecho dentro de los clarificadores de tasa alta es de 15 a 25 min. <sup>(65)</sup>

El tiempo de diseño para este clarificador será de 20 min. Para así tener un factor de seguridad con respecto al tiempo mínimo requerido para una adecuada sedimentación.

<sup>(65)</sup> James M. Montgomery. Consulting Engineering. Water Treatment Principles and Design (Diseño y Principios del tratamiento de Agua). JMM, 1985. Pag. 538

$$t = \frac{V}{Q} \therefore Q = \frac{V}{t}$$

Donde: V = Volumen.

Q = Caudal.

t = Tiempo de retención.

Por lo que para poder determinar el caudal en el clarificador se tendrá que obtener primero el volumen de la zona de placas inclinadas, ya que esta es la zona donde se realiza la sedimentación.

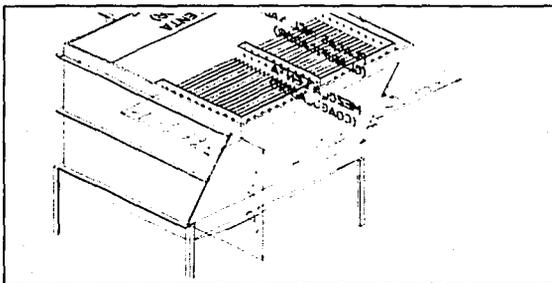


Fig.7.10 Dimensiones del clarificador.

De la figura anterior se observa que:

$$V = 2 \times L \times h \times P$$

$$V = 2 \times (0.93)(0.95)(1.5) = 2.65 \text{ m}^3$$

Y con un tiempo de 20 min. = 1200seg. Se tiene:

$$Q = \frac{2.65}{1200} = 22 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De esta forma entonces la carga superficial será entonces:

$$C_s = \frac{Q}{A} = \frac{22 \times 10^{-4}}{(0.93)(0.95)} = 12.45 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 107 \text{ m}^3/\text{d}$$

Carga superficial que cumple con los valores para clarificadores de tasa alta de  $C_s = 180$ .<sup>(66)</sup>

Obteniéndose de tal forma un factor de seguridad de:

$$F_s = \frac{C_{s, \text{rec.}}}{C_{s, \text{real}}} = \frac{180}{107} = 1.7$$

<sup>(66)</sup> Ibid, Pag 530

Factor que garantiza un margen amplio para permitir la sedimentación de los sólidos. Dentro de la zona de placas inclinadas se deberá garantizar una velocidad de asentamiento de las partículas ( $V_{SE}$ ), que permita asegurar que los sólidos se sedimenten y no sobrepasen al clarificador. Toda aquella partícula que tenga una velocidad de asentamiento igual o mayor a esta será removida de la corriente de aguas residuales. Por lo que:

$$V_{SE} = S_c V_o \text{ Sen}\theta + L \text{ Cos}\theta$$

Donde:  $V_o$  = velocidad promedio del flujo en la

zona de placas inclinadas.

$\theta$  = ángulo de inclinación de las placas, el cual es de  $60^\circ$ .<sup>(67)</sup>

L = Longitud relativa del clarificador.

$S_c$  = Constante de sedimentación para clarificadores de placas planas = 1.<sup>(68)</sup>

$$V_o = \frac{Q}{A \text{ Sen}\theta} = \frac{22 \times 10^{-4}}{2 \times (0.93)(0.95) \text{ Sen}60} = 14.37 \times 10^{-4} \text{ m/s} = 124 \text{ } \mu\text{s} = 0.14 \text{ cm/s}$$

Velocidad promedio de flujo que es inferior a la velocidad límite de 1 cm/s.<sup>(69)</sup>

$$L = \frac{l}{d} = \frac{150}{0.05} = 30$$

Longitud relativa que concuerda con  $L < 40$ .<sup>(70)</sup>

$$V_{SE} = \text{Sen}60 + 30 \text{ Cos}60 = 7.81 \text{ m/d}$$

Velocidad que se encuentra por debajo de las cargas típicas para clarificadores con tratamiento por medio de polímeros.<sup>(71)</sup>

Velocidad que garantiza el asentamiento de los floculos formados anteriormente. Pero para poder garantizar un funcionamiento óptimo dentro en este compartimento se deberá de comprobar que dentro de este existe un flujo laminar  $Re < 200$ .<sup>(72)</sup>

$$Re = \frac{V_o \times d}{\nu}$$

Donde  $\nu$  = Viscosidad cinemática del agua que a  $20^\circ\text{C}$

es de  $1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$Re = \frac{(14.37 \times 10^{-4} \text{ m/s})(0.05 \text{ m})}{1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 71.6$$

<sup>(67)</sup> *Ibid.*, Pag. 137

<sup>(68)</sup> Jairo Alberto Romero Rojas. *Op.cit.* Pag.143.

<sup>(69)</sup> James M. Montgomery. *Loc.cit.* Pag 530.

<sup>(70)</sup> Jairo Alberto Romero Rojas. *Op.cit.* Pag.144.

<sup>(71)</sup> Jairo Alberto Romero Rojas. *Op.cit.* Pag 161

<sup>(72)</sup> James M. Montgomery. *Loc.cit.* Pag 530.

### b) Compartimento de Coagulación/Mezcla Rápida.

Una vez determinado el caudal de trabajo del clarificador en el compartimento de placas inclinadas se procede a determinar las especificaciones tanto del compartimento del clarificador donde se lleva a cabo la mezcla rápida como del mezclador a ser utilizado. Fig. 7.11

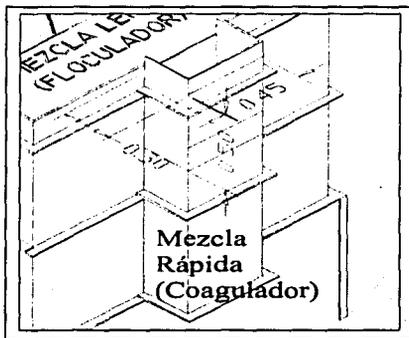


Fig. 7.11 Coagulador.

Teniendo en cuenta que la mezcla rápida es el tratamiento de agua con el fin de dispersar rápida y uniformemente diferentes sustancias químicas, que para este caso es el polímero catiónico  $[Al_2(SO_4)_3]$ , que ayudará a la formación de hidróxidos y floculos que serán tratados posteriormente en el compartimento de floculación y que será suministrada con una bomba dosificadora.

La mezcla rápida se efectúa por medio de la turbulencia creada por medios mecánicos gracias al mezclador. El tiempo de retención para este tipo de compartimentos es de 20 a 40 seg.<sup>(73)</sup> Dependiendo del gradiente de velocidad dentro de este compartimento. Que para este caso y debido a las dimensiones de este compartimento es de:

$$t = \frac{V}{Q}$$

Donde: t = tiempo de retención [seg.]

V = Volumen  $[m^3]$

Q = Caudal  $[m^3/seg.]$

De la figura 7.11 se obtiene:

$$V = l \times l \times l = (0.30)(0.45)(0.5) = 0.0675 \text{ m}^3$$

<sup>(73)</sup> Jairo Alberto Romero Rojas. Loc.cit. Pag.59.

Considerando el hecho que el compartimento de coagulación esta directamente conectado con el compartimento de placas inclinadas, el caudal es el mismo; aunque el tiempo de retención será menor debido al menor volumen del compartimento de coagulación.

$$t = \frac{0.0675}{22 \times 10^{-4}} = 30.68 \text{ Seg.}$$

Una vez obtenido el tiempo de retención en el compartimento de mezcla, se establece el gradiente de velocidad recomendado para este tiempo.

Teniendo en cuenta que el gradiente de velocidad es el termino que describe la intensidad de mezcla, para un tiempo de 30 segundos, el gradiente de velocidad recomendado es de  $900^{-1}$ .<sup>(74)</sup>

Obtenido el gradiente de velocidad, se calcula el requerimiento de potencia del mezclador, el cual esta dado por:

$$P = G^2 \mu V. \quad \text{Donde: } \mu = \text{Viscosidad dinámica del agua. [N.s/m}^2] \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

$$V = \text{Volumen del compartimento [m}^3]$$

$$\therefore P = (900)^{-1} (1.002 \times 10^{-3}) (0.0675) = 55 \text{ W}$$

Si se considera una eficiencia del motor del mezclador de 70 % entonces se requerirá un motor con una potencia de:

$$P = \frac{55}{0.7} = 78.5 \text{ W.} = 0.1 \text{ H.P.}$$

Por lo que se adopta un motor de 1/10 H.P.

Para poder calcular el número de revoluciones del mezclador que garanticen las condiciones de turbulencia completa dentro del compartimento de mezcla rápida se tiene:

$$N = \sqrt{\frac{P}{K\rho d^5}} \quad \text{Donde: } P = \text{Potencia requerida [W]}$$

∴

K = Constante del mezclador. Para el caso de mezcladores de turbina es de 4.0.

$\rho$  = Densidad del agua a  $20^\circ\text{C} = 998.2 \text{ [kg/m}^3]$

N = Velocidad del impulsor rev/seg.

d = diámetro del impulsor [m]. Que deberá ser = 1/3 del ancho del tanque.

d =  $45/3 = 0.15 \text{ m.}$

$$N = \sqrt[3]{\frac{(55)}{(4.0)(998.2)(0.15)^5}} = 5.66 \text{ rps.} = 340 \text{ rpm.}$$

<sup>(74)</sup> AWWA. Loc.cit. Pag 215.

Para comprobar que en el compartimento de mezcla rápida proporcione un flujo turbulento dentro de este, se deberá de checar que el número de Reynolds sea  $Re > 100\ 000$ .

Por lo que se tiene:

$$N_{Re} = \frac{\rho N d^2}{\mu}$$

Donde:  $\mu$  = Viscosidad dinámica del agua a temperatura de 20 °C. [N.s/m<sup>2</sup>]

$$N_{Re} = \frac{(998.2)(5.66)(0.15)^2}{1.002 \times 10^{-3}}$$

$$N_{Re} = 126867$$

### c) Compartimento de floculación o mezcla lenta.

El tratamiento que le sigue a la coagulación es la floculación el cual deberá estar localizado inmediatamente después del compartimento de coagulación. Esto para evitar que los floculos formados en la coagulación se rompan o se sedimenten en el trayecto al floculador.

Para este caso este compartimento estará también en el mismo clarificador. Para el diseño del floculador se siguen los criterios intensidad de mezcla (gradiente de velocidad) y tiempo de retención.

Teniendo en cuenta que la floculación es un procedimiento empleado para aglomerar en masas de mayor tamaño los floculos que se forman en la coagulación, esto con la ayuda de un polímero anionico que neutralizará las cargas de los sólidos y/o partículas que aun no habían sedimentado, especialmente grasas y aceites, además de formar puentes entre los floculos formados en la coagulación, para poder sedimentarlos mas fácilmente como masa de mayor tamaño. Dicho polímero será suministrado por una bomba dosificadora.

La mezcla en el floculador es suave y lenta para no romper los floculos antes formados, además de contar con un tiempo de retención mayor al de la coagulación.

Después de evaluar lo sugerido por varios autores se determina que el gradiente de velocidad optimo para el floculador es  $G = 50\ s^{-1}$ .

El tiempo de retención en este compartimento se calcula utilizando el mismo caudal manejado, ya que este es el mismo para todos los compartimentos del clarificador.

$$t = \frac{V}{Q}$$

Donde V = Volumen. [m<sup>3</sup>]

t = Tiempo de retención. [seg.]

Q = Caudal. [m<sup>3</sup>/seg.]

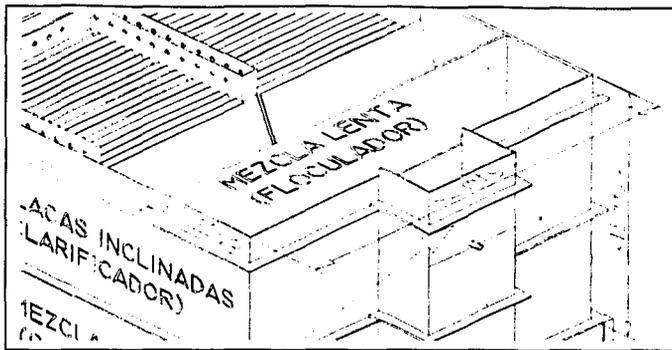


Fig. 7.12 Floculador.

De la figura se obtiene que el volumen es:

$$V = (1.5)(2.0)(0.5) = 1.5 \text{ m}^3$$

De tal forma que:

$$t = \frac{1.5}{22 \times 10^{-4}} = 681 \text{ seg.} = 11.36 \text{ min.}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tiempo que concuerda con el tiempo de retención necesario para garantizar el contacto entre partículas y el polímero agregado en floculadores.

Para calcular la potencia requerida para lograr el grado de mezcla deseado se tiene:

$$P = G^2 (\mu)(V)$$

$$P = (55)^2 (1.002 \times 10^{-3})(2.1) = 6.36 \text{ W}$$

Considerando un motor con una eficiencia de 70 %:

$$P = \frac{6.36}{0.7} = 9 \text{ W} = 12 \times 10^{-3} \text{ H.P.}$$

Una vez calculada la potencia requerida se determina la velocidad del impulsor para el requerimiento específico de mezcla.

$$N = 3 \sqrt{\frac{\mu V G^2}{K \rho d^5}} = 3 \sqrt{\frac{P}{K \rho d^5}}$$

Donde: d = Diámetro del impulsor = 1/3 del ancho del tanque. = 0.7/3 = 0.2333 ≈ 0.24 m.

$$N = 3 \sqrt{\frac{6.36}{(4.0)(998.2)(0.24)^5}} = 1.26 \text{ rps.} = 76 \text{ rpm}$$

Ya determinada la velocidad a la que girará el impulsor, se deberá verificar también que la velocidad de las paletas del impulsor no exceda de 1 m/s.<sup>(75)</sup>

Ya que de lo contrario se corre el riesgo de romper los floculos formados anteriormente. Dicha velocidad se calcula:

$$V_p = 2 \pi R N \quad \text{Donde: } R = \text{radio. [m]}$$

$$V_p = 2(3.1416)(0.12)(1.31) = 0.98 \text{ m/s.}$$

De esta manera se garantiza las condiciones de mezcla en floculador para poder efectuar una correcta y eficiente sedimentación en el compartimento de placas inclinadas que esta inmediatamente después del compartimento de floculación.

<sup>(75)</sup> Jáiro Alberto Romero Rojas. Op.cit., Pag.96.

## 7.3.2.2.6 FILTRO DE ARENA.

<b>TESIS CON FALLA DE ORIGEN</b>
--------------------------------------

El filtro de arena (F-1) es de flujo ascendente con lavado continuo y de medio filtrante granular de cama profunda. El medio filtrante (arena de sílice) es continuamente lavado por medio del reciclamiento interno de la arena a través de una tubería con burbujas de aire y un lavador de arena. La arena regenerada es distribuida sobre la cama de arena permitiendo un flujo filtrado y flujo de desecho ininterrumpidos.

- La alimentación es realizada por la parte inferior del filtro a través de tubos que distribuyen el flujo uniformemente en la cama de arena por medio de un capuchón (A).
- El influente fluye hacia arriba dejando los sólidos a través de la cama de arena que desciende (B).
- El flujo filtrado sale de la cama de arena y se desborda a través de un vertedero (C), para ser descargado del filtro (D).
- Al mismo tiempo la arena junto con los sólidos de desecho acumulados es arrastrada hacia fondo del filtro donde se encuentra un tubo que hace la función de elevador junto con aire que es inyectado (E).
- La arena, suciedad (sólidos de desecho) y agua son transportados a la parte superior del filtro. Las impurezas son separadas de la arena en el trayecto hacia arriba debido a la gran turbulencia. En la salida superior del tubo (F), el lodo escurre del tubo para depositarse en el compartimento central para el flujo de desecho (I).
- La arena es regresada a la cama de arena por medio del lavador y separador de arena (G), el cual aprovecha que la arena tiene una velocidad de sedimentación mayor a la de la suciedad.
- Estableciendo un capuchón de flujo de rechazo (J) aunado a sedimentación mayor de la arena se logra que la arena regrese a la cama de arena por el lavador y es distribuida uniformemente por medio de un cono de distribución (H).
- En el lavador de arena también fluye parte del flujo de agua el cual es utilizado para arrastrar la suciedad que halla llegado a introducirse en el lavador/separador de arena, el cual es descargado del filtro (K).

Las características del filtro son las siguientes:

Díametro interior [Ft]	Altura	Arena requerida [ton]	Caudal [gpm]	Caída de presión [Ft]
3	10' 4"	1.75	40	24

El filtro se observa en las siguientes figuras:

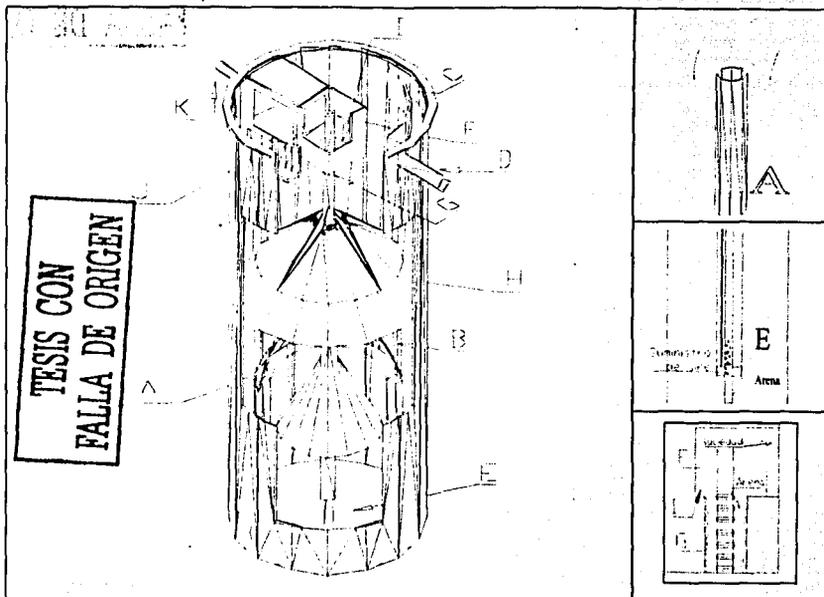


Fig. 7.13 Filtro de arena (F-1).

La arena especificada para la aplicación del filtro deberá tener un tamaño efectivo de 1.4 mm y un coeficiente de uniformidad menor de 1.5, pesa aproximadamente 100 lbs cada pie cúbico seco.

### 7.3.2.2.7 SISTEMA DE COLECCIÓN

El sistema de colección (S-1) tiene por objeto dirigir cada una de las corrientes de desecho a través de la planta de tratamiento, para poder así, llevar acabo el tratamiento que le corresponda según las características de determinado desecho, cuidando siempre que no se realicen mezclas entre fluidos de desechos que puedan ser peligrosas para los trabajadores, planta de tratamiento o para el desempeño de está.

Entre las funciones del sistema de colección esta la de conducir los desechos cianurados por separado hacia la fosa de recolección de cianuros, para después llevarlo al tanque de tratamiento de cianuro donde el cianuro será tratado por oxidación y por ultimo agregarlo a la fosa de recolección general. Esto se realizara cuidando siempre que los desechos con cianuro no se mezclen con otros desechos antes de ser tratados por oxidación y en especial que no se mezclen

con desechos ácidos ya que pH bajos pueden producir el gas de cloruro de cianogeno (CNCL), o se puede provocar otras reacciones que en lugar de la oxidación del cianuro provocarían compuestos de amonía.

Por otro lado los desechos con cromo hexavalente tienen que ser conducidos de manera que no se lleguen a mezclar con otros antes de la reducción de estos para poder ser precipitados en forma de cromo trivalente de forma eficiente.

Los desechos con cromo tienen un pH preferentemente bajo por lo que no se deberán de mezclar en especial con los desechos cianurados. La colección y segregación de los desechos con cianuro y con cromo VI en la planta de galvanoplastia se realiza de acuerdo a la figura:

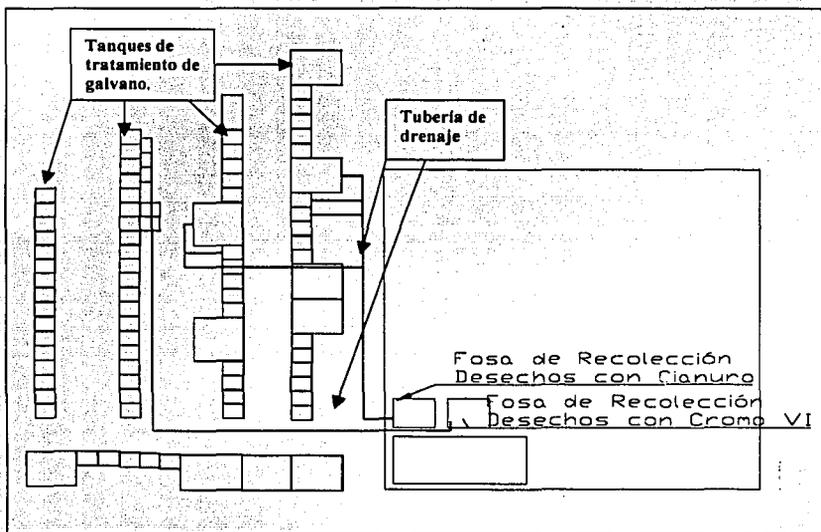


Fig. 7.14 Sistema de colección de las aguas de desechos con cianuro y con cromo VI.

Los desechos ácidos y alcalinos serán conducidos a la fosa de recolección general, de tal forma que estos se neutralicen, aunque por la superioridad de volumen, los desechos ácidos provocarán la necesidad de adición de cal o sosa para alcanzar el pH requerido en los tratamientos posteriores.

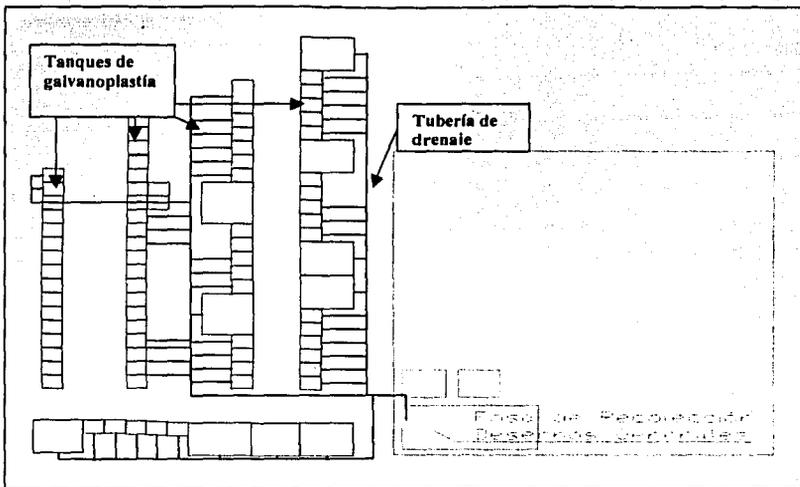


Fig. 7.15 Sistema de colección de aguas de desecho generales.

El sistema de colección estará construido con tubería de PVC cédula 80. Con válvulas de globo de PVC C-80 con dimensiones distintas según el requerimiento de caudal a ser conducido. Que controlarán la descarga de cada uno de los tanques. Dichos componentes se muestran en la figura:

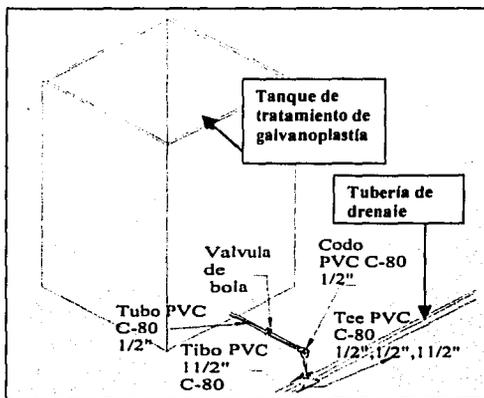


Fig. 7.16 Descarga de los tanques de tratamiento del área de galvanoplastia.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La tubería de drenaje, que conforma el sistema de colección, se diseña y dimensiona tomando en cuenta los criterios de velocidad del flujo de las aguas de desecho dentro de esta, ya que una velocidad muy rápida podría ocasionar hasta la erosión de la tubería; y por el otro lado, una velocidad demasiado baja tomaría demasiado tiempo para realizar la descarga de las aguas de desecho en las fosas correspondientes y permitiría la sedimentación de sólidos dentro de la tubería, que provocaría daños a esta.

Situación por la cual se recomienda por varios autores, que para tuberías de PVC la velocidad de flujo sea de entre 1 a 5 m/s.

Para la tubería de drenaje que ha de conducir los desechos ácidos y alcalinos de los tanques de tratamiento del área de galvanoplastia se tiene:

$t$  = tiempo de descarga de los tanques deberá de ser de 5 min.

De tal manera que el caudal de los tanques de enjuague se determina de la siguiente forma:

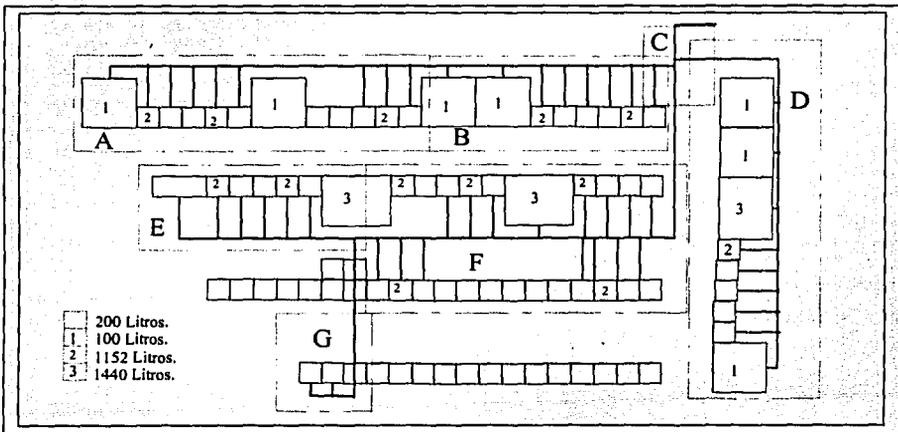
$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:  $Q$  = Caudal de trabajo [ $m^3/s$ ].

$V$  = Volumen de agua descargada [ $m^3$ ]

$t$  = Tiempo de la descarga [seg.]

La siguiente figura muestra los tanques de tratamiento y los diferentes volúmenes de estos:



7.17 Volúmenes de los tanques de tratamiento de la planta de galvanoplastia y tubería de drenaje de los desechos ácidos y alcalinos.

Considerando que la altura de los tanques de tratamiento de la galvanoplastia es de 0.8 m para los tanques de 200, 1152 y 1440 litros se tiene:

$$V = \sqrt{2gh}$$

Donde:  $V$  = Velocidad del flujo [m/s]

$g$  = Aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ]

$h$  = altura de los tanques [m]

$$V = \sqrt{2(9.81)(0.8)} = 3.96 \text{ m/s}$$

Para cuando los tanques están casi vacíos se tiene:

$$V = \sqrt{2(9.81)(0.05)} = 0.99 \text{ m/s}$$

Por lo que se considera una velocidad promedio de flujo en la descarga de 2.5 m/s para el diseño de la tubería.

En el caso de los tanques de 100 litros la altura máxima es de 0.4 m por lo que la velocidad de descarga es:

$$V = \sqrt{2(9.81)(0.4)} = 2.8 \text{ m/s}$$

Para cuando los tanques están casi vacíos:

$$V = \sqrt{2(9.81)(0.05)} = 0.99 \text{ m/s}$$

Obteniendo una velocidad de descarga promedio de 1.9 m/s.

Para los tanques de 100 litros la sección de la tubería donde se encuentra la válvula de globo de descarga se calcula (Ver figura 7.16):

$$Q = \frac{100}{5} = 20 \text{ lt/min} = 0.333 \text{ lt/seg} = 0.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$$

Por otro lado:

$$Q = VA = (V) \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

Despejando D:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

Donde: D = Diámetro de la tubería [m]  
 Q = Caudal [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]  
 V = Velocidad del flujo [m/s]

$$D = \sqrt{\frac{4(0.33 \times 10^{-3})}{(3.1416)(1.9)}} = 0.0148 \text{ m} = 0.58 \text{ in} \approx \frac{1}{4}''$$

Para los tanques de 200 litros la tubería de descarga se calcula:

$$Q = \frac{200}{5} = 40 \text{ lt/min} = 0.667 \text{ lt/seg} = 0.667 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$D = \sqrt{\frac{4(0.667 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.0184 \text{ m} = 0.72 \text{ in} \approx \frac{3}{4}''$$

Para el tanque de 1152 litros la tubería se calcula:

$$Q = \frac{1152}{5} = 230 \text{ lt/min} = 3.84 \text{ lt/seg} = 3.84 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$D = \sqrt{\frac{4(3.84 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.044 \text{ m} = 1.74 \text{ in} \approx 2''$$

Para la sección A de la tubería de drenaje de aguas residuales generales ilustrada en la figura 7.17 se tiene:

- 5 tanques de 200 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 3 tanques de 100 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 1 tanque de 1152 litros de descarga aleatoria.

Para la sección de la tubería que conduce las aguas de desecho de estos tanques se debe de considerar el volumen de los tanques que tienen una descarga frecuente, ya que de considerar también los tanques de descarga aleatoria las dimensiones de la tubería aumentarían considerablemente junto con los costos de esta.

$$(5 \times 200) + (3 \times 100) = 1300 \text{ litros}$$

$$Q_A = \frac{1300}{5} = 260 \text{ lt/min} = 4.33 \text{ lt/seg} = 4.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$D = \sqrt{\frac{4(4.33 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.047 \text{ m} = 1.84 \text{ in} \approx 2''$$

Para la sección B de la tubería de drenaje de aguas residuales generales ilustrada en la figura 7. 17 se tiene:

- 4 tanques de 200 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 2 tanques de 100 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 2 tanque de 1152 litros de descarga aleatoria.

Por lo que el cabezal en esta sección de la tubería se diseña de acuerdo a:

$$Q = 4.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} + \text{caudal en la sección B}$$

$$Q_B = \frac{1000}{5} = 200 \text{ lt/min} = 3.33 \text{ lt/seg} = 3.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$$

Por lo que:

$$Q = 4.33 + 3.33 = 7.66 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(7.66 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.062 \text{ m} = 2.45 \text{ in} \approx 2 \frac{1}{2}''$$

Para la sección E de la tubería de drenaje de aguas residuales generales ilustrada en la figura 7. 17 se tiene:

- 3 tanques de 200 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 2 tanques de 100 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 1 tanque de 400 litros de descarga aleatoria.
- 1 tanque de 200 litros de descarga aleatoria.

Teniendo las mismas consideración que las secciones anteriores con respecto a los desechos generados con diferente frecuencia se tiene que el caudal que recibe esta sección de la tubería es de:

$$Q_E = \frac{800}{5} = 160 \text{ lt/min} = 2.66 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(2.66 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.036 \text{ m} = 1.44 \text{ in} \approx 1 \frac{1}{2}''$$

Para la sección G de la tubería de drenaje de aguas residuales generales ilustrada en la figura 7.17 se tiene:

- 1 tanque de 200 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 1 tanque de 100 litros de descarga cada 8 horas.
- 1 tanque de 200 litros de descarga aleatoria.

De tal forma que el caudal es de:

$$Q_G = \frac{300}{5} = 60 \text{ lt/min} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Calculando el diámetro necesario se tiene:

$$D = \sqrt[4]{\frac{4(1 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.022 \text{ m} = 0.88 \text{ in} \approx 1''$$

Para la sección F de la tubería de drenaje de aguas residuales generales ilustrada en la figura 7.17 se tiene:

- 9 tanque de 200 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 4 tanque de 100 litros de descarga cada 8 horas.
- 1 tanque de 1440 litros de descarga aleatoria.

Calculando el caudal que pasa por esta sección de tubería:

$$Q = Q_E + Q_G + Q_F$$

Considerando únicamente los tanques de generación cada 8 horas se tiene:

$$Q_F = \frac{2200}{5} = 440 \text{ lt/min} = 7.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo que el caudales:

$$Q = 2.66 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-3} + 7.33 \times 10^{-3} = 10.99 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calculando el diámetro necesario para este caudal se tiene:

$$D = \sqrt[4]{\frac{4(10.99 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.075 \text{ m} = 2.94 \text{ in} \approx 3''$$

Para la sección D de la tubería de drenaje de aguas residuales generales ilustrada en la figura 7.17 se tiene:

- 2 tanques de 200 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 1 tanques de 100 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 1 tanque de 200 litros de descarga aleatoria.
- 3 tanque de 1152 litros de descarga aleatoria.
- 1 tanque de 1440 litros de descarga aleatoria.

Para este caso se considera el tanque de mayor volumen ya que los tanques de generación cada ocho horas no rebasan su volumen. Aunque la generación del tanque sea aleatoria se deberá de cumplir las dimensiones de tubería necesaria para el drene de este en un tiempo de aproximadamente 5 minutos. Calculando el caudal:

$$Q_D = \frac{1440}{5} = 288 \text{ lt/min} = 4.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

De tal manera que el diámetro necesario es:

$$D = \sqrt[4]{\frac{4(4.8 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.049 \text{ m} = 1.94 \text{ m} \approx 2''$$

Para la sección C de la tubería de drenaje de aguas residuales generales ilustrada en la figura 7.17 el caudal es:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_D + Q_E + Q_F + Q_G$$

$$Q = 4.33 \times 10^{-3} + 3.33 \times 10^{-3} + 4.8 \times 10^{-3} + 2.66 \times 10^{-3} + 7.33 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-3}$$

$$Q = 23.45 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$$

De tal manera que el diámetro de la tubería necesario es:

$$D = \sqrt[4]{\frac{4(23.45 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.109 \text{ m} = 4.3 \text{ in} \approx 4''$$

Tomando en cuenta la figura 7.14 para la tubería de drenaje de desechos cianurados se tiene:

- 2 tanques de 100 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 2 tanques de 200 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 1 tanque de 1152 litros de descarga aleatoria.
- 1 tanque de 1440 litros de descarga aleatoria

La tubería se diseña tomando en cuenta el caudal máximo que podría manejar, por lo tanto:

$$Q = \frac{1440}{5} = 288 \text{ lt/min} = 4.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

De tal forma que el diámetro necesario para el paso de este caudal es:

$$D = \sqrt{\frac{4(4.8 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.049 \text{ m} = 1.9 \text{ in} \approx 1 \frac{1}{2}''$$

Tomando en cuenta la figura 7.14 para la tubería de drenaje de desechos cianurados se tiene:

- 1 tanques de 100 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 1 tanques de 200 litros de descarga cada turno de 8 horas.
- 1 tanques de 100 litros de descarga aleatoria.
- 1 tanques de 200 litros de descarga aleatoria.

Tomando en cuenta únicamente los tanques con descarga cada 8 horas por así convenir el caudal es:

$$Q = \frac{300}{5} = 60 \text{ lt/min} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

De tal forma que el diámetro de tubería necesario para el paso de este caudal es:

$$D = \sqrt{\frac{4(1 \times 10^{-3})}{(3.1416)(2.5)}} = 0.022 \text{ m} = 0.88 \text{ in} \approx 1''$$

Los resultados obtenidos del cálculo de la tubería se pueden observar en el anexo I.

7.3.2.2.8 BOMBAS.

Se requerirán de 6 bombas centrífugas horizontales para la alimentación del agua de desecho. Cuatro de ellas únicamente se requerirán para el transporte del agua sin necesitar de un caudal o presión específica, por tanto estas serán seleccionadas para cumplir únicamente con la altura requerida, quedando de tal manera:

- Se requiere de una bomba para el transporte de aproximadamente 800 litros de aguas de desecho con cianuro de la fosa de cianuros a la unidad de tratamiento por oxidación. Dicha bomba únicamente deberá de transportar el agua de la fosa a la unidad de tratamiento por lo que se requiere de una altura de 2.7 metros, considerando una tubería de PVC 1 1/2" cédula 80 con dos codos, una válvula de retención a la entrada de la tubería y una longitud de tubería de 3.15 metros. Esta bomba se denominara "BAL1".

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

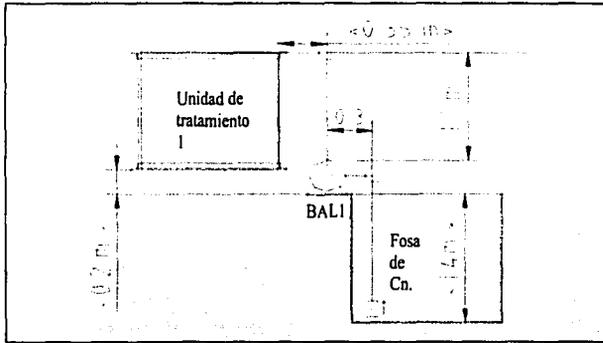


Fig. 7.17 Bomba de alimentación BAL1

El caudal requerido para este cambio se calcula de acuerdo al tiempo de transferencia de 3 min.

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(7.1)$$

Donde: Q - Caudal [m<sup>3</sup> /s]  
 V - Volumen de agua [m<sup>3</sup>].  
 t - tiempo de transferencia [s].

$$Q = \frac{0.8}{180} = 44 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Para poder realizar el calculo de la bomba se requiere determinar el NPSH disponible (Net Positive Succión Head) que es la mínima carga positiva que requiere una bomba para inducir el líquido en el impulsor, y se calcula de a cuerdo a:

$$NPSH_{dvp} = \frac{(P_n - P_v)}{\rho g} - H_{geo} - H_{fuc} \dots \dots \dots (7.2)$$

- Donde:  $P_n$  - Presión barométrica del lugar [N/m<sup>2</sup>]  
 $P_v$  - Presión de vapor a 20 °C [N/m<sup>2</sup>] Ver anexo J.  
 $G$  - Aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>]  
 $H_{geo}$  - Altura geodésica del espejo al ojo del impulsor [m]  
 $H_f$  - Perdidas por fricción de la tubería de alimentación [m]

Las pérdidas de carga en la tubería ( $H_f$ ) se determinan de acuerdo al factor de rozamiento, que a su vez es calculado con la rugosidad relativa de la tubería y el número de Reynolds. Teniendo en cuenta que el número de Reynolds es un número adimensional que indica la turbulencia del flujo dentro de la tubería, entendiéndose como turbulencia al estado de agitación del flujo.

Para casos de diseño se considera:

- Flujo laminar -  $R_e$  menor a 2000
- Flujo en transición -  $R_e$  2000 a 4000
- Flujo turbulento -  $R_e$  mayor a 4000

Para calcular el número de Reynolds se tiene:

$$R_e = \frac{Vd\rho}{\mu} \quad \text{Donde: } V - \text{Velocidad [m/s]}$$

$d$  - diámetro de la tubería [m]  
 $\rho$  - densidad del fluido [Kg/m<sup>3</sup>]  
 $\mu$  - Viscosidad del fluido [Ns/m<sup>2</sup>]. Ver anexo J.

El diámetro de la tubería se selecciona tomando en cuenta que la velocidad del flujo dentro de la tubería no deberá exceder 5 m/s para evitar la erosión de esta. Por lo que se toma una velocidad de 4 m/s:

$$d = \frac{4Q}{\pi V} \quad \text{Donde: } Q - \text{Caudal [m}^3/\text{s]}$$

$V$  - Velocidad del flujo [m/s] = 4.0

$$d = \frac{4(44 \times 10^{-4})}{\pi(4)} = 0.0376 \text{ m} = 1.48 \text{ in} \approx 1 \frac{1}{2}''$$

Considerando la tabla del anexo J, se selecciona la tubería con diámetro de 1 1/2", el cual es el más aproximado al requerido.

Una vez seleccionado el diámetro y considerando una temperatura del flujo de 20 °C se tiene:

$$R_e = \frac{(4)(0.0375)(998.2)}{(1.002 \times 10^{-3})} = 149431$$

Número que indica turbulencia total dentro de la tubería.  
Para calcular la rugosidad relativa de la tubería se tiene:

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\Sigma}{d} = \frac{0.009}{37.5} = 0.00024$$

Teniendo la rugosidad relativa y el número de Reynolds se determina el factor de rozamiento mediante el anexo J. Determinándose  $f = 0.018$ .

Las pérdidas por fricción en la tubería se calculan de la siguiente manera:

$$H_f = H_{f_1} + H_{f_2}$$

Donde:  $H_f$  - Pérdidas por fricción [m]  
 $H_{f_1}$  - Pérdidas por fricción en la tubería [m]  
 $H_{f_2}$  - Pérdidas por fricción en los accesorios [m]

Las pérdidas de carga debido a la tubería en la succión de la BAL1 se calculan:

$$H_f = f \frac{LV^2}{D2g} \dots\dots\dots(7.3)$$

Donde:  $H_f$  - Pérdidas por fricción debido a la tubería tuberías [m]  
 $f$  - Factor de rozamiento. Ver anexo J.  
 $L$  - Longitud de la tubería [m]  
 $D$  - Diámetro de la tubería [m]  
 $V$  - Velocidad del flujo [m/s]  
 $g$  - aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>]

$$H_f = 0.018 \frac{(1.7)(4)^2}{(0.0375)(2)(9.81)} = 0.66 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga debido a los accesorios en la succión de la BAL1 se calculan tomando en cuenta las pérdidas ocasionadas por cada uno de los accesorios en la tubería.

$$H_a = K \frac{(V)^2}{2g} \dots\dots\dots(7.4)$$

Donde:  $H_a$  - Pérdidas por fricción debido a los accesorios [m]  
 $K$  - Coeficiente de resistencia. Ver anexo J.

El primer accesorio que se encuentra en la tubería es una válvula de retención, del tipo pie con obturador oscilante, que se encarga de impedir retorno del flujo y mantener cebada la bomba. Para calcular su coeficiente de resistencia se emplea el anexo J que muestra:

$$K = 75 f = 75(0.018) = 1.35$$

Sustituyendo:

$$H_v = 1.35 \frac{(4)^2}{2(9.81)} = 1.1 \text{ m}$$

El segundo accesorio es un codo de 90°. Calculando su coeficiente de resistencia se emplea el anexo J que muestra:

$$K = 30 f = 30 (0.018) = 0.54$$

Sustituyendo:

$$H_c = 0.54 \frac{(4)^2}{2(9.81)} = 0.44 \text{ m.}$$

Por lo que:

$$H_{huc} = 0.66 + 1.1 + 0.44 = 2.2 \text{ m}$$

De la misma forma para las pérdidas de carga por fricción en toda la tubería de la BAL1 se tiene:

$$H_f = 0.018 \frac{(3.15)(4)^2}{(0.0375)(2)(9.81)} = 1.23 \text{ m.}$$

Debido a 2 codos 90° se tiene una pérdida de 0.88 m.

Debido a válvula de pie se tiene una pérdida de 1.1m.

Debido a la Salida de la tubería:

$$H_{sal} = 1.0 \frac{(4)^2}{2(9.81)} = 0.815 \text{ m.}$$

De tal forma que las pérdidas totales en la descarga de BAL1 son:

$$H_{huc} = 0.57 + 0.815 + 0.44 = 1.825 \text{ m.}$$

Teniendo la pérdida de carga por fricción en la tubería de succión se sustituye en 7.2:

$$NPSH_{u,vp} = \frac{(78048 - 2340)}{(998.2)(9.81)} - 1.4 - 2.2 = 4.13 \text{ m}$$

Valor que muestra que en todas las bombas de la planta se contara con NPSH suficiente.

Para el buen funcionamiento de la bomba se calcula la Carga Dinámica Total (CDT):

$$CDT = H_u + H_f,$$

Donde:  $H_u$  - Carga de altura [m]

$H_f$  - Carga por fricción en la tubería [m]

$$CDT = 2.5 + 4.025 = 6.525 \text{ m}$$

Por último se calcula la demanda de potencia (BHP), considerando una eficiencia del 80%:

$$BHP = \frac{Q \times CDT \times \gamma}{\eta K} \quad \text{Donde: } Q - \text{Caudal [m}^3/\text{s]}$$

CDT- Carga Dinámica Total [m]

$\gamma$  - Peso específico del fluido [N/ m<sup>3</sup>]. Ver anexo J.

K- Constante de conversión

$\eta$  - Eficiencia del motor

$$BHP = \frac{(44 \times 10^{-4})(6.525)(9789)}{(0.8)(746)} = 0.47 \text{ HP}$$

- Se requiere de una bomba para el transporte de hasta 700 litros de aguas de desecho con Cromo VI de la fosa de cianuros a la unidad de tratamiento por reducción. Dicha bomba únicamente deberá de transportar el agua de la fosa a la unidad de tratamiento por lo que se requiere el calculo de la bomba de acuerdo con una altura de 2.4 metros, considerando una tubería de PVC C-80 1 1/2" con dos codos y una longitud de tubería de 2.85 metros. Esta bomba se denominara "BAL2".

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

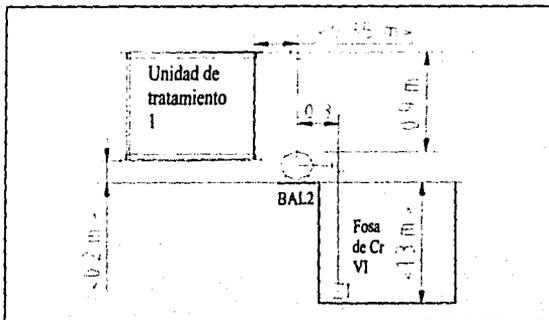


Fig.7.18 Bomba de alimentación BAL2

El caudal requerido para este cambio se calcula de acuerdo al tiempo de transferencia de 3 min.

$$Q = \frac{0.7}{180} = 38.89 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

Calculando el diámetro de la tubería requerido para manejar ese caudal:

$$d = \frac{4(38.89 \times 10^{-4})}{\pi(4)} = 0.035 \approx 1 \frac{1}{2}''$$

Diámetro que provoca una velocidad de 3.52 m/s.

Se utiliza el mismo diámetro y material de la tubería así como una velocidad del flujo muy aproximada a la BAL1, por lo que el factor de rozamiento es el mismo de la tubería de la bomba BAL1 = 0.018. De tal forma que las pérdidas de carga en la tubería son:

$$\text{Debido a la tubería - } H_f = 0.018 \frac{(2.85)(3.52)^2}{(0.0375)(2)(9.81)} = 0.86 \text{ m.}$$

$$\text{Debido a la válvula de pie - } H_v = 1.35 \frac{(3.52)^2}{2(9.81)} = 0.85 \text{ m.}$$

$$\text{Debido a 2 codos de } 90^\circ - H_c = 0.54 \frac{(3.52)^2}{2(9.81)} = 0.34 \times 2 = 0.68 \text{ m.}$$

$$\text{Debido a la salida - } H_{sal} = 1.0 \frac{(4)^2}{2(9.81)} = 0.815 \text{ m.}$$

$$H_t = 0.86 + 0.85 + 0.68 + 0.815 = 3.2 \text{ m.}$$

Calculando la Carga Dinámica Total (CDT):

$$CDT = H_u + H_f$$

Donde:  $H_u$  - Carga de altura [m]

$H_f$  - Carga por fricción en la tubería [m]

$$CDT = 2.2 + 3.2 = 5.4 \text{ m}$$

Por último se calcula la demanda de potencia (BHP):

$$BHP = \frac{(38.89 \times 10^{-4})(5.4)(9789)}{(0.8)(746)} = 0.34 \text{ HP}$$

- Se requiere de una bomba para el transporte aproximadamente 6500 litros de aguas de desecho generales de la fosa de aguas de desecho generales al tanque de neutralización 1. Dicha bomba únicamente deberá de transportar el agua de la fosa al tanque, por lo que se requiere el cálculo de la bomba de acuerdo con una altura de 2.9 metros, considerando una tubería de PVC C-80 3" con dos codos y una longitud de tubería de 3.5 metros. Esta bomba se denominará "BAL3".

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

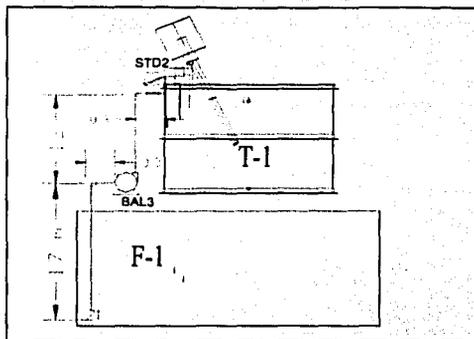


Fig. 7.19 Bomba BAL3

El caudal requerido para este cambio se calcula de acuerdo al tiempo de transferencia de 6 min.

$$Q = \frac{6.5}{360} = 18 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

Para calcular las pérdidas de carga en la tubería se requiere determinar el diámetro de la tubería:

$$D = \sqrt{\frac{4(18 \times 10^{-3})}{(3.1416)(4)}} = 0.0756 \text{ m} \approx 3''$$

Al seleccionar el diámetro de 3" (0.0725 m.) la velocidad aumenta a 4.36 m/s

Una vez calculado el diámetro se obtiene el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{(4.36)(0.0725)(998.2)}{(1.002 \times 10^{-3})} = 314901$$

Y después la rugosidad relativa:

$$\text{Rugosidad relativa } \frac{\Sigma}{d} = \frac{0.009}{73.66} = 0.00012$$

Con la rugosidad relativa y el número de Reynolds se obtiene  $f$  (factor de rozamiento) del anexo J, siendo igual a 0.0155. Obtenido el factor de rozamiento se calcula la pérdida de carga por rozamiento en la tubería:

$$\text{Debido a la tubería - } H_f = 0.0155 \frac{(3.5)(4.36)^2}{(0.0725)(2)(9.81)} = 0.72 \text{ m.}$$

Debido a la válvula de pie -  $K = 75 f = 75 (0.0155) = 1.16$

$$H_v = 1.16 \frac{(4.36)^2}{2(9.81)} = 1.12 \text{ m.}$$

Debido a dos codos de 90° -  $K = 30 f = 30 (0.0155) = 0.46$

$$H_c = 0.46 \frac{(4.36)^2}{2(9.81)} = 0.44 \times 2 = 0.88 \text{ m.}$$

Debido a la salida -  $H_{sal} = 1.0 \frac{(4.36)^2}{2(9.81)} = 0.96 \text{ m.}$

$$H_f = 0.72 + 1.12 + 0.88 + 0.96 = 3.68 \text{ m.}$$

Calculando la Carga Dinámica Total (CDT):

$$CDT = 2.9 + 3.68 = 6.58 \text{ m}$$

Por ultimo se calcula la demanda de potencia (BHP):

$$BHP = \frac{(18 \times 10^{-3})(6.58)(9789)}{(0.8)(746)} = 1.94 \text{ HP}$$

- Se requiere de una bomba para el transporte de aproximadamente 6500 litros de aguas de desecho del tanque de neutralización 1 al tanque de neutralización 2. Dicha bomba únicamente deberá de transportar el agua de tanque a tanque, por lo que se requiere el calculo de la bomba de acuerdo con una altura de 1 metro, considerando una tubería de PVC C-80 3", con un codo de 90° y una longitud de tubería de 1.65 metros. Esta bomba se denominara "BAL4". El caudal que maneja esta bomba será el mismo de la BAL3.

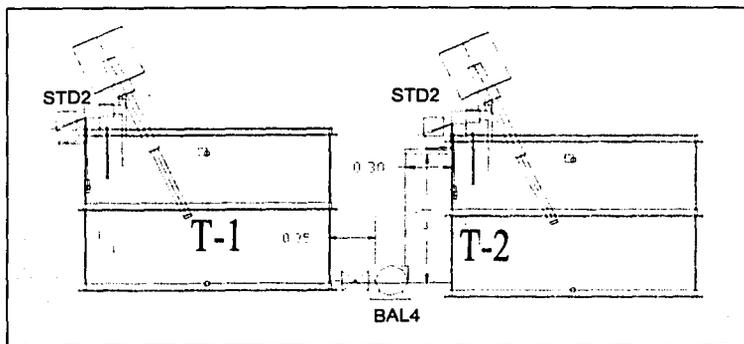


Fig. 7.20 Bomba BAL4.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Por el hecho de que la bomba BAL4 tenga el mismo caudal que BAL3 implica un tiempo de descarga de 6 minutos, diámetro de la tubería = 3", Re = 290892 y por tanto  $f = 0.0155$ .

Las pérdidas de carga por fricción en la tubería son:

$$\text{Debido a la tubería - } H_f = 0.0155 \frac{(1.65)(4.36)^2}{(0.0725)(2)(9.81)} = 0.34 \text{ m.}$$

$$\text{Debido a la válvula de compuerta - } K = 8 f = 8 (0.0155) = 0.124$$

$$H_v = 0.124 \frac{(4.36)^2}{2(9.81)} = 0.12 \text{ m.}$$

$$\text{Debido a 1 codo } 90^\circ = 0.44 \text{ m}$$

$$\text{Debido a la salida - } H_{sal} = 1.0 \frac{(4.36)^2}{2(9.81)} = 0.96 \text{ m.}$$

$$H_f = 0.34 + 0.12 + 0.44 + 0.96 = 1.86 \text{ m.}$$

Calculando la Carga Dinámica Total (CDT):

$$CDT = 1 + 1.86 = 2.86 \text{ m}$$

Por ultimo se calcula la demanda de potencia (BHP):

$$BHP = \frac{(18 \times 10^{-3})(2.86)(9789)}{(0.8)(746)} = 0.84 \text{ HP}$$

Las últimas dos bombas deberán de cumplir además de la altura requerida con un caudal específico y una caída de presión, respectivamente para el buen funcionamiento de los equipos a los que se les suministra las aguas de desecho, por lo que dicho parámetro será tomado en cuenta para el calculo de las bombas.

- Se requiere de una bomba para el suministro de las aguas de desecho del tanque de neutralización 2 al clarificador. Dicha bomba deberá de transportar y suministrar el agua de desecho a un caudal de  $22 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  de acuerdo al caudal requerido por el diseño del clarificador que será controlado por una válvula de globo. Con una altura de 1.85 metros, considerando una tubería de PVC C-80 de 1" con un codo de  $90^\circ$ , un caudalímetro y una longitud de tubería de 2.30 metros. Esta bomba se denomina "BAL5".

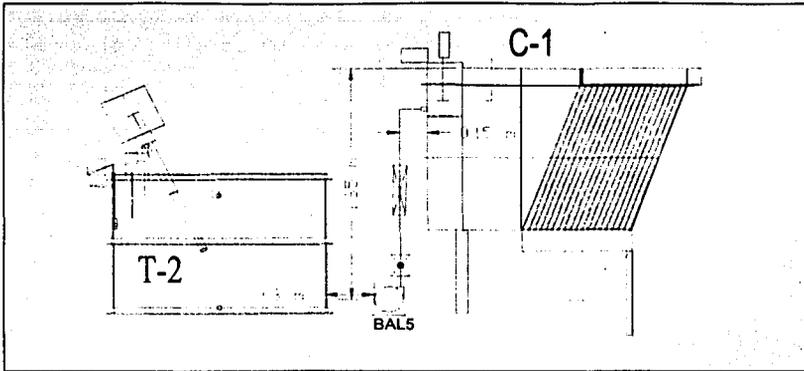


Fig.7.21 Bomba BAL5

Para dicho caudal se requiere una tubería de diámetro:

$$D = \sqrt[4]{\frac{4(22 \times 10^{-4})}{\pi(4)}} = 0.026 \text{ m} = 1.04'' \approx 1''$$

Diámetro que ocasiona una velocidad dentro de la tubería de 4.8 m/s  
Una vez calculado el diámetro se determina el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{(4.8)(0.024)(998.2)}{(1.002 \times 10^{-3})} = 114763$$

Y después la rugosidad relativa:

$$\text{Rugosidad relativa } \frac{\Sigma}{d} = \frac{0.009}{24} = 0.00038$$

Con la rugosidad relativa y el número de Reynolds se obtiene f (factor de rozamiento) del anexo J, siendo igual a 0.02. Obtenido el factor de rozamiento se calcula la pérdida de carga en la tubería:

Debido a la tubería -  $H_f = 0.02 \frac{(2.3)(4.8)^2}{(0.024)(2)(9.81)} = 2.25 \text{ m.}$

Debido a la válvula de -  $K = 8 f = 8 (0.02) = 0.16$

Compuerta  $H_v = 0.16 \frac{(4.8)^2}{2(9.81)} = 0.19 \text{ m.}$

Debido a la válvula de -  $K = 370 f = 370 (0.02) = 7.4$

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

05  
 COM

globo  $H_v = 7.4 \frac{(4.8)^2}{2(9.81)} = 8.7 \text{ m.}$

Debido al codo 90° -  $K = 30 f = 30 (0.02) = 0.6.$

$H_c = 0.6 \frac{(4.8)^2}{2(9.81)} = 0.7 \text{ m.}$

Debido a la salida -  $H_{Sal} = 1.0 \frac{(4.8)^2}{2(9.81)} = 1.17 \text{ m.}$

De tal forma que:

$H_f = 2.25 + 0.19 + 8.7 + 0.7 + 1.17 = 13 \text{ m.}$

Calculando la Carga Dinámica Total (CDT):

$CDT = 1.85 + 13 = 14.85 \text{ m}$

Por ultimo se calcula la demanda de potencia (BHP):

$BHP = \frac{(22 \times 10^{-4})(14.85)(9789)}{(0.8)(746)} = 0.53 \text{ HP}$

Se requiere de una bomba para el transporte y suministro de las aguas de desecho del clarificador al filtro de arena. Dicha bomba deberá de transportar y suministrar el agua de desecho a un caudal de 40 gpm. De acuerdo al caudal manejado por el filtro de arena ya una altura de 2.8 metros y una caída de presión en el filtro de entre 18-24", considerando una tubería de PVC C- 80 1 1/4", con 2 codos de 90° y una longitud de tubería de 3.25 metros. Esta bomba se denomina "BAL6".

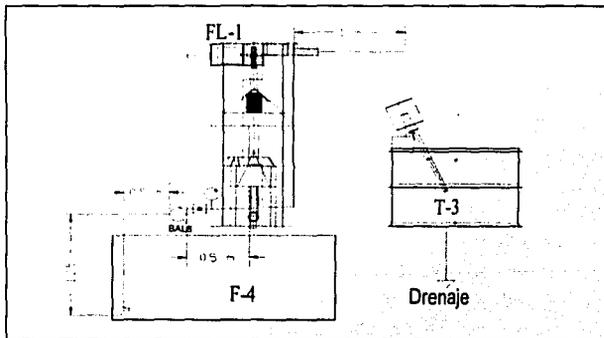


Fig. 7.22 Bomba BAL6

TANTO CON  
 FALLA DE ORIGEN

El diámetro requerido para ese caudal es:

$$d = \frac{4(25.2 \times 10^{-3})}{\pi(4)} = 0.028 \text{ m} = 1.1 \text{ in} \approx 1 \frac{1}{4}''$$

Diámetro que ocasiona una velocidad de 3.13 m/s.

Una vez calculado el diámetro se determina el número de Reynolds:

$$R_v = \frac{(3.13)(0.032)(998.2)}{(1.002 \times 10^{-3})} = 99780$$

Y después la rugosidad relativa:

$$\text{Rugosidad relativa } \frac{\Sigma}{d} = \frac{0.009}{32} = 0.00028$$

Con la rugosidad relativa y el número de Reynolds se obtiene  $f$  (factor de rozamiento) del anexo J, siendo igual a 0.0195. Obtenido el factor de rozamiento se calcula la pérdida de carga en la tubería:

$$\text{Debido a la tubería - } H_f = 0.0195 \frac{(2)(3.13)^2}{(0.032)(2)(9.81)} = 0.6 \text{ m.}$$

$$\text{Debido a la válvula de pie - } K = 75 \quad f = 75 (0.0195) = 1.46$$

$$H_v = 1.46 \frac{(3.13)^2}{2(9.81)} = 0.73 \text{ m.}$$

$$\text{Debido al codo } 90^\circ - \quad K = 30 \quad f = 30 (0.0195) = 0.59$$

$$H_c = 0.59 \frac{(3.13)^2}{2(9.81)} = 0.29 \text{ m.}$$

$$\text{Debido a la salida - } H_{sal} = 1.0 \frac{(3.13)^2}{2(9.81)} = 0.5 \text{ m.}$$

De tal forma que:

$$H_f = 0.6 + 0.73 + 0.29 + 0.5 = 2.12 \text{ m.}$$

Adicionalmente existe una carga ocasionada por el paso del flujo por el filtro de arena y es de 24" = 7.2 m.

Calculando la Carga Dinámica Total (CDT):

$$CDT = 7.2 + 2.12 = 9.32 \text{ m}$$

Por ultimo se calcula la demanda de potencia (BHP):

$$\text{BHP} = \frac{(25.2 \times 10^{-4})(9.32)(9789)}{(0.8)(746)} = 0.38 \text{ HP}$$

### 7.3.2.2.8.1 BOMBAS DOSIFICADORAS.

Se requieren bombas dosificadoras para los químicos agregados en las diferentes fases de los tratamientos

- Una bomba dosificadora de hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) controlada por un controlador de pH y ORP. Dicha bomba debe suministrar la solución al 13 % de concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 52 lt/hr en la unidad de oxidación de cianuro. Presión máxima de trabajo de 250 psi.
- Una bomba dosificadora de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) que es accionada por una controlador de pH y ORP. Dicha bomba debe suministrar la solución al 50 % de concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 0.08 lt/hr por lo que se utiliza una bomba con un caudal de 1 lt/hr en la unidad de oxidación de cianuro. Presión máxima de trabajo de 250 psi.
- Una bomba dosificadora de metabisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) que es accionada por un controlador de pH y ORP. Dicha bomba debe suministrar la solución al 12 % de concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 0.35 lt/hr por lo que se utiliza una bomba con un caudal de 1 lt/hr en la unidad de reducción de cromo. Presión máxima de trabajo de 250 psi.
- Una bomba dosificadora de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que es accionada por un controlador de pH y ORP. Dicha bomba debe suministrar la solución al 98 % de concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 0.07 lt/hr por lo que se utiliza una bomba con un caudal de 1 lt/h en la unidad de reducción de cromo. Presión máxima de trabajo de 250 psi.
- Una bomba dosificadora de hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) que es accionada por un controlador de pH. Dicha bomba debe suministra la solución al 12.2 % de concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 609 lt/hr en el tanque de neutralización 1. Presión máxima de trabajo de 250 psi.
- Una bomba dosificadora de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que es accionada por un controlador de pH. Dicha bomba debe suministra la solución al 98 % de concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 0.00 lt/hr por lo que se utiliza una bomba con un caudal de 1 lt/hr en el tanque de neutralización 1. Presión máxima de trabajo de 250 psi.
- Una bomba dosificadora del precipitador de metales ( $\text{C}_2\text{H}_7\text{NS}_2\text{Na}$ ) que es accionada por un controlador de pH y ORP. Dicha bomba debe suministra la solución al 50 % de

concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 1 lt/hr en el tanque de neutralización 1. Presión máxima de trabajo de 250 psi.

- Una bomba dosificadora de hidróxido de sodio (NaOH) que es accionada por un controlador de pH y ORP. Dicha bomba debe suministrar la solución al 12. % de concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 1 lt/hr en el tanque de neutralización 2. Presión máxima de trabajo de 250 psi.
- Una bomba dosificadora de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) que es accionada por un controlador de pH. Dicha bomba debe suministra la solución al 98 % de concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 0.00 lt/hr por lo que se utiliza una bomba con un caudal de 1 lt/hr en el tanque de neutralización 1. Presión máxima de trabajo de 250 psi.
- Una bomba dosificadora de polímero catiónico. Dicha bomba debe suministra la solución al 12 % de concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 40 lt/hr en el compartimento de mezcla rápida del clarificador. Presión máxima de trabajo de 250 psi.
- Una bomba dosificadora de polímero aniónico. Dicha bomba debe suministra la solución al 0.1 % de concentración de este químico a un caudal de 80 lt/hr en el compartimento de mezcla rápida del clarificador. Presión máxima de trabajo de 250 psi.
- Una bomba dosificadora de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) que es accionada por un controlador de pH. Dicha bomba debe suministra la solución al 98 % de concentración de este químico a un caudal de aproximadamente 1.3 lt/hr en el tanque de ajuste final de pH. Presión máxima de trabajo de 250 psi. Presión máxima de trabajo de 250 psi.

#### 7.3.2.2.9 CONTROLADORES DE pH y ORP.

Se utilizaran 3 medidores/controladores de pH y 2 medidores/controladores de pH y ORP que puedan mantener los valores específicos en cada una de los procesos de tratamiento así como el control de las bombas dosificadoras de los diferentes productos químicos.

- Para el caso de la unidad de oxidación como ya se menciona, se necesita el control tanto del parámetro de pH como ORP, por lo tanto el controlador (Cn-1), contará con un sensor de inmersión simple de pH para mantener este parámetro entre 10.5 en la primera fase de tratamiento y de 9-9.5 en la segunda y un sensor de inmersión simple de ORP para mantener este parámetro entre 500 mV en la primera fase y 600 mV en la segunda. El ORP se usa para controlar la concentración de cloro, para un incremento de diez veces la concentración de cloro el ORP se incrementa 60 mV y para cada incremento de una unidad de pH el ORP disminuye 60 mV. El controlador ordenara a la bomba dosificadores de sosa (NaOH) su activación y suministro a la unidad de oxidación para elevar el pH a 10.5 unidades y consecutivamente a la bomba dosificadora de hipoclorito de sodio para mantener un valor de ORP de 600 mV. Una vez transcurridos treinta minutos deberá de ajustarse manualmente el controlador a un pH de 9 unidades, entonces el controlador ordenará a la bomba dosificadora de ácido sulfúrico y la bomba dosificadora de hipoclorito de sodio se active hasta alcanzar el valor deseado. Después 60 minutos el tratamiento terminará en el momento que los

valores de ORP no puedan ser mantenidos a los niveles desechos, ya que esto estaría indicando la oxidación de todo el cianuro presente.

- Para la unidad de reducción se necesitará establecer los parámetros de pH y ORP del controlador a valores de 3.0 y 250 mV respectivamente. El controlador (Cn-2), contará con sensores de inmersión simples de pH y ORP con los cuales realizará las mediciones del proceso para que por medio de estas ordene a las bombas dosificadoras agregar metabisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) para elevar el ORP y ácido sulfúrico para disminuir el pH. Una vez transcurridos aproximadamente veinticinco minutos el ORP no podrá ser mantenido a valores altos, situación que indicará que se a reducido todo el cromo VI presente y por tanto el agua de desecho podrá ser descargada a la fosa de desechos generales.
- Para el tanque de neutralización 1 se necesitará únicamente de un medidor/controlador de pH (Cn-3), que controle las bombas dosificadoras de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), para mantener el pH a valores de 8.5 una vez alcanzado este valor el agua de desecho podrá ser bombeada al siguiente tanque. El controlador será de electrodo de inmersión simple para pH.
- Para el tanque de neutralización 2 se necesitará únicamente de un medidor/controlador de pH (Cn-4), que controle la bomba dosificadora de sosa ( $\text{NaOH}$ ), para mantener el pH a valores de 10.5 una vez alcanzado este valor el agua de desecho podrá ser bombeada al siguiente tanque. El controlador contará con un electrodo de inmersión simple para la medición de pH.
- Para el ajuste final de pH se necesitará únicamente de un medidor/controlador de pH (Cn-5) que controle la bomba dosificadoras de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), para obtener un pH de 7.0, una vez alcanzado este valor el agua de desecho podrá ser descargada al drenaje. El controlador será compuesto por el electrodo de inmersión simple para pH, amplificador de señal conectado al sensor y pantalla indicadora y controles.

### 7.3.2.2.10 SECUENCIA DE OPERACIÓN

Una vez generadas las diferentes corrientes de agua de desecho debido a la operación de la planta de galvanoplastia, se inicia la operación de la planta de tratamiento:

- (1) Las diferentes corrientes de desechos serán conducidas y segregadas en el sistema de coleccion (S-1) por medio de gravedad a las fosas de recolección (F-1, F-2, F-3) respectivamente.
- (2) Una vez llena la fosa F-2, la bomba (BAL1), activada y desactivada manualmente trasladará el agua de desecho a la unidad de tratamiento U-1 donde se eliminará el cianuro. Una vez encendida la bomba (BAL1) se encenderán también manualmente los equipos de la unidad de oxidación (U-1) para así iniciar el tratamiento, después de aproximadamente 30 minutos se reajustarán los parámetros de pH y ORP, para poder así dar el siguiente paso de tratamiento, dicha operación será realizada por medio del controlador (Cn-1), transcurridos aproximadamente los siguientes 30 minutos y ya que se oxide todo el cianuro presente,

detectado por la caída de ORP, el agua de desecho será descargada por gravedad a la fosa de desechos generales F-1 y los equipos de U-1 serán apagados manualmente.

- (3) Simultáneamente a (2), la bomba (BAL2), activada y desactivada manualmente trasladará el agua de desechos de la fosa F-3 a la unidad de reducción U-2 donde se destruirá el cromo VI. Una vez encendida la bomba (BAL2) también se encenderá manualmente el equipo de la unidad de reducción U-2 estableciendo los valores de los parámetros de pH y ORP en el controlador (Cn-2) para así iniciar el tratamiento, eliminado el cromo VI del agua de desecho después de aproximadamente 25 minutos, el agua de desecho será descargada a la fosa F-1 y los equipos de la unidad U-2 se apagarán manualmente.
- (4) Una vez que el agua de desecho de (2) y (3) sea descargada en F-1 ocurrirá una neutralización de estas corrientes por sí mismas, por lo que se detendrá esta agua de desecho por 10 minutos permitiendo se lleve a cabo esta reacción, seguido de esto la bomba (BAL3) activada y desactivada manualmente transportará el agua al tanque de tratamiento (T-1) donde se realiza un ajuste de pH, dicho ajuste se llevará por medio del controlador (Cn-3), además se encenderá la bomba dosificadora del secuestrante de metales durante el tiempo que dure esta operación. Una vez alcanzado el pH requerido los equipos de este tanque se apagarán manualmente, y la bomba (BAL4) activada y desactivada manualmente trasladará el agua de desecho al siguiente tanque (T-2).
- (5) Cuando el agua de desecho se encuentre en el tanque (T-2) el equipo de este tanque se encenderá manualmente, para así llevar a cabo el siguiente ajuste de pH por medio del controlador (Cn-4), alcanzado el pH requerido después de aproximadamente 10 minutos el equipo se apagará para transportar el agua de desecho al siguiente tratamiento.
- (6) La bomba (BAL5) activada y desactivada manualmente transportará entonces el agua al clarificador (C-1) a un caudal controlado por una válvula de compuerta a la salida de la bomba y medido por un caudalímetro. Encendida la bomba (BAL5) también será encendido manualmente el equipo del clarificador, en la primera vez de funcionamiento después de un vacío total del clarificador y para que al cabo de aproximadamente 50 minutos la totalidad del volumen del agua de desecho se encuentre en el clarificador  $2.05 \text{ m}^3$  y en la fosa de recolección del líquido clarificado  $3.93 \text{ m}^3$  (F-4), donde el volumen de agua de desecho en la fosa será descargado del clarificador por medio del rebosadero en el clarificador gracias a la gravedad y el volumen de agua de desecho en el clarificador será descargado a la fosa (F-4) hasta la siguiente carga de aguas de desecho, lo que indica que para las consecutivas cargas se tendrá un total de  $6.6 \text{ m}^3$  de aguas de desecho en la fosa (F-4). Cuando el tanque de (T-2) se encuentre vacío, tanto la bomba (BAL5) como el equipo del clarificador serán apagados manualmente.
- (7) Ya que el agua desecho se encuentre en la fosa de recolección (F-4), se iniciará el funcionamiento de la bomba (BAL6) activada y desactivada manualmente, la cual funcionará a un caudal regulado por medio de una válvula a la salida de esta y medido por un caudalímetro que se encontrara después de la bomba y antes del filtro de arena. La bomba provocará el paso del agua desecho por medio de filtro de arena (FL-1) para después ser descargada por medio de la gravedad al tanque (T-3). Una vez que se encienda la bomba

(BAL6) será encendido manualmente el equipo de filtro de arena (F-1) el cual será apagado manualmente después de ser bombeado la mayor parte de el agua de desecho 5200 litros.

- (8) Cuando el agua desecho este en el tanque (T-3) el equipo de este tanque será encendido manualmente hasta alcanzar el pH requerido para poder realizar la descarga del agua tratada al drenaje y entonces apagar este equipo.

El diagrama de flujo y arreglo general de la planta de tratamiento se muestra en el anexo en el anexo I.

### 7.3.3 REACTIVOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LOS TRATAMIENTOS DEL AGUA RESIDUAL.

PRODUCTO	ETAPA DE TRATAMIENTO	CONCENTRACIÓN UTILIZADA
Acido Sulfúrico (1)	- Reducción de cromo VI. - Ajuste final de pH.	Al 98 %. Al 10% en peso.
Hidróxido de Calcio (1)	- Neutralización #1.	Al 10%. (10 Kg/100 lt agua).
Hidróxido de Sodio (1)	- Neutralización #2. - Oxidación de cianuro.	50 % líquida.
Hipoclorito de Sodio (1)	- Oxidación de cianuro.	Al 13 %.
Metabisulfito de Sodio (1)	- Reducción de cromo.	Al 25 % (25 Kg/100lt agua).
Polímero Anionico (2)	- Floculación(Polimixer).	Al 0.1% (1 ml /100 lt agua).
Polímero Cationico (2)	- Coagulación	Al 10% (10 lt /100 lt agua).

(1) Los controladores de pH y ORP llevan acabo el control de la dosificación, se adicionarán éstos únicamente en la cantidad y frecuencia que se requiera según los puntos previamente seleccionados.

(2) Será dosificado según los resultados de la floculación.

#### 7.3.3.1 ESPECIFICACIONES DE LOS REACTIVOS QUÍMICOS.

ÁCIDO SULFÚRICO.- Líquido pesado, oxidante, altamente exotérmico al mezclarse con el agua.

Característica	Datos
Nombre común	Acido Sulfúrico
Fórmula	$H_2SO_4$
Punto de ebullición	340 °C sin agua
Gravedad específica	1.834
pH en solución saturada	<1
Solubilidad en agua fría y en agua caliente	Infinita
Corrosivo	Requiere equipo de seguridad
Reactivo	Requiere equipo de seguridad
Tóxico	Requiere equipo de seguridad
Concentración comercial	98% de $H_2SO_4$
Presentación comercial	Porrones de 60 Kg o a granel
Concentración recomendada para uso en la plata de tratamiento "77AE".	55 Kg en 100 lt de agua para neutralización 11 Kg en 100 lt de agua para ajuste final de pH.
Acción	Neutralización y ajuste de pH.

**HIDRÓXIDO DE CALCIO.** Sólido blanco cáustico, polvoriento e irritante, formado por cristales hexagonales, altamente higroscópico.

<b>Característica</b>	<b>Datos</b>
Nombre común	Cal. Hidróxido de calcio
Fórmula	Ca(OH) <sub>2</sub>
Peso molecular	74.1
Índice de refracción	1.574
Punto de fusión	580°C sin agua.
Gravedad específica	2.2
pH en solución saturada	12.4
Solubilidad en agua fría y En agua caliente	.0185 partes en 100 partes de agua a 0 °C .077 partes en 100 partes de agua a 100 °C
Corrosivo	Requiere equipo de seguridad
Reactivo	Requiere equipo de seguridad
Tóxico	Requiere equipo de seguridad
Concentración comercial	99.9 % de CaO
Presentación comercial	Sacos de 25 Kg o a granel
Concentración recomendada para uso en la plata de tratamiento "77°E".	12.5 Kg en 200 lt de agua
Acción	Coagulante, Ajuste de pH.

**HIDRÓXIDO DE SODIO.** Líquido pesado cáustico, e irritante.

<b>Característica</b>	<b>Datos</b>
Nombre común	Sosa, Hidróxido de Sodio
Fórmula	NaOH
Peso molecular	40.0
Índice de refracción	1.574
Punto de fusión	1390 °C. sin agua.
Gravedad específica	2.130
pH en solución saturada	12.4
Solubilidad en agua fría y En agua caliente	42 partes en 100 partes de agua a 0 °C. 347 partes en 100 partes de agua a 100 °C
Corrosivo	Requiere equipo de seguridad
Reactivo	Requiere equipo de seguridad
Tóxico	Requiere equipo de seguridad
Concentración comercial	50% de NaOH
Presentación comercial	Porrones de 25 Kg o 200 Kg.
Concentración recomendada para uso en la plata de tratamiento "77AE".	50%
Acción	Neutralización de ácidos.

HIPOCLORITO DE SODIO. Líquido amarillo cáustico, e irritante, de fuerte olor a cloro.

Característica	Datos
Nombre común	Cloro. Hipoclorito de Sodio
Fórmula	NaClO
Punto de ebullición	
Gravedad específica	2.2
pH en solución saturada	12.4
Solubilidad en agua fría y En agua caliente	26.0 partes en 100 partes de agua a 0 °C 158 partes en 100 partes de agua a 100 °C
Corrosivo	Requiere equipo de seguridad
Reactivo	Requiere equipo de seguridad
Tóxico	Requiere equipo de seguridad
Concentración comercial	13 % de NaClO
Presentación comercial	Porrones de 60 Kg.
Concentración recomendada para uso en la plata de tratamiento "77AE".	Comercial
Acción	Oxidante de cianuros

METABISULFITO DE SODIO. Sólido blanco polvoriento e irritante, higroscópico.

Característica	Datos
Nombre común	Metabisulfito de Sodio
Fórmula	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Peso molecular	190
Índice de refracción	1.5079
Punto de fusión	48 °C
Gravedad específica	1.685
Solubilidad en agua fría y En agua caliente	74.7 partes en 100 partes de agua a 0 °C. 301.8 partes en 100 partes de agua a 100 °C
Corrosivo	Requiere equipo de seguridad
Reactivo	Requiere equipo de seguridad
Tóxico	Requiere equipo de seguridad
Concentración comercial	99.9% Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Presentación comercial	Sacos de 25 Kg
Concentración recomendada para uso en la plata de tratamiento "77AE".	50 Kg en 200 lt agua.
Acción	Reductor de cromo hexavalente.

**POLÍMERO ANIÓNICO.** Líquido blanco, de alto peso molecular, soluble en agua formando soluciones de alta viscosidad.

<b>Característica</b>	<b>Datos</b>
Nombre común	Polímero Aniónico.
Punto de ebullición	100 °C, ocurre descomposición
Gravedad específica	1.06
pH en solución saturada	5.5 a 6
Solubilidad en agua fría y En agua caliente	Infinita se descompone a concentraciones arriba de 15 %
Reactivo	Requiere equipo de seguridad
Tóxico	Requiere equipo de seguridad
Concentración comercial	99.9 % de poliacridamida
Presentación comercial	Garrafrones de 50 Kg y tambores de 200 Kg
Concentración recomendada para uso en la plata de tratamiento "77AE".	1ml de polímero concentrado en un lt de agua.
Acción	Floculante

**POLÍMERO CATIONICO.** Líquido transparente de alto peso molecular, soluble en agua de color ámbar.

<b>Característica</b>	<b>Datos</b>
Nombre común	Polímero catiónico
Formula	ALCL, polimerizado
Punto de ebullición	100 °C ocurre descomposición
Gravedad específica	1.1-1.14
pH en solución saturada	3.5 a 4.25
Solubilidad en agua fría y En agua caliente	Infinita
Reactivo	Requiere equipo de seguridad
Tóxico	Requiere equipo de seguridad
Concentración comercial	Comercial
Presentación comercial	Garrafrones de 50 Kg y tambores de 200 Kg
Concentración recomendada para uso en la plata de tratamiento "77AE".	Solución en agua al 5 % en peso
Acción	Coagulante/ floculante

PRECIPITADOR DE METALES (SCUESTRANTE). Líquido verdoso, de alto peso molecular, soluble en agua formando soluciones de olor a sulfuro, altamente corrosivo.

Característica	Datos
Nombre común	Secuestrante de metales.
Punto de ebullición	100 °C, ocurre descomposición
Gravedad específica	1.14
pH en solución saturada	10.5
Solubilidad en agua fría y En agua caliente	Infinita
Corrosivo.	Requiere equipo de seguridad
Reactivo	Requiere equipo de seguridad
Tóxico	Requiere equipo de seguridad
Presentación comercial	Garrafrones de 50 Kg y tambores de 200 Kg
Concentración recomendada para uso en la plata de tratamiento "77AE".	Soluciones de agua al 40 % en peso.
Acción	Secuestrante de metales.

### 7.3.3.2 SEGURIDAD NECESARIA PARA EL MANEJO DE LOS REACTIVOS QUÍMICOS.

Para todos los químicos se requiere de equipo de protección personal para su apropiado manejo, el cual fundamentalmente consta de:

Ojos	Goggles, careta.
Nariz	Mascarilla con filtro para gases.
Manos	Guantes de hule resistentes al ataque químico.
Pies	Botas resistentes al ataque químico.

Los procedimientos de emergencia a seguir en caso accidente son:

CONTACTO	Ojos: Si el líquido salpica los ojos, es necesario enjuagarse con agua limpia por aproximadamente 15 minutos o hasta que pare la irritación que se genera, si la irritación persiste, consultar a un oculista o doctor. Piel: Quitarse la ropa contaminada y lavarse la piel afectada con agua limpia y fresca utilizando jabón normal, luego enjuagarse apropiadamente. La ropa puede lavarse de forma normal.
INHALACIÓN	Si alguna persona resulta afectada por los vapores, se deberá separar del sector contaminante para que respire aire fresco. Sin los síntomas persisten solicitar atención médica.
INGESTIÓN	Si algún de los químicos se ingiere, no se deberá de inducir el vómito. Si el producto fue bebido quitarlo de la boca y solicitar ayuda médica.

En caso de derrame de alguno de los químicos utilizados en la planta utilice material inerte tal como el aserrín, arena o tierra para la limpieza de este. Enjuague con agua suficiente el material restante. Los derrames de soluciones diluida pueden lavarse con grandes cantidades de agua cuidando no desecharlas al sistema de drenaje sin previo tratamiento.

Cada uno de los químicos utilizados en la planta de tratamiento tienen algunas de sus características diferentes unos de otros por lo que se hace necesaria la caracterización de estos y los cuidados que se deberán de tener cuando estos son manejados.

1. Ácido sulfúrico: Líquido pesado transparente de color ámbar oscuro, altamente corrosivo con olor característico de ácido irritante. Oxidante fuerte que desprende grandes cantidades de calor cuando se diluye.

- Aplicación: Se utiliza para oxidar y disminuir el pH de las aguas residuales.
- Reactividad: Reacciona violentamente con el agua. Puede reaccionar con ácidos y bases fuertes, su almacenamiento deberá ser aislado.
  - Rutas de entrada al organismo: Inhalación, ingestión y contacto.
  - Peligro de su manejo: Puede irritar y hasta quemar los lugares afectados por contacto.
  - Efectos a la sobre exposición: Provoca aumento en la severidad de las lesiones.

2. Hidróxido de calcio. Sólido cáustico blanco de baja solubilidad en agua de olor característico a tierra húmeda. De gran disponibilidad y capacidad. Provoca grandes cantidades de lodos.

- Aplicación: Para neutralización y ajuste de pH. Eleva el pH a valores en que los metales y sales de estos son poco solubles y por consecuencia sedimentables.

Con características y requerimientos de manejo y cuidado muy semejantes al hidróxido de sodio.

3. Hidróxido de Sodio. Sal cáustica que al 50 % es una solución blanca de apariencia untuosa y olor irritante. Compatible con sales de aluminio o agentes catiónicos.

- Aplicación: Se utiliza para aumentar el pH de las aguas residuales y precipitar los sólidos suspendidos en estas en forma de hidróxidos. La aplicación aumenta la cantidad de sólidos sedimentables. Generalmente para ajustes pequeños.
- Reactividad: Reacciona violentamente en combinación con ácidos, metales ligeros y agua produciendo calor.
- Almacenaje: En un lugar fresco y apartado de agua y ácidos.
- Rutas de entrada al organismo: Principalmente Ingestión e inhalación.
- Efectos a la sobre exposición: Aumento en la severidad de las lesiones.

4. Hipoclorito de Sodio. Sal corrosiva, en solución de tonalidad amarilla y altamente oxidante, con olor característico a cloro irritante.

- Aplicación. Este producto se utiliza como oxidante de cianuros y como desinfectante de aguas residuales. La adición de este producto aumenta la cantidad de sólidos disueltos.
- Reactividad. Reacciona violentamente en combinación con cloruros líquidos, ácidos, metales ligeros y agua produciendo gran desprendimiento de gases.
- Almacenaje. Se debe de realizar en un lugar fresco retirado de ácidos.
- Rutas de entrada al organismo: Ingestión, inhalación y contacto.
- Efectos de la sobre exposición. Aumento en los síntomas y signos de exposición.

5. Metabisulfito de Sodio. Reductor fuerte. En solución de apariencia transparente y olor característico a óxidos de azufre, altamente irritante.

- Aplicación. Se aplica para el tratamiento de cromo hexavalente, como reductor. La adición de este producto incrementa la cantidad de sólidos disueltos.
- Reactividad. Puede reaccionar con ácidos fuertes con la generación de gases sumamente tóxicos.
- Almacenaje. Lejos de productos reactivos.
- Rutas de entrada al organismo. Inhalación, ingestión y contacto.
- Efectos de la sobre exposición a este. Aumento en la severidad de las lesiones.

## CAPITULO 8

**Factibilidad económica del sistema de tratamiento propuesto**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De acuerdo con lo ya expuesto en capítulos anteriores, el problema para poder controlar y prevenir la contaminación en nuestro país es la falta de financiamientos que permitan a las pequeñas y medianas empresas acceder y aterrizar proyectos que solucionen y complementen sus respectivos procesos industriales alcanzando el nivel y la cultura para tener sistemas técnica y tecnológicamente limpios, libres de residuos peligrosos mal manejados y adquirir el compromiso social que las industrias nacionales deben mantener con relación al medio ambiente.

En este capítulo se dará el costo real del proyecto detalladamente expuesto, realizando un estudio económico del equipo necesario y la modificación del proceso y proponiendo algunos sistemas de financiamiento que permitirán la factibilidad del proyecto a la medida y necesidades de la empresa en cuestión.

VIII.1. - COTIZACIÓN DEL EQUIPO.

No.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
1	Compra del predio contiguo, para construcción de planta de tratamiento de aguas residuales de 100 metros cuadrados.	1	\$1800 m <sup>2</sup>	\$180.000.00
2	Acometida eléctrica para 200 Amperes, 220 Volts, Trifásica.	1	-----	\$ 40.000.00
3	Fosas de recolección de concreto 1.5 m <sup>3</sup> .	2	\$ 3000 c/u	\$ 6.000.00
4	Fosas de recolección de concreto 7 m <sup>3</sup> .	2	\$11000 c/u	\$ 22.000.00
5	Tanques de las unidades 1 m <sup>3</sup> , de acero al carbón ¼".	2	\$1300 c/u	\$ 3.900.00
6	Tanques de tratamiento 7 m <sup>3</sup> , de acero al carbón ¼".	3	\$ 9000 c/u	\$ 27.000.00
7	Clarificador de 4.2 m <sup>3</sup> , de acero al carbón ¼". 40 placas de 1.5 m <sup>3</sup> .	1	\$50000	\$ 50.000.00
8	Bomba centrífuga con motor trifásico de 2 HP y 220 volts.	1	\$15000 c/u	\$ 15.000.00
9	Bomba centrífuga con motor trifásico de 1 HP y 220 volts.	1	\$ 13500 c/u	\$ 13.500.00
10	Bomba centrífuga con motor monofásico de ¼ HP y 115 volts.	4	\$ 8300 c/u	\$ 33.200.00
11	Bomba dosificadora de químico accionada por controlador de ORP y/o pH. Caudal de 0-0.58 gpm. Presión de trabajo 250 PSI.	11	\$3600	\$ 39.600.00
12	Bomba dosificadora de químico accionada por controlador de pH. Caudal de 2-3 gpm Presión de trabajo 250 PSI.	1	4070\$ c/u	\$ 4.070.00
13	Mezclador tipo turbina de ¼ HP, 207 rpm y diámetro del impulsor de 30 cm.	1	11300\$ c/u	\$ 11.300.00
14	Mezclador tipo turbina de ½ HP, 225 rpm y diámetro del impulsor de 26 cm.	1	10500\$ c/u	\$ 10.500.00
15	Mezclador tipo turbina de 1/10 HP, 340 rpm y diámetro del impulsor de 15 cm.	2	5700\$ c/u	\$ 11.400.00
16	Mezclador tipo turbina de 2 HP, 86 rpm y diámetro del impulsor de 60 cm.	3	13300\$ c/u	\$ 39.900.00
17	Controlador /Medidor de pH y ORP.	2	7370 \$ c/u	\$ 14.740.00

CAPITULO VIII. FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO

No.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
18	Controladores /Medidores de pH	3	3900 \$ c/u	\$ 11.700.00
19	Filtro de arena automático con sistema de retrolavado continuo para 40 GPM.	1 unidad	\$210000	\$ 210.000.00
20	Electrodo de pH	5	1750\$ c/u	\$ 8750.00
21	Electrodo de ORP	2	2700\$ c/u	\$ 5400.00
22	Cable para electrodo para montaje sumergible o en línea de cuerpo epoxico.	10	1317\$ c/u	\$ 13170.00
23	Tubo de PVC C-80 ½"	16 mts.	6.24 \$/m	\$ 112.30
24	Tubo de PVC C-80 ¾"	35.5 mts	8.33 \$/m	\$ 300.10
25	Tubo de PVC C-80 1"	2.5 mts	11.91 \$/m	\$ 71.46
26	Tubo de PVC C-80 1 ¼"	5 mts.	18.1 \$/m	\$ 108.60
27	Tubo de PVC C-80 1 ½"	20 mts.	18.33 \$/m	\$ 440.00
28	Tubo de PVC C-80 2"	22 mts	24.7 \$/m	\$ 592.00
29	Tubo de PVC C-80 3"	22 mts	49 \$/m	\$ 1176.00
30	Tubo de PVC C-80 4"	2 mts	68.6 \$/m	\$ 411.60
31	Válvula de globo de PVC C-80 ½".	13	134.4 \$c/u	\$ 1747.00
32	Válvula de globo de PVC C-80 ¾".	28	176.28 \$c/u	\$ 4935.00
33	Válvula de globo de PVC C-80 1".	2	264.42 \$c/u	\$ 528.00
34	Válvula de globo de PVC C-80 2"	0	571.14 \$c/u	\$ 5140.20
35	Válvula de compuerta de PVC C-80 1"	2	213.72 \$c/u	\$ 427.40
36	Válvula de compuerta de PVC C-80 3"	2	605.7 \$c/u	\$ 1211.40
37	Válvula de pie de PVC C-80 1 ¼"	2	422.64 \$c/u	\$ 845.29
38	Válvula de pie de PVC C-80 1 ½"	3	540.97 \$c/u	\$ 1622.90
39	Válvula de pie de PVC C-80 3"	2	1434.6 \$c/u	\$ 2869.20
40	Codo de 90° PVC C-80 ½"	13	3.6 \$c/u	\$ 46.80
41	Codo de 90° PVC C-80 ¾"	28	5.3 \$c/u	\$ 148.40
42	Codo de 90° PVC C-80 1"	2	8.35 \$c/u	\$ 16.70
43	Codo de 90° PVC C-80 1 ¼"	4	13.57 \$c/u	\$ 54.00
44	Codo de 90° PVC C-80 1 ½"	5	18.7 \$c/u	\$ 90.00
45	Codo de 90° PVC C-80 2"	12	31.1 \$c/u	\$ 376.00
46	Codos de 90° PVC C-80 3"	5	82.2 \$c/u	\$ 410.00
47	Codos de 90° PVC C-80 4"	2	144.3 \$c/u	\$ 820.00
48	Reducción tubo PVC C-80 3-2 "	2	37.1 \$c/u	\$ 74.20
49	Reducción tubo PVC C-80 4-2 "	2	78.3 \$c/u	\$ 156.60
50	Reducción tubo PVC C-80 3-1 ½"	2	33.5 \$c/u	\$ 67.00
51	Reducción tubo PVC C-80 4-3	2	78.3 \$c/u	\$ 156.60
52	Tee reducida ½" x ½" x 1 ½"	3	17.2 \$c/u	\$ 51.60
53	Tee reducida ½" x ½" x 2"	5	36.4 \$c/u	\$ 182.00
54	Tee reducida ½" x ½" x 3"	8	76.8 \$c/u	\$ 614.40
55	Tee reducida ¾" x ¾" x 1 ½"	8	26.3 \$c/u	\$ 210.40
57	Tee reducida ¾" x ¾" x 2"	18	42.3 \$c/u	\$ 761.40
58	Tee reducida ¾" x ¾" x 3"	5	111.4 \$c/u	\$ 557.00

**TOTAL \$ 798,304.96**

(SETECIENTOS NOVENTA Y OCHO MIL TRECIENTOS CUTRO PESOS, 96/00 M.N.)

**VIII.2 COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.**

Los costos de operación de la planta son calculados de acuerdo con el promedio de los consumos del estudio realizado en la tesis "Evaluación Técnico-Económica del Diseño y Operación de Plantas Paquete Instaladas en México, para el Tratamiento Físicoquímico de Aguas Residuales", de la planta de tratamiento de agua de la empresa Indux S.A. de C.V y de la planta de tratamiento de agua "Rains" de la empresa IMASA. Esto debido a que los consumos reales de operación y por ende los costos reales de operación de esta planta podrán ser conocidos exactamente hasta el momento de funcionamiento de la planta.

COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO							
Costos por consumo de productos químicos							
Tratamiento	Volumen de aguas residuales	Frecuencia	Producto químico	Costo \$/Kg	Consumo diario	Consumo mensual	Costo mensual
Neutralización	5800 Lts.	24 horas	NaOH	\$3.0	1.91 Kg	47.85 Kg	\$143.55
			Ca(OH) <sub>2</sub>	\$1.77	7.77 Kg	194 Kg	\$343.38
			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	\$2.0	0	0	0
Coagulación	5800 Lts.	24 horas	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	\$2.36	3.36 Kg	84 Kg	\$198.24
Floculación	5800 Lts	24 horas	P. aionico	\$36.0	0.042 Kg	1.073 Kg	\$38.63
Ajuste final	5800 Lts	24 horas	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	\$2.0	1 Kg	25 Kg	\$50
			NaOH	\$3.0	0	0	\$0
Oxidación del cianuro.	800 Lts	24 horas	NaOH	\$3.0	0.152 Kg	3.8 Kg	\$11.4
			NaClO	\$1.5	33.52 Kg	838 Kg	\$1257
Reducción del cromo hex.	500 Lts.	24 horas	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	\$45.0	0.027 Kg	0.693 Kg	\$31.18
			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	\$2.0	0.15 Kg	3.76 Kg	\$7.52
Costo total por mes			\$2080.00 M/N				
Volumen de agua tratada			145 m <sup>3</sup> /mes				
Costo total			\$ 14.34 m <sup>3</sup>				

Costos de operación de la planta de tratamiento						
Costos de operación						
Concepto		Cantidad	Precio unitario	Precio diario (\$)	Precio mensual (\$)	
Consumo de electricidad por hora		72.5 Watts	1.06 \$Kw/h	0.07	1.92	
Consumo de agua por hora		0.3 Litros	24.2 m <sup>3</sup>	0.06	1.45	
Disposición de residuos peligrosos	Lodos	0.88 m <sup>3</sup>	387 \$/m <sup>3</sup>	13.5	338.6	
Supervisión de procesos						
		Supervisor	10 Hr.	31 \$/Hr	12.4	310.0
		A. Experto	1 Hr.	500 \$/Hr	20	500.0
Mantenimiento	Preventivo	Eléctrico	1 Hr.	40 \$/Hr	8.0	200.0
		Mecánico	5 Hr.	40 \$/Hr	8.0	200.0
		Eléctrico	5 Hr.	40 \$/Hr	8.0	200.0
	Correctivo	Eléctrico	5 Hr.	40 \$/Hr	8.0	200.0
		Mecánico	5 Hr.	40 \$/Hr	8.0	200.0
		Eléctrico	5 Hr.	40 \$/Hr	8.0	200.0
Refacciones y accesorios	Refacciones	1 Kit	1500 \$c/u	60.0	1500.0	
	Equipo de seguridad	3 pza.	200 \$/c/u	24.0	600.0	
	Reposición de electrodos.	0.08 pza.	2700 \$ c/u	9.0	225.0	
Costos del análisis de la calidad del agua	Cianuros	1	160 \$c/u	6.4	160	
	Cromo VI	1	387 \$c/u	15.5	387	
	Sólidos Suspendidos	1	160 \$c/u	6.4	160	
	Sólidos disueltos	1	195 \$c/u	7.8	195	
<b>Costo total por mes</b>		<b>\$ 5578.97</b>				
<b>Volumen de agua tratada</b>		<b>145 m<sup>3</sup>/mes</b>				
<b>Costo total</b>		<b>\$38.47 m<sup>3</sup></b>				

Considerando que se producen 35 000 piezas terminadas en la empresa por cada turno de ocho horas y que por lo menos se labora 1 turno diario durante 5 días a la semana, se tiene un total de 700,000 piezas terminadas mensualmente.

Cada una de las piezas producidas en la empresa tiene un costo promedio de producción de \$10.0. Dichos costos incluyen costos de operación, mano de obra y materia prima.

Si se considera una ganancia del 30 a 40 % se tiene que la ganancia neta de la empresa es de alrededor de \$ 2.100.000.00

Cantidad que justifica evidentemente la inversión necesaria para la construcción e implementación de la planta de tratamiento de las aguas de desecho de la planta de galvanoplastia y de los costos necesarios de operación de esta, ya que como se menciona anteriormente es deber y obligación de las

empresas generadoras de desechos cumplir con la normalización y reglamentación vigente. Por que de lo contrario además de una muy posible clausura temporal o definitiva de la empresa se se hacen acreedores a una multa de hasta 20 000 días de salario mínimo general vigente en el D.F.

### 8.3 - FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

La instrumentación de medidas de minimización y tratamiento de desechos, en algunos casos requiere de cierta inversión, para realizar modificaciones en la planta o para la adquisición de equipo auxiliar.

A fin de que esto no sea una limitante a continuación se presenta información proporcionada por dos instituciones de financiamiento, que cuentan con programas para la prevención de la contaminación. En cuanto a fuentes de financiamiento se presentan los programas de FUNTEC: Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de Tecnología en la Pequeña y Mediana Empresa A.C. y NAFIN: de Nacional Financiera.

#### 8.3.1. - FUNTEC

FUNTEC cuenta con el Fondo para Proyectos de prevención de la Contaminación, FIPREV. El FIPREV es un fondo establecido por FUNTEC y la Comisión para la Cooperación Ambiental en América del Norte (CCA), para financiar proyectos de prevención de la contaminación en industrias pequeñas y medianas en México.

El fondo tiene como objetivo apoyar a las pequeñas y medianas empresas en la realización de inversiones y transferencia de tecnología, cuyo fin sea la prevención de la contaminación. Las ventajas económicas y ambientales de realizar este tipo de proyectos, se centran en el hecho de prevenir la contaminación da mejores resultados en el largo plazo y el costo-beneficio es superior comparado con las medidas de control tradicionales.

Funtec promueve proyectos de prevención de la contaminación para financiar a las pequeñas y medianas empresas en la evaluación e instrumentación de prevención de la contaminación a fin de:

- Evitar barreras comerciales no arancelarias para los productos de exportación.
- Apoyar la supervivencia y consolidación de las PyMEs,
- Eficientizar procesos.
- Cumplir con la normatividad.
- Ampliar los mercados con productos ambientalmente limpios.
- Compromiso social.

#### 8.3.1.1. -TIPOS DE CRÉDITOS

Para Estudios de Evaluación Ambiental:

Investigación y diagnostico que se realice en una pequeña o mediana industria mexicana, para identificar las medidas que se requieren para la prevención de la contaminación.

**Para Proyectos Ejecutivos:**

Instrumentación de medidas de prevención de la contaminación, que demuestren ventajas económicas y ambientales y que hayan sido identificadas en un Estudio de Evaluación Ambiental.

**Financiamiento**

1. Los apoyos se concederán en moneda nacional o en dólares (para empresas que exporten).
2. Se financiarán proyectos hasta por el 80% de su costo total con un máximo en moneda nacional, al equivalente de US dls \$12,000 para los estudios de evaluación ambiental y US dls. \$30,000 para proyectos ejecutivos.
3. La tasa de interés será de TIEE +2 en moneda nacional y LIBOR +3 en US dls.
4. El plazo de pago se determinará en función de la capacidad de generación de flujo de proyecto, con un máximo de 54 meses incluido el periodo de gracia necesaria para la instrumentación.
5. Las formas de pago se acordarán dependiendo de las características del proyecto.

**8.3.1.2 REQUISITOS PRINCIPALES.**

1. Ser una industria mexicana legalmente constituida.
2. Ser una Sociedad Anónima, y por excepción las pequeñas empresas podrían ser Sociedades de Responsabilidad Limitada.
3. Presentar una propuesta de estudio de evaluación ambiental y/o un proyecto ejecutivo.
4. Acreditar capacidad técnico administrativa, adecuada para la ejecución del proyecto.
5. Que las empresas tengan un flujo de efectivo suficiente para acreditar el proyecto.

**8.3.2 - NACIONAL FINANCIERA - NAFIN.**

Dentro de los programas con que cuenta NAFIN, en materia de apoyo a la industria y en materia ambiental se encuentran:

- Operaciones de crédito de segundo piso.
- Operaciones de crédito de primer piso.
- Garantías.
- Créditos a Tasa fija.
- Programa NAFIN-PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo para la Modernización Tecnológica).

- ECIP (European Community Investment Partners),
- NAEF (North America Environmental Fund).

A continuación se describen estos programas.

### 8.3.2.1 OPERACIONES DE CRÉDITO DE SEGUNDO PISO

Este programa tiene como objetivo financiar los proyectos de inversión de las micro, pequeñas y medianas empresas, que tengan por objeto prevenir o eliminar las emisiones contaminantes, el reciclaje de sustancias contaminantes, o bien, la racionalización del consumo de agua y energía.

Estas operaciones se dirigen hacia:

- Realización de estudios, asesorías técnicas y capacitación, relacionados con el proyecto de mejoramiento ambiental de la empresa.
- Adquisición o reacondicionamiento de maquinaria y equipo, para la modernización de la producción y la prevención de la contaminación.
- Construcción de plantas y distritos de control para tratamiento de aguas residuales industriales.
- Aportaciones de capital accionario que realicen personas físicas o morales, para cualquiera de los fines anteriores.

Características.

1. Los créditos se otorgan en moneda nacional o US dólares.
2. La tasa de interés en moneda nacional es de TIIE mas margen del intermediario financiero; para US dls, esta estará en función del plazo, tomando como base la Tasa Libor a 3 meses.
3. El plazo de pago será de hasta 20 años, incluyendo el periodo de gracia.

### 8.3.2.2 OPERACIONES DE CRÉDITO DE PRIMER PISO.

Estas tienen como objetivo el otorgar financiamiento en forma directa a empresas que lleven a cabo proyectos de mejoramiento ambiental.

Sujetos de apoyo:

Empresas pequeñas, medianas y grandes del sector industrial.

Características:

1. Los créditos se otorgan en moneda nacional o US dólares
2. La tasa de interés en moneda nacional es de TIIE; para crédito base US dls, esta será la Tasa Libor a 3 meses.
3. El plazo de pago será de hasta 20 años, incluyendo el periodo de gracia de 3 años como máximo.

4. El monto será hasta por el 75% del costo del proyecto.

### 8.3.2.3 PROGRAMA DE GARANTÍAS

Este programa tiene como objetivo el facilitar a las empresas el acceso a recursos de largo plazo, complementando el nivel de garantías que requieren los bancos.

El riesgo que asuma NAFIN será hasta por el 50% del crédito que otorguen los bancos. Para proyectos de desarrollo tecnológico y medio ambiente, el porcentaje se determinara de acuerdo al tamaño de la empresa:

- 80% para micro y pequeña empresa.
- 75% para mediana,
- 70% para grande.

### 8.3.2.4 CRÉDITOS A TASA FIJA

Estos créditos tiene como finalidad el brindar apoyo adicional a las empresas, mediante la realización de subastas de recursos entre los bancos comerciales, para que estos puedan canalizar créditos a tasa fija.

Las ventajas para las empresas en este caso son.

- Certidumbre en la planeación financiera.
- Tasas de interés competitivas.
- Plazos razonables para la maduración de los proyectos.

Características:

- 1) El monto puede ser:
  - a) Hasta 10 millones a través de la banca comercial.
  - b) Hasta 1 millón a través de intermediarios financieros no bancarios.
- 2) Plazo, ambos incluyen periodo de gracia hasta de 6 meses:
  - a) Hasta 3 años para capital de trabajo.
  - b) Hasta 5 años para activos fijo.

### 8.3.2.5 PROGRAMA NAFIN – PNUD PARA LA MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA

Este programa tiene como objetivo elevar la competitividad y eficiencia de las pequeñas y medianas empresas, mediante la canalización y financiamiento de asistencias técnicas para la incorporación de nuevas tecnologías y para la atención de problemas de contaminación ambiental.

En este caso puede financiarse la asistencia técnica que requieren las empresas para prevenir o solucionar problemas de contaminación ambiental, así como incorporar tecnologías limpias.

Características:

1. El monto puede ser hasta por el 85% de la inversión sin exceder de 30.000 US dlrs.
2. La tasa de interés es la Tasa Nafin de 22.75% al mes de abril de 1998.

### 8.3.2.6 ECIP – EUROPEAN COMMUNITY INVESTMENT PARTNERS

En este caso el objetivo es apoyar coinversiones de empresas medianas y pequeñas en el sector de medio ambiente, en las que participen inversionistas maxicanos y europeos.

Los tipos de apoyo otorgados puede ser:

- Financiamiento para estudios de factibilidad, fabricación de prototipos y plantas piloto.
- Aportación de capital en la empresa conjunta.
- Financiamiento para capacitación de técnicos y cuadros gerenciales.

### 8.3.2.7 NAEF – NORTH AMÉRICA ENVIRONMENTAL FUND.

Este programa tiene como fin invertir en empresas manufactureras o de servicios cuyo giro principal de negocios sea la prevención y control de la contaminación y/o la restauración del medio ambiente, entre las áreas consideradas están:

- Energía alternativa.
- Plantas de tratamiento de aguas.
- Manejo de residuos peligrosos y hospitalarios.
- Recelamiento de productos.

Características:

1. Son sujetos de apoyo todas aquellas empresas pequeñas y medianas con actividades relacionadas con el medio ambiente.
2. El monto de la aportación de capital será hasta de 3 millones de US dl, con una temporalidad de 5 a 7 años.
3. El porcentaje de participación del fondo será con el 25% del capital social de la empresa.

## CONCLUSIONES

### CONCLUSIONES

Primeramente, se mostraron los contaminantes y quienes son los principales autores de su generación, considerando la importancia que tiene el entendimiento de las variables de éstos para poder lograr un combate efectivo de los mismos.

Una vez que se conocían todos los tipos de contaminantes se identificaron los que son generados en la industria de la galvanoplastia y como son generados, lo que ayudó a un combate específico y efectivo de éstos.

Conociendo la forma en que son generados los contaminantes en este tipo de industria, se mostraron y seleccionaron medidas de prevención de la generación de estos desechos por medio de una lista de chequeo. Las medidas que se consideraron factibles para aplicarse son:

- En lo que respecta a buenas prácticas de operación, se implemento un sistema de calidad administrativo que consta de la creación de procedimientos y registros que ayudan a la reducción de la contaminación por el buen manejo que se tenga de los productos que la generan dentro de la empresa. Se propone el uso de filtros para los baños de tratamiento, con la finalidad de aumentar su vida útil y evitar el desecho de éstos provocando la contaminación de las aguas residuales. Por ultimo se sugiere la capacitación de los empleados involucrados con la generación de los desechos contaminantes, para que de ésta forma se tenga la capacidad de solucionar problemas cotidianos y emergentes, que ayudan a la reducción de la generación de desechos contaminantes.
- Por parte de las medidas de modificación de proceso, se propone un cambio de la manera en que se aplican los enjuagues a las piezas después de los baños de recubrimiento, la propuesta consta de un cambio en el primer tanque de enjuague, que se realizaba por inmersión a un enjuague realizado por rocío, medida que ayudo a la reducción del 29.5 % del volumen de aguas residuales generadas. Se lleva acabo una segregación de los desechos por medio del sistema de colección, el cual también forma parte de la planta de tratamiento, con el fin de separar ácidos alcalinos, cianuro y residuos con cromo para evitar la formación de contaminantes tóxicos y poder tratarlos adecuadamente.

Después de haber implementado una serie de acciones para la reducción del volumen de aguas residuales a ser tratado, se mostraron las formas en que son eliminados los contaminantes del agua que provienen específicamente de industrias del terminado de metales.

Este trabajo considero reglamentos, normas y requisitos con los que tienen que cumplir las empresas de este giro para poder realizar las descargas de sus aguas residuales sin violarlos.

Para poder determinar el sistema de tratamiento de aguas residuales empleado, se llevo acabo un estudio de campo que permitió conocer la forma en que otras empresas combaten los contaminantes en sus aguas residuales y poder de esta forma aprovechar experiencias de estas empresas que nos ayudaron al diseño e implementación de un sistema de tratamiento que permitió cumplir los objetivos planteados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Como objetivo principal el presente trabajo diseña e implementa un sistema de tratamiento de aguas residuales, generadas en una planta de galvanoplastia. Dicho sistema de operación en bache consta no únicamente de la planta de tratamiento de agua, sino también de medidas administrativas de calidad, que junto con la planta ayudan a la reducción de los contaminantes que finalmente han de ser desechados al drenaje en las aguas residuales, de tal forma que permiten las descargas de esta agua sin ocasionar ningún problema al drenaje, medio ambiente y por supuesto a la empresa. La planta de tratamiento efectúa los siguientes tratamientos:

- Ecuilización de los desechos que permite iniciar el proceso de depuración en la planta con volúmenes y concentraciones conocidos y por ello más fáciles de tratar.
- Separación de las diferentes corrientes de agua residual (contaminantes) que permite un tratamiento específico a cada uno de estos contaminantes.
- Destrucción del cianuro por oxidación.
- Reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente.
- Neutralización de las corrientes de agua residual para la precipitación de metales.
- Coagulación de los metales y sólidos suspendidos.
- Floculación de los floculos formados en la coagulación.
- Sedimentación y separación de los floculos.
- Filtración.
- Ajuste final de pH.

Tratamientos que permiten a reducir las concentraciones de contaminantes en las aguas residuales a niveles permitidos para su descarga al drenaje.

En la parte final se mostró el costo del equipo necesario para la planta de tratamiento, para su operación y mantenimiento, así como algunas posibles fuentes de financiamiento del proyecto.

Por último cabe aclarar que este es un proyecto de carácter obligatorio para aquellas empresas que realizan descargas de agua residual con este tipo de contaminantes, y que no les produce un beneficio económico pero que les permite seguir laborando.

## ANEXOS

- A - Análisis de laboratorio de las aguas residuales.
- B - Manifiesto para empresa generadora de residuos peligrosos.
- C - Solicitud de registro de fuente fija.
- D - Manifiesto de entrega transporte y recepción de residuos peligrosos.
- E - Identificación de envases de residuos peligrosos.
- F - Disposición de los tanques de tratamiento de la planta de galvanoplastia.
- G - Normas oficiales mexicanas NOM-001-ECOL-1996 y NOM-002-ECOL-1996.
- H - Procedimientos y registros para reducir de la generación de contaminantes.
- I - Planos del sistema de colección y planta de tratamiento.
- J - Datos para el diseño de la tubería.

### I. Análisis Fisicoquímicos.

Num. Muestra 27/1-08

Análisis	Unidades	Resultado	Límites Máximos Permisibles (1)		Límite de Concentración	Norma Oficial Mexicana
			Promedio Diario	Promedio Mensual		
Temperatura	°C	22.6	40	40	0.1	NMX-AA-7/PR-DLB-006
pH	Unidades pH	7.04	5.5 a 10	5.5 a 10	0.01	NMX-AA-8/PR-DLB-006
Conductividad Eléctrica	microsiem /cm	10972	N.A.	N.A.	1	NMX-AA-9/PR-DLB-205
Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	7.5	5	0.1	NMX-AA-4/PR-DLB-203
Materia Flotante		Ausente	Ausente	Ausente	-	NMX-AA-06/PR-DLB-226
Sólidos Suspendedos Totales (SST) (2)	mg/l	180	200	150	0.1	NMX-AA-34/PR-DLB-214
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)(2)	mg/l	182	200	150	1	NMX-AA-26/PR-DLB-216
Cromo Hexavalente (Cr+6)	mg/l	19.67	0.75	0.5	0.3	NMX-AA-44/PR-DLB-206
Cianuros (CN)	mg/l	<0.01	1.5	1	0.01	NMX-AA-56/PR-DLB-219
Grasas y Aceites (GyA) (3)	mg/l	36.16	75	50	1	NMX-AA-5/PR-DLB-204

(1) Límites Máximos permisibles establecidos en la NOM-002-ECOL/06.

(2) Los límites máximos permisibles para los Parámetros DBO y SST son los establecidos en la Tabla No. 2 de la NOM 001-ECOL/06, para descargas en ríos de uso agrícola.

(3) El resultado del Parámetro Grasas y Aceites es el promedio ponderado del resultado de análisis a 6 muestras simples.

### II. Análisis de metales

Metal	Unidades	Resultado	Límites Máximos Permisibles(1)		Límite de Concentración	Norma Oficial Mexicana rubro(s)
			Promedio Diario	Promedio Mensual		
Arsénico (As)	mg/l	<0.002	0.75	0.5	0.002	NMX-AA-51/PR-DLB-302
Cadmio (Cd)	mg/l	0.833	0.75	0.5	0.068	NMX-AA-51/PR-DLB-303
Cobre (Cu)	mg/l	17.923	15	10	0.109	NMX-AA-51/PR-DLB-305
Mercurio (Hg)	mg/l	<0.001	0.018	0.01	0.001	NMX-AA-51/PR-DLB-306
Níquel (Ni)	mg/l	181.19	6	4	0.231	NMX-AA-51/PR-DLB-307
Plomo (Pb)	mg/l	21.93	1.5	1	0.168	NMX-AA-51/PR-DLB-309
Zinc (Zn)	mg/l	0.601	9	6	0.161	NMX-AA-51/PR-DLB-310

(4) Este reporte se complementa con la cadena de custodia, cálculo del gasto y croquis de localización de la descarga.

(5) Los valores obtenidos deberán ser comparados con los valores correspondientes al promedio diario.

**A. CORROSIVIDAD**

PARAMETRO	CRITERIO	RESULTADO	LIMITE PERMISIBLE
CORROSIVIDAD	pH	3.8*	pH >2.0 pH < 12.5
	En estado líquido o solución acuosa, corroe el acero al carbón (SAE 1020) a una velocidad de 6.35 mm/año o más	NO LO CORROE	< 6.35 mm/año

\*SOLUCION ACUOSA

**REACTIVIDAD**

PARAMETRO	CRITERIO		RESULTADO (1)	LIMITE PERMISIBLE
	RESIDUO	H <sub>2</sub> O		
REACTIVIDAD	5	1	ND	ND
	5	3	ND	ND
	5	5	ND	ND
	RESIDUO	HCl		
	5	1	ND	ND
	5	3	ND	ND
	5	5	ND	ND
	RESIDUO	NaOH		
	5	1	ND	ND
	5	3	ND	ND
	5	5	ND	ND

(1) Se determina que hay reactividad si hay reacción violenta y formación de gases, vapores o humos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**REACTIVIDAD (CONTINUACION)**

PARAMETRO	CRITERIO	RESULTADO	LIMITE PERMISIBLE
REACTIVIDAD	Bajo condiciones normales de presión y temperatura, se combina o polimeriza violentamente sin detonación	NO SE COMBINA O POLIMERIZA	No se combina ni polimeriza bajo las condiciones establecidas
	Generación de gases de tipo HCN a pH de entre 2.0 y 12.5	N.D	<250 mg/Kg
	Generación de gases de tipo H <sub>2</sub> S a pH de entre 2.0 y 12.5	ND	<500 mg/Kg

**EXPLOSIVIDAD**

PARAMETRO	CRITERIO	RESULTADO	LIMITE PERMISIBLE
EXPLOSIVIDAD	CONSTANTE DE EXPLOSIVIDAD	ES MENOR A LA DEL DINITROBENCENO	MEJOR O IGUAL QUE LA DEL DINITROBENCENO
	QUE SEA CAPAZ DE PRODUCIR REACCION DE DESCOMPOSICION O DETONANTE A 25 C Y A 100 Kg/cm <sup>2</sup> DE PRESION	NO ES CAPAZ DE PRODUCIR REACCION DE DESCOMPOSICION	NO PRODUZCA REACCION DE DESCOMPOSICION EN LAS CONDICIONES ESTABLECIDAS.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**TOXICIDAD**

El residuo fue sometido a la prueba de extracción de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-053-ECOL/93 encontrándose los siguientes resultados:

**COMPUESTOS INORGÁNICOS**

ELEMENTO	RESULTADO mg/l	LIMITE PERMITIDO mg/l
Arsénico	2.326	5.0
Bario	0.260	100.0
Cadmio	100	1.0
Cromo	2148	5.0
Níquel	16006	5.0
Mercurio	<0.001	0.2
Plata	57.385	5.0
Piombo	2.35	5.0
Selenio	<0.01	1.0

**CONSTITUYENTES ORGÁNICOS**

ELEMENTO	RESULTADO Mg/l	LIMITE PERMITIDO mg/l
Acronitrilo	N.D.	5.0
Clordano	N.D.	0.05
o-Cresol	N.D.	200.0
m-Cresol	N.D.	200.0
p-Cresol	N.D.	200.0
Ácido 2,4-	N.D.	10.0
diclorofenoxiacético	N.D.	
2,4-Dinitrotolueno	N.D.	0.13
Endrin	N.D.	0.02
Heptacloro (y su heptóxido)	N.D.	0.006
Hexaclorocetano	N.D.	
Lindano	N.D.	3.0
Metoxilobro	N.D.	10.0
Nitrobeneno	N.D.	15.0
Pentaclorofenol	N.D.	100.0
2,3,4,6-Tetraclorofenol	N.D.	1.5
Toxafeno (canfe- nolclorado técnico)	N.D.	0.5

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

2,4,5-Triclorofenol	N.D.	400.0
2,4,6-Triclorofenol	N.D.	2.0
Ácido 2,4,5-triclorofenoxipropionico	N.D.	1.0
ELEMENTO	RESULTADO Mg/l	LIMITE PERMITIDO*
Benceno	N.D.	0.5
Éter Bis (2-cloretílico)	N.D.	0.05
Clorobenceno	N.D.	100.0
Cloroformo	N.D.	6.0
Cloruro de metileno	N.D.	8.6
Cloruro de V nlo	N.D.	0.2
1,2-Diclorobenceno	N.D.	4.3
1,4-Diclorobenceno	N.D.	7.5
1,2-Dicloetano	N.D.	0.5
1,1-Dicloroetileno	N.D.	0.7
Disulfuro de Carbono	N.D.	14.4
Fenol	N.D.	14.4
Hexaclorobenceno	N.D.	0.13
Hexacloro-1,3-Butadieno	N.D.	0.5
Isobutanol	N.D.	36.0
Etilmetilcetona	N.D.	200.0
Piridina	N.D.	5.0
1,1,1,2-Tetracloroetano	N.D.	10.0
1,1,2,2-Tetracloroetano	N.D.	1.3
Tetracloruro de Carbono	N.D.	0.5
Tetracloroetileno	N.D.	0.7
Tolueno	N.D.	14.4
1,1,1-Tricloroetano	N.D.	30.0
1,1,2-Tricloroetano	N.D.	1.2
Tricloroetileno	N.D.	0.5

N.D. = No detectable

Anexo A. Análisis de Laboratorio de las Aguas Residuales.

**INFLAMABILIDAD**

PARAMETRO	CRITERIO	RESULTADO	LIMITE PERMISIBLE
<b>INFLAMABLE</b>	EN SOLUCIÓN ACUOSA CONTIENE MÁS DE 24% DE ALCOHOL (V/V)	NO CONTIENE ALCOHOL	< 24%(V/V) DE ALCOHOL
	ES LÍQUIDO Y TIENE UN PUNTO DE INFLAMACIÓN MENOR A 60 °C	PUNTO DE INFLAMACIÓN ES MAYOR A 60 °C	PUNTO DE INFLAMACIÓN MENOR A 60 °C
	NO ES LÍQUIDO PERO ES CAPAZ DE PRODUCIR FUEGO POR FRICIÓN, ABSORCIÓN DE HUMEDAD O CAMBIOS QUÍMICOS	NO PRODUCE FUEGO POR CAMBIO QUÍMICO	NO PRODUCE FUEGO BAJO ESAS CONDICIONES
	ES UN GAS COMPRIMIDO INFLAMABLE O AGENTE OXIDANTE QUE ESTIMULA LA COMBUSTIÓN	NO ES UN GAS	QUE NO SEA UN GAS DE LOS ESPECIFICADOS

**BIOLOGICO-INFECCIOSO**

PARAMETRO	CRITERIO	RESULTADO (2)	LIMITE PERMISIBLE
<b>BIOLOGICO-INFECCIOSO</b>	CONTIENE BACTERIAS, VIRUS U OTROS MICROORGANISMOS CON CAPACIDAD DE INFECCIÓN	NO CONTIENE MICROORGANISMOS CON CAPACIDAD INFECTIVA	AUSENCIA
	CONTIENE TOXINAS PRODUCIDAS POR MICROORGANISMOS CON CAPACIDAD DE INFECCIÓN	NO CONTIENE TOXINAS PELIGROSAS	AUSENCIA

(2) El estado microscópico incluye la identificación de los principales grupos de microorganismos: A) Bacterias, B) levaduras, C) LPTC/D, C) protozoos, D) algas, E) FUSARIA, F) hongos, G) bacterias, H) bacterias, I) bacterias, J) bacterias, K) bacterias, L) bacterias, M) bacterias, N) bacterias, O) bacterias, P) bacterias, Q) bacterias, R) bacterias, S) bacterias, T) bacterias, U) bacterias, V) bacterias, W) bacterias, X) bacterias, Y) bacterias, Z) bacterias.

(3) El hecho de que no haya crecimiento en los grupos microbianos mencionados, no es suficiente que haya ausencia de otros microorganismos.

DISÑO E IMPLEMENTACI3N DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



**SEMARNAP**

RECURSOS NATURALES Y PESCA  
 INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA  
 DIRECCION GENERAL DE MATERIALES,  
 RESIDUOS Y ACTIVIDADES RIESGOSAS

PARA SER LLENADO POR  
 SEMARNAP Y EL DUEÑO DE  
 LA EMPRESA

**MANIFIESTO PARA EMPRESA GENERADORA DE RESIDUOS PELIGROSOS**

**1.- IDENTIFICACION**

1.1 RAZON SOCIAL DE LA EMPRESA \_\_\_\_\_ TEL: \_\_\_\_\_

1.2 DIRECCION Y C.P. \_\_\_\_\_ EDO. \_\_\_\_\_ DISTRITO FEDERAL \_\_\_\_\_

1.3 CDMO SEGUN CLAVE CAMP. \_\_\_\_\_ 36001 FABRICACION DE JOYERIA DE FANTASMA \_\_\_\_\_

1.4 NOMBRE DEL TECNICO RESPONSABLE \_\_\_\_\_ TEL: \_\_\_\_\_

1.5 LICENCIA DE SEDESOL No. \_\_\_\_\_

**2.- CARACTERISTICAS DEL RESIDUO:**

2.1 ESTADO FISICO:  SOLIDO  LIQUIDO  PASEOSO  LODOS  GEL  POLVO  OTROS \_\_\_\_\_

2.2 POTENCIAL DE HIDROGENO pH:  ACIDO  PASE  NEUTRO

2.3 VOLUMEN O PESO DEL RESIDUO GENERADO EN TONELADAS O METROS CUBICOS 4.0 M3/AÑO

<p><b>2.4 COMPOSICION QUIMICA</b></p> <p>_____ SOLVENTES SUCOS 189%</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p><b>2.5 CARACTERISTICAS DE PELIGROSIDAD DE ACUERDO CON LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-062-ECOL/93 Y LA NOM-053-EWCOL/93</b></p> <p><input type="checkbox"/> CORROSIVO <input type="checkbox"/> TOXICO</p> <p><input type="checkbox"/> RACTIVO <input type="checkbox"/> INFIAMABLE</p> <p><input type="checkbox"/> EXPLOSIVO <input type="checkbox"/> BIOL-INFEC</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

TOTAL 100 %

**2.6 DESCRIPCION DEL PROCESO INDICANDO LA OPERACION DONDE SE GENERA EL RESIDUO DE LA LIMPIEZA QUE SE DA AL PRODUCTO PARA SU ACONDICIONAMIENTO Y PROCESO FINAL**

\_\_\_\_\_

**3.- MANEJO DEL RESIDUO DENTRO DE LA EMPRESA**

3.1 ALMACENAMIENTO?  A GRANAL BAJO TECHO  A GRANEL / EN INTERFERIE

EN TOLVA  CONTENEDOR METALICO  CONTENEDOR PLASTICO DE TRAMITE INE

OTROS \_\_\_\_\_ CAPASIDAD \_\_\_\_\_

3.2 RECOLECCION:  DIARIA  2 VECES POR SEMANA OTRA: \_\_\_\_\_

3.3 DISPOSICION FINAL FUERA DE LA EMPRESA  DENTRO DE LA EMPRESA

3.4 DESCRIPCION DEL METODO O SITIO DE DISPOSICION FINAL \_\_\_\_\_

3.5 SE LE DA TRATAMIENTO?  SI  NO

3.6 SE LE DA DISPOSICION FINAL EN ALGUN SITIO?  SI  NO

EN CASO DE HACERLO DESCRIBA EL METODO DE TRATAMIENTO O SITIO DE DISPOSICION FINAL \_\_\_\_\_

**3.7 CERTIFICACION DEL GENERADOR QUE TODA LA INFORMACION INCLUIDA EN ESTE MANIFIESTO ES COMPLETAMENTE Y VERIDICA.**

\_\_\_\_\_ LUGAR Y FECHA \_\_\_\_\_ NOMBRE DEL RESPONSABLE \_\_\_\_\_

Anexo B. Manifiesto para empresa generadora.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**





**SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE RECURSOS NATURALES Y PESCA**

**INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA**  
DIRECCIÓN GENERAL DE NORMATIVIDAD AMBIENTAL

**MANIFIESTO DE ENTREGA, TRANSPORTE Y RECEPCIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS**

GENERADOR	1. NOMBRE DEL GENERADOR		C. DE IDENTIFICACIÓN DEL GENERADOR		C. DE IDENTIFICACIÓN DEL RESIDUO		C. DE IDENTIFICACIÓN DEL DESTINATARIO	
	2. DIRECCIÓN DE LA EMPRESA CALLE Y C.P.							
	3. NOMBRE DEL GENERADOR							
	4. NOMBRE DEL DESTINATARIO							
	5. DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO (según el Reglamento de Residuos Peligrosos y sus Anexos)							
	6. AÑO DE EMISIÓN		7. VOLUMEN DEL RESIDUO		8. ESTADO DEL RESIDUO		9. TIPO DE RESIDUO	
	10. NOMBRE DEL DESTINATARIO		11. NOMBRE DEL DESTINATARIO		12. NOMBRE DEL DESTINATARIO		13. NOMBRE DEL DESTINATARIO	
	14. NOMBRE DEL DESTINATARIO							
	15. NOMBRE DEL DESTINATARIO							
	16. NOMBRE DEL DESTINATARIO							
TRANSPORTISTA	17. NOMBRE DE LA EMPRESA		18. NOMBRE DE LA EMPRESA		19. NOMBRE DE LA EMPRESA		20. NOMBRE DE LA EMPRESA	
	21. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		22. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		23. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		24. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA	
	25. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		26. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		27. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		28. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA	
	29. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		30. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		31. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		32. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA	
	33. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		34. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		35. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA		36. NOMBRE DEL TRANSPORTISTA	
DESTINATARIO	37. NOMBRE DEL DESTINATARIO		38. NOMBRE DEL DESTINATARIO		39. NOMBRE DEL DESTINATARIO		40. NOMBRE DEL DESTINATARIO	
	41. NOMBRE DEL DESTINATARIO		42. NOMBRE DEL DESTINATARIO		43. NOMBRE DEL DESTINATARIO		44. NOMBRE DEL DESTINATARIO	
	45. NOMBRE DEL DESTINATARIO		46. NOMBRE DEL DESTINATARIO		47. NOMBRE DEL DESTINATARIO		48. NOMBRE DEL DESTINATARIO	

**ORIGINAL**

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Anexo D. Manifiesto de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos.

# RESIDUOS PELIGROSOS

LA LEY GENERAL PROHIBE SU DISPOSICION EN SITIOS NO AUTORIZADOS

NOMBRE DEL GENERADOR: \_\_\_\_\_ FECHA DE ENVIO \_\_\_\_\_

DOMICILIO: \_\_\_\_\_

CIUDAD: \_\_\_\_\_ TELEFONO: \_\_\_\_\_

NOMBRE RESIDUO: \_\_\_\_\_ CODIGO INE: \_\_\_\_\_

## DESTINATARIO

NOMBRE CIA: RESIDUOS INDUSTRIALES MULTICURS, S.A. de C.V. (Confinamiento Controlado)

DOMICILIO: Km. 85 Car. My-Manicoba, Puerto San Bernabé Tels: 363-21-38, 363-33-77, 363-36-67 Fax: 363-36-67

CIUDAD: Municipio de Mila EDO: Nuevo León, México LADA (6)

Durante su manejo ó emergencia,  
use el siguiente equipo de seguridad

- Traje Tyvek
- Casco protector
- Ojeras de Seguridad
- Cebatas de Seguridad
- Guantes de Seguridad



- Belas de Seguridad
- Mascara ó Cubreboca
- Respirador autónomo
- Delantal de Seguridad
- Equipo Autónomo

<input type="checkbox"/> C ORROSIVO	<input type="checkbox"/> COMBUSTIBLE
<input type="checkbox"/> R EACTIVO	<input type="checkbox"/> LIQUIDO INFLAMABLE
<input type="checkbox"/> E XPLOSIVO	<input type="checkbox"/> NO PELIGROSO
<input type="checkbox"/> T OXICO	<input type="checkbox"/> VACIO
<input type="checkbox"/> I NFLAMABLE	<input type="checkbox"/> CONTENIDA
<input type="checkbox"/> B IOLOGICO	<input type="checkbox"/> OTRO
<input type="checkbox"/> INPECUOSO	<input type="checkbox"/> ESPECIFIQUE

HOJA DE SEGURIDAD No. \_\_\_\_\_

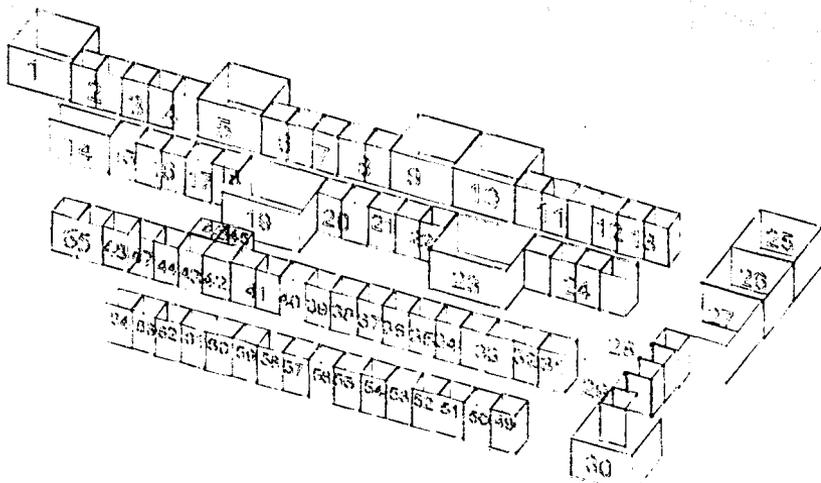
NFPA 704 3-0

P

R

Anexo E. Identificación de envases de residuos peligrosos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- |                                 |                                |                            |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1. - Desengrase electrolítico   | 24. - Enjuague cuádruple       | 47. - Laca elect.          |
| 3. - Activado                   | 25. - Níquel barril            | 48. - Laca cromo           |
| 2. - Enjuague doble             | 26. - Níquel barril            | 49. - Oro barril           |
| 4. - Enjuague doble             | 27. - Níquel rack              | 50. - Enjuague de r. oro   |
| 5. - Cobre alcalino (cianurado) | 28. - Enjuague cuádruple       | 51. - Enjuague             |
| 6. - Enjuague doble             | 29. - Níquel strike            | 52. - Enjuague de r. rodio |
| 7. - Activado                   | 30. - Níquel rack              | 53. - Rodio rack           |
| 8. - Enjuague doble             | 31. - Níquel cadeha            | 54. - Oro h                |
| 9. - Cobre ácido                | 32. - Níquel cadena            | 55. - Enjuague de r. oro   |
| 10. - Cobre ácido               | 33. - Enjuague doble           | 56. - Enjuague             |
| 11. - Enjuague triple           | 34. - Oro cadena               | 57. - Oro rosa             |
| 12. - Activado                  | 35. - Enjuague de recuperación | 58. - Enjuague de r.       |
| 13. - Enjuague doble            | 36. - Enjuague                 | 59. - Enjuague             |
| 14. - Desengrase colgado        | 37. - Oro rack                 | 60. - Paladio              |
| 15. - Ultrasonido               | 38. - Enjuague de recuperación | 61. - Enjuague de r.       |
| 16. - Enjuague doble            | 39. - Enjuague                 | 62. - Enjuague             |
| 17. - Activado                  | 40. - Neutralizado             | 63. - Enjuague caliente    |
| 18. - Enjuague                  | 41. - Enjuague doble           | 64. - Enjuague caliente    |
| 19. - Cobre alcalino rack       | 42. - Preplata                 | 65. - Enjuague doble.      |
| 20. - Enjuague doble            | 43. - Plata                    |                            |
| 21. - Activado                  | 44. - Plata strike             |                            |
| 22. - Enjuague Doble            | 45. - Enjuague de recuperación |                            |
| 23. - Cobre ácido colgado       | 46. - Enjuague                 |                            |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Normas Oficiales Mexicanas para la Protección Ambiental**

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996

**Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.**

(Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero 1997)

### **1. OBJETIVO**

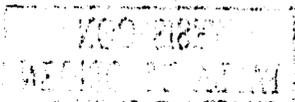
Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

### **4. Especificaciones**

4.1 La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

4.2 Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

4.3 Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego no restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta Norma.



LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																					
PARAMETRO S (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RIOS						EMBALASES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)		
	Uso en riego agrícola		Uso público urbano B		Protección de la vida acuática C		Uso en riego agrícola B		Uso público urbano C		Explotación pesquera y navegación		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)				
	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	
Temperatura °C (1)	N A	NA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	NA	NA	40	40
Grasas y Aceites (2)	1 5	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)	-	-	-	-	-	-	A	U	S	E	N	T	E	-	-	-	-	-	-	-	
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1 2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	NA	NA	1	2
Sólidos Suspensivos Totales	1 5 0	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1 5 0	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	
Nitrógeno Total	1 0	60	40	60	15	25	40	60	15	25	NA	NA	NA	NA	1 2 5	1 2 5	NA	NA	NA	NA	
Fósforo Total	2 0	30	20	30	5	10	20	30	5	10	NA	NA	NA	NA	5 10	5 10	NA	NA	NA	NA	

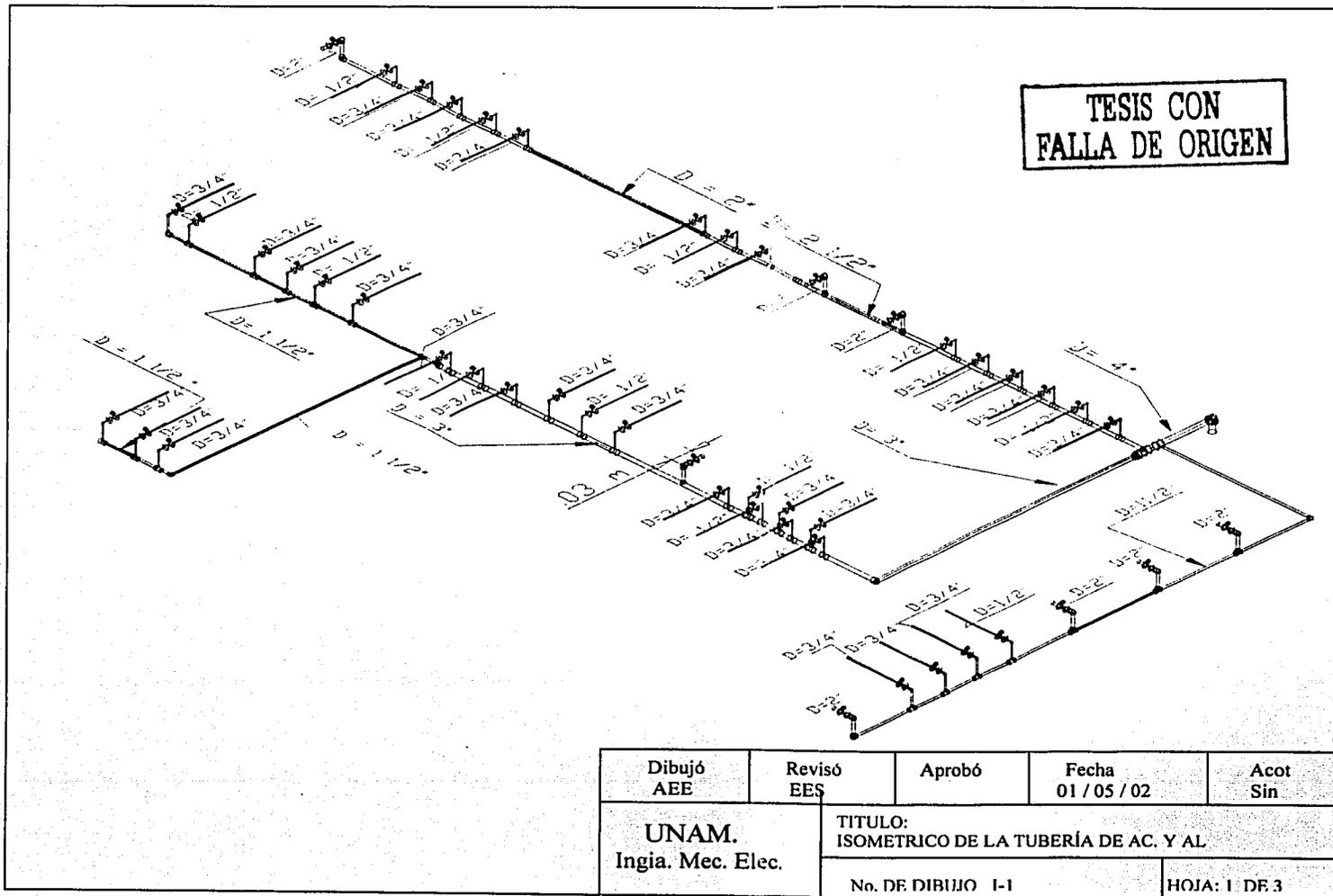
- (1) Instantáneo.
- (2) Muestra Simple Promedio Ponderado.
- (3) Ausente Según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

Tabla 2. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

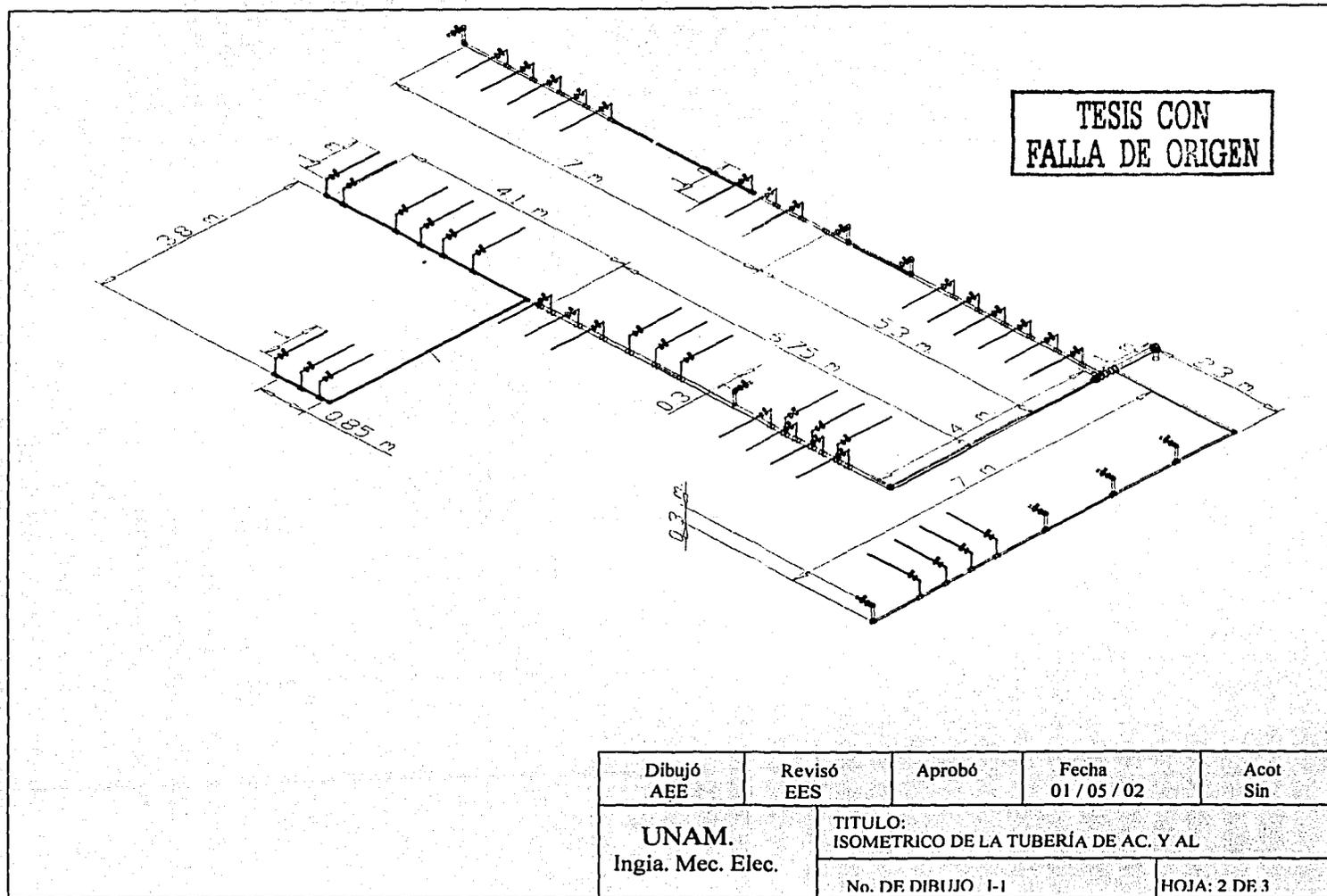
TABLA 3 LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
PARAMETROS (*) (miligramos por litro)	RIOS						EMBALASES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Protección de vida acuática		Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D	P M	P D
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(\*) Medidas de manera total  
 P D = Promedio Diario  
 P M = Promedio Mensual  
 N A = No se aplica  
 (A), (B) y (C) Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**



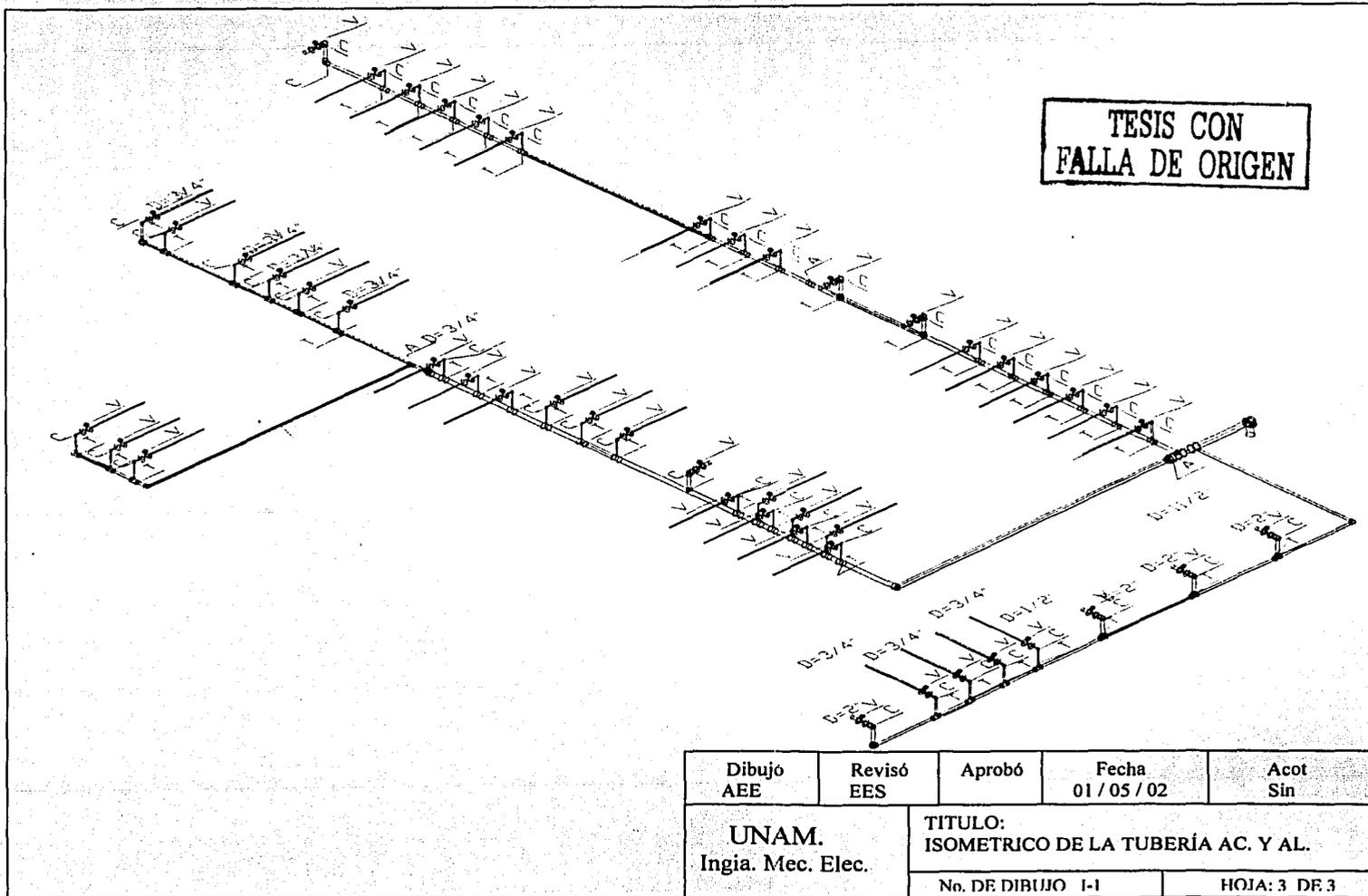
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

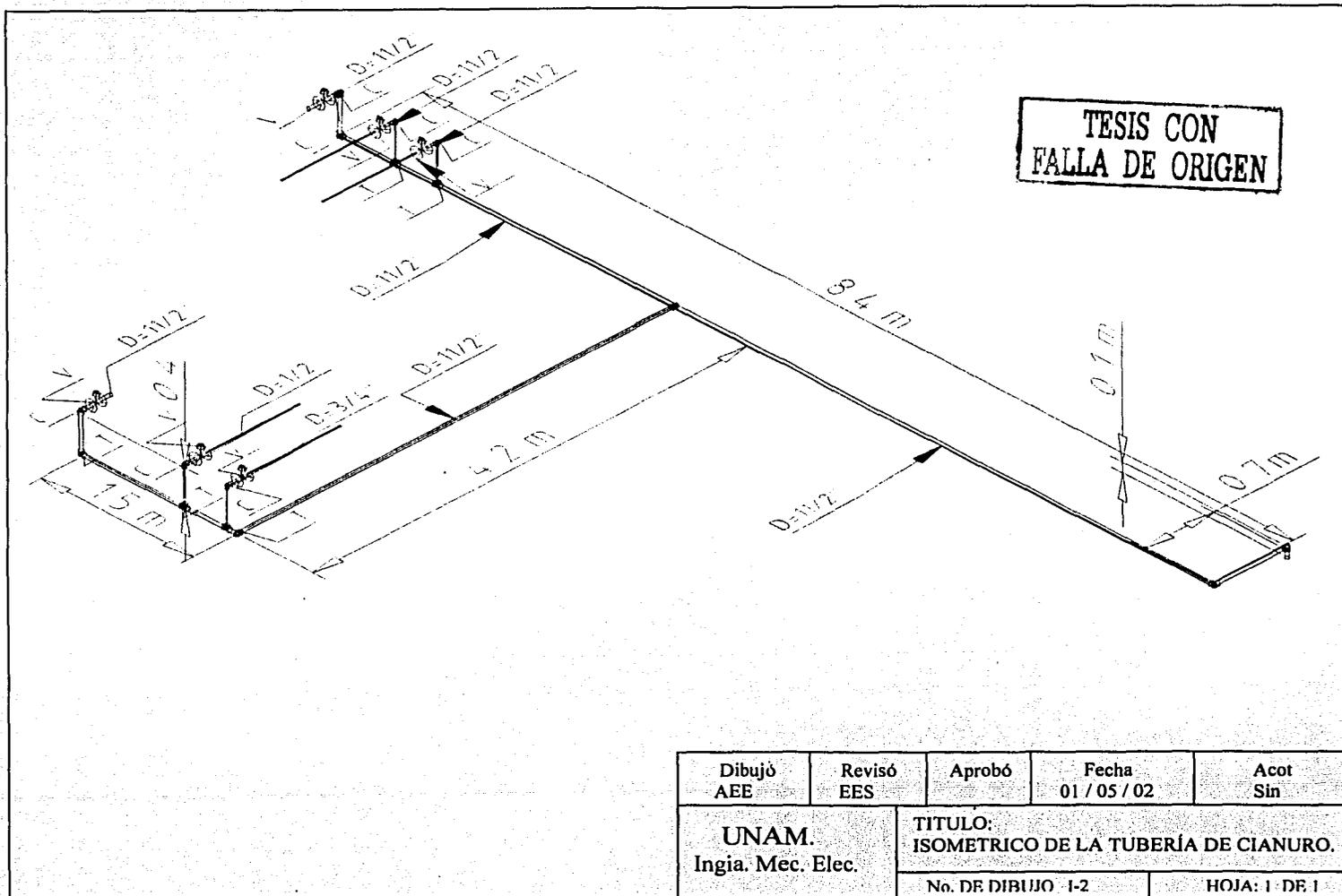


Dibujó AEE	Revisó EES	Aprobó	Fecha 01/05/02	Acot Sin
UNAM. Ingia. Mec. Elec.		TITULO: ISOMETRICO DE LA TUBERÍA DE AC. Y AL		
No. DE DIBUJO I-1			HOJA: 2 DE 3	

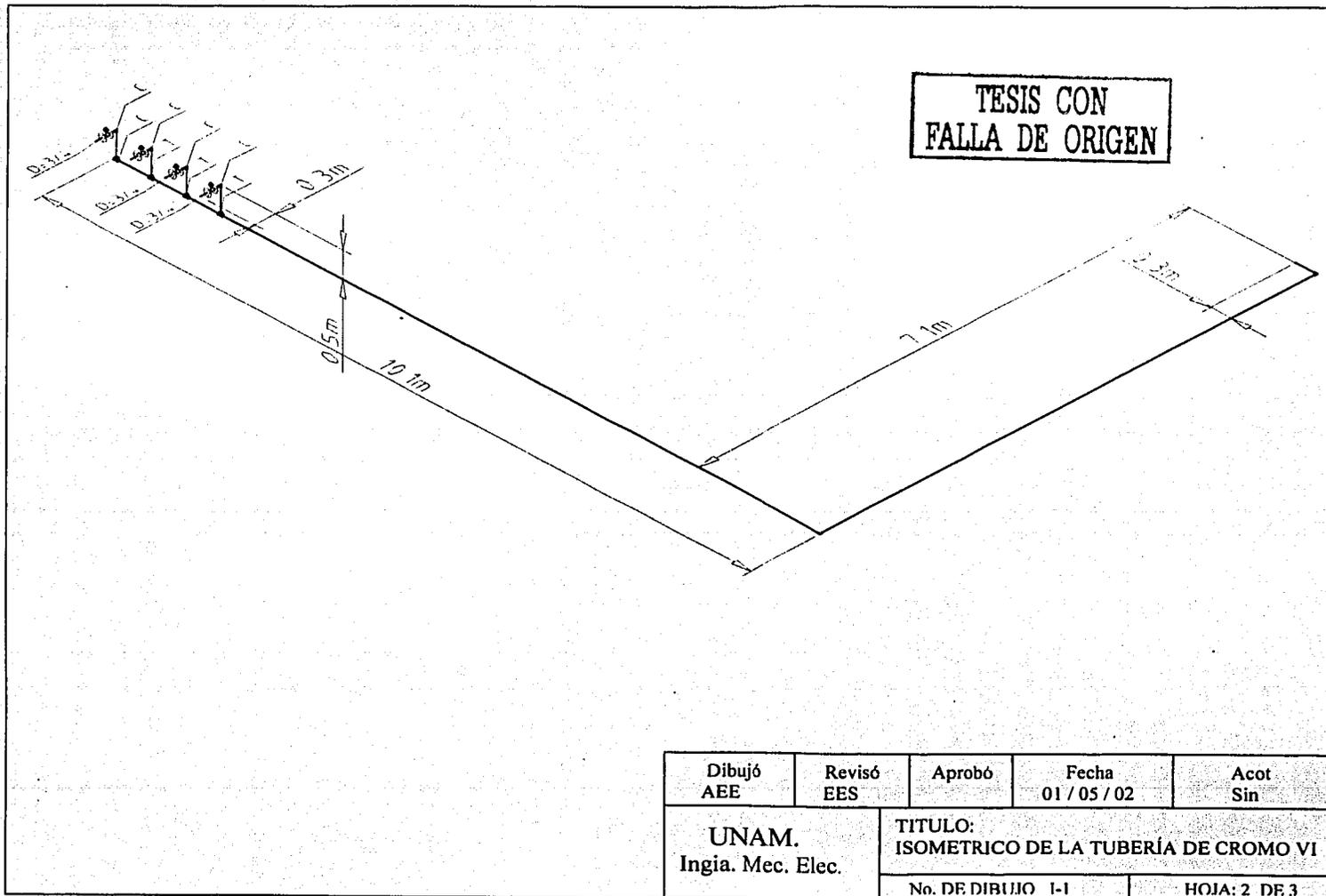
Anexo I. SISTEMA DE COLECCIÓN.

14

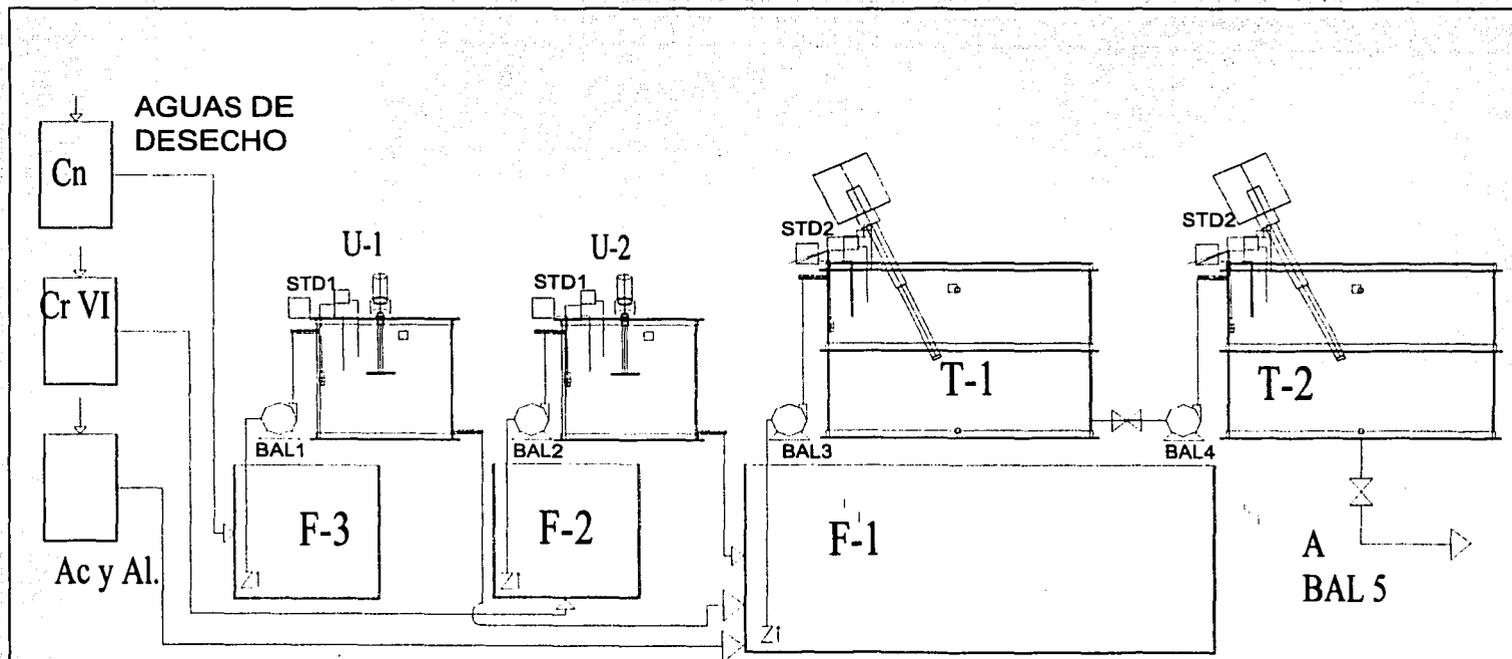




Dibujó AEE	Revisó EES	Aprobó	Fecha 01 / 05 / 02	Acot Sin
UNAM. Ingia. Mec. Elec.		TITULO: ISOMETRICO DE LA TUBERÍA DE CIANURO.		
No. DE DIBUJO -1-2			HOJA: 1 - DE 1	



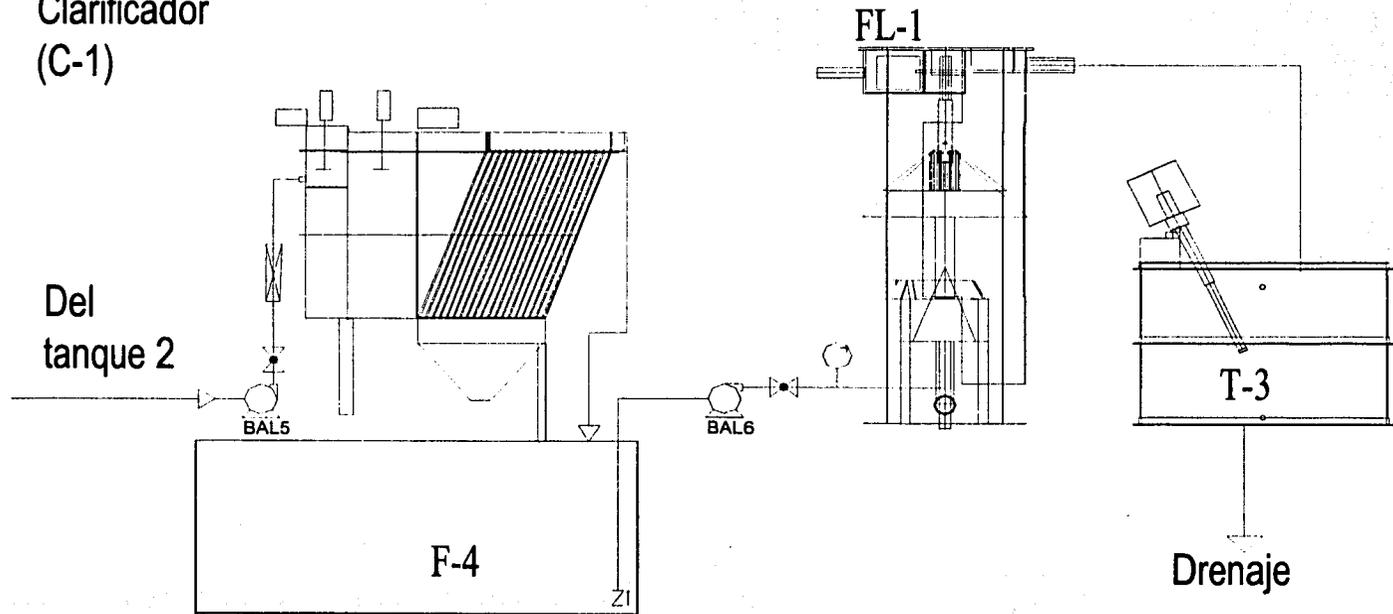
Dibujó AEE	Revisó EES	Aprobó	Fecha 01 / 05 / 02	Acot Sin
UNAM. Ingia. Mec. Elec.		TITULO: ISOMETRICO DE LA TUBERÍA DE CROMO VI		
No. DE DIBUJO 1-1			HOJA: 2 DE 3	



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

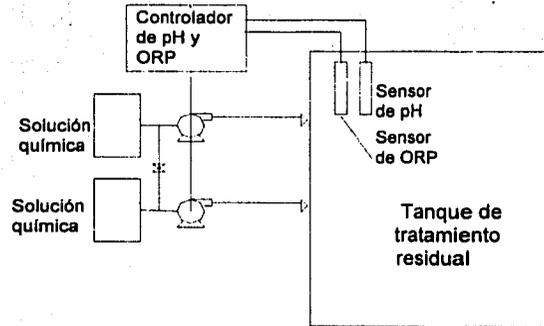
Dibujó AEE	Revisó EES	Aprobó	Fecha 01 / 05 / 02	Acot Sin
UNAM. Ingia. Mec. Elec.		TITULO: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO "77AE"		
No. DE DIBUJO DF-1			HOJA: 1 DE 3	

Clarificador  
(C-1)

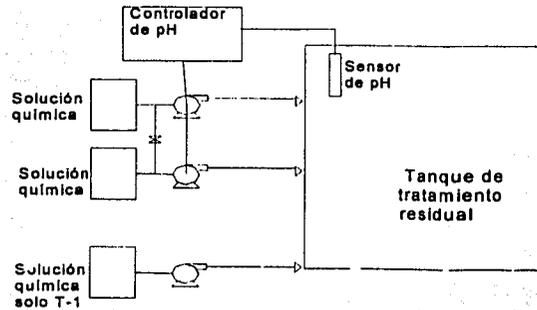


Dibujó AEE	Revisó EES	Aprobó	Fecha 01 / 05 / 02	Acot Sin
UNAM. Ingia. Méc. Elec.		TITULO: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO "77AE".		
No. DE DIBUJO DF-1			HOJA: 2 DE 3.	

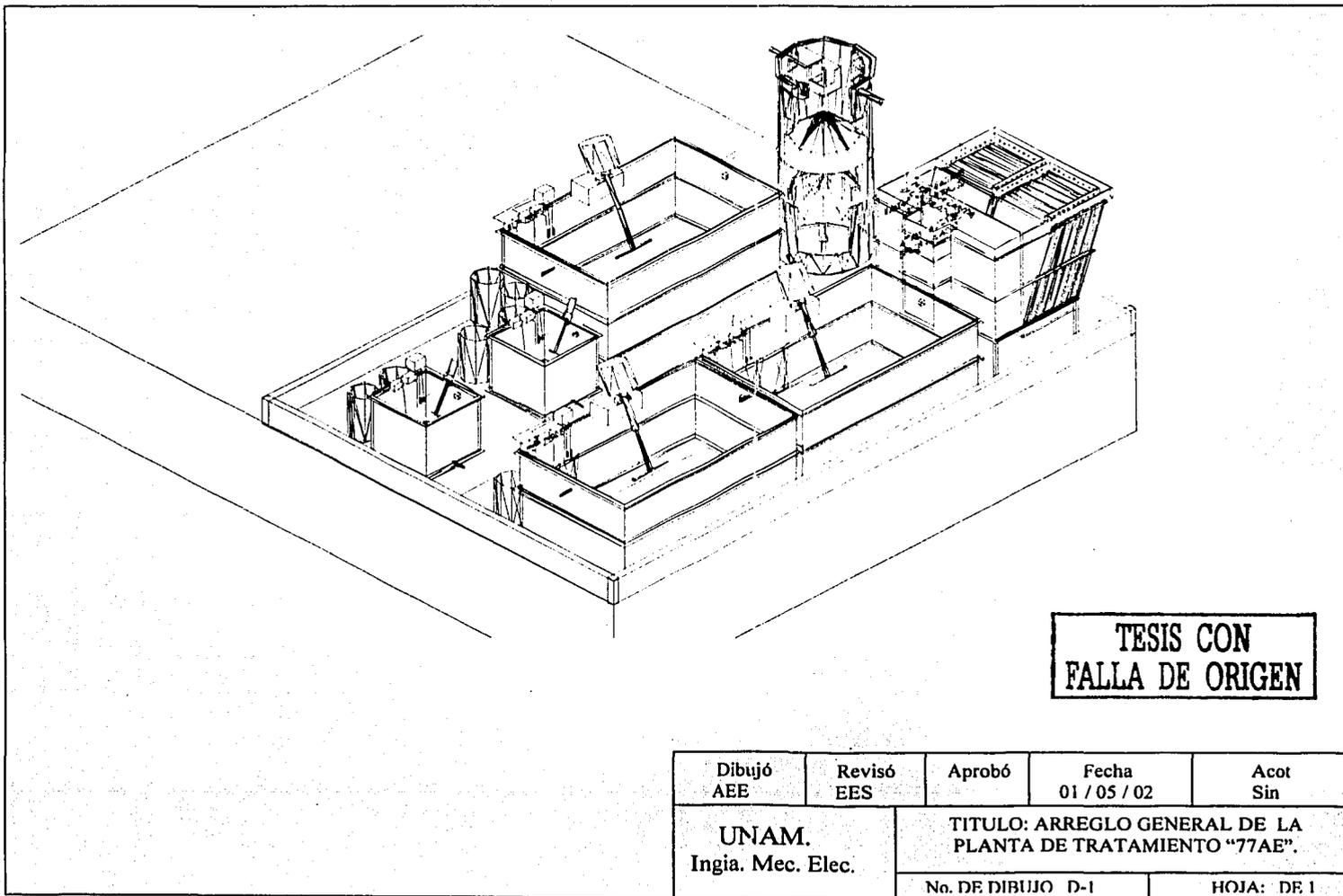
Sistema de Dosificación Química (tipo 1)



Sistema de Dosificación Química (tipo 2)



Dibujó AEE	Revisó EES	Aprobó	Fecha 01 / 05 / 02	Acot Sin
UNAM. Ingia. Mec. Elec.		TITULO: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO "77AE"		
		No. DE DIBUJO DF-3	HOJA: 3 DE 3	



4.4. Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana se le hayan fijado condiciones particulares de descarga, podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

4.5. Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

a) Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 4. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno5 (DBO5) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

4.6 Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas 4 y 5 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.

4.7 Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que rebasen los límites máximos permisibles de esta norma quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en las fechas establecidas en las Tablas 6 y 7.

Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

4.8 El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 8 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 9 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un periodo de tres años posteriores a su realización.

4.9 El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

4.10 En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en los puntos 4.1, 4.2 y 4.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua.

4.11 Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

4.12 El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

## **9. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA**

9.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

9.2 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

## Normas Oficiales Mexicanas para la Protección Ambiental

### Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996

**Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.**

(Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de junio 1998)

#### 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

#### 4. ESPECIFICACIONES

4.1 Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la Tabla 1. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

TABLA 1

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
PARAMETROS(miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra).			
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (milímetros por litros)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

4.2 Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

4.3 El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 10 (diez) y 5.5 (cinco punto cinco) unidades, determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

4.4 El límite máximo permisible de la temperatura es de 40 °C. (cuarenta Grados Celsius), medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo.

4.5 La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.6 Los límites máximos permisibles para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la Tabla 2 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 referida en el punto 2 de esta norma, o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

4.7 El responsable de la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal que no dé cumplimiento a lo establecido en el punto 4.6, podrá optar por remover la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, mediante el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal, para lo cual deberá de:

- a) Presentar a la autoridad competente un estudio de viabilidad que asegure que no se generará un perjuicio al sistema de alcantarillado urbano o municipal.
- b) Sufragar los costos de inversión, cuando así se requiera, así como los de operación y mantenimiento que le correspondan de acuerdo con su caudal y carga contaminante de conformidad con los ordenamientos jurídicos locales aplicables.

4.8 No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación vigente en la materia.

4.9 La autoridad competente podrá fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, de manera individual o colectiva, que establezcan lo siguiente:

c) Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes.

d) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta Norma.

Dicha acción deberá estar justificada por medio de un estudio técnicamente sustentado presentado por la autoridad competente o por los responsables de la descarga.

4.10 Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal a que se refiere esta norma, se obtendrán de análisis de muestras compuestas, que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo, de acuerdo con la Tabla 2.

**T A B L A 2**  
**FRECUENCIA DE MUESTREO**

HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO MÁXIMO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Menor que 4	Mínimo 24466	-1223	-2334
De 4 a 8			
Mayor que 8 y hasta 12			
Mayor que 12 y hasta 18			
Mayor que 18 y hasta 24			

**8. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA**

8.1 La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a los Gobiernos Estatales, Municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias, cuyo personal realizará los trabajos de verificación, inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

8.2 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

La presente Norma Oficial Mexicana aboga a su similar NOM-CCA-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de octubre de 1993.

El contenido completo de estas normas puede ser verificado en <http://www.ine.gob.mx/dgra/normas/agua/index.html> y en <http://www.sagar.gob.mx/Dgg/FTP/001ecol.pdf>

Fecha de emisión \_\_\_\_\_  
Fecha de revisión \_\_\_\_\_

**PROCEDIMIENTO DE COMPRA PARA LA MATERÍA PRIMA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO Y GALVANOPLASTÍA.**

- Objetivo I.
- Alcance II.
- Responsabilidades III.
- Desarrollo IV
- Registros VI

I. - Garantizar una buena practica de operación en la compra de los químicos y materias primas, evitando comprar estos fuera de especificaciones o con materiales contaminantes no requeridos provocando un lote de productos finales rechazados y por lo tanto la generación de desechos.

II. - Procedimiento aplicable a las compras de materia prima para la planta de galvanoplastia y planta de tratamiento.

III. - Dicho procedimiento tendrá que ser seguido por los responsables de las áreas de compras, galvanoplastia y tratamiento, así como por los empleados al mando de estos con la debida autorización de los responsables.

**IV**

4.1 La compra se deberá de realizar conforme a una requisición real. Por lo que se hace necesario que el personal del departamento de compras registre cada una de las compras..

4.2 El Personal jefe del departamento de compras deberá autorizar cada una de las compras que este departamento realice, así como cerciorarse de que de la firma de autorización del responsable del área solicitante.

4.3 El responsable del departamento de compras junto con los responsables de las áreas involucradas deberán de llevar acabo acreditaciones de las empresas proveedoras así como la de los productos a ser comprados, únicamente la primera vez de la compra.

4.4 El responsable del departamento de compras deberá de realizar cheques periódicos a las empresas acreditadas para proveer las matarías primas.

4.5 El departamento de compras deberá informar al responsable del área solicitante y del almacén(en caso de que el producto pase por este) de cualquier cuidado e que se deba de tener con el material adquirido.

Elaboró \_\_\_\_\_

Revisó \_\_\_\_\_

Autorizó \_\_\_\_\_

Lugar y fecha \_\_\_\_\_  
No. de Requisición \_\_\_\_\_

**REGISTRO DE COMPRA**

Area de requisición \_\_\_\_\_  
Persona responsable de área \_\_\_\_\_  
Material a ser comprado \_\_\_\_\_  
Uso \_\_\_\_\_  
Características del material \_\_\_\_\_  
Volumen requerido \_\_\_\_\_  
Calidad requerida \_\_\_\_\_  
Compañía proveedora \_\_\_\_\_  
Acreditación (certificación o empleado) \_\_\_\_\_  
Tiempo de entrega \_\_\_\_\_  
Quien realiza la compra \_\_\_\_\_

Elaboró \_\_\_\_\_ Autorización responsable de compras \_\_\_\_\_ Autorización r. del área solicitante \_\_\_\_\_

Fecha de emisión \_\_\_\_\_  
 Fecha de revisión \_\_\_\_\_

## PROCEDIMIENTO DE EMPLEO DE LA MATERIA PRIMA

Objetivo	I.
Alcance	II.
Responsabilidades	III.
Procedimientos	IV.
Registros	V.

I.- Optimizar el uso, evitar el desperdicio y por lo tanto la generación de aguas de desechos contaminadas con exceso de materias primas.

II.- El presente procedimiento aplica para el empleo de las materias primas de la planta de galvanoplastia y tratamiento.

III. El procedimiento tendrá que ser aplicado por los responsables de las áreas de almacén, de galvanoplastia y de tratamiento, así como por los empleados a su mando con la debida autorización de los responsables.

### IV

4.1 Los responsables de las plantas de galvanoplastia y tratamiento, deberán establecer registros de sobre como emplear, su función y cuales son las características de las materias primas utilizadas en estas áreas. Además de autorizar cualquier registro elaborado por los empleados a su cargo.

4.2 Los responsables de las áreas de tratamiento y galvanoplastia en colaboración con los empleados realizaran chequeos periódicos, para detectar oportunidades de mejoramiento en el uso de los materiales en estas áreas.

4.3 Los empleados que laboren dentro de las áreas de galvanoplastia y tratamiento deberán seguir y en algunos casos elaborar los registros de empleo de cualquier material, así como sugerir cualquier idea para el mejoramiento del uso de estos o los procesos en que están envueltos, además de registrar cualquier duda y sugerir algún tema de capacitación sobre el uso de cualquiera de estos materiales.

4.4 Los responsables de las áreas de galvanoplastia y tratamiento deberán de autorizar los registros elaborados por el personal y los registros elaborados por ellos mismos; pero que son utilizados por el personal a su cargo para el empleo de los materiales de estas área.

Elaboró

Revisó

Autorizó

Lugar y fecha \_\_\_\_\_  
Registro de empleo No. \_\_\_\_\_

**REGISTRO DE EMPLEO**

Material \_\_\_\_\_  
Características de este \_\_\_\_\_  
Empleos \_\_\_\_\_  
Lugar de empleo \_\_\_\_\_  
Volumen de los empleos \_\_\_\_\_  
Posibles reacciones con otros materiales \_\_\_\_\_  
Condiciones de peligro \_\_\_\_\_  
Que hacer en caso de: Derrame \_\_\_\_\_  
Fuga: \_\_\_\_\_  
Mezcla \_\_\_\_\_  
Persona que elaboró \_\_\_\_\_  
Personal que lo utilizó \_\_\_\_\_

Elaboró

Utilizó

Autorizó

Fecha de emisión \_\_\_\_\_  
Fecha de revisión \_\_\_\_\_**PROCEDIMIENTO DE EMPLEO DE LA MATERIA PRIMA**

Objetivo	I.
Alcance	II.
Responsabilidades	III.
Procedimientos	IV.
Registros	V.

I.- Optimizar el uso, evitar el desperdicio y por lo tanto la generación de aguas de desechos contaminadas con exceso de materias primas.

II.- El presente procedimiento aplica para el empleo de las materias primas de la planta de galvanoplastia y tratamiento.

III. El procedimiento tendrá que ser aplicado por los responsables de las áreas de almacén, de galvanoplastia y de tratamiento, así como por los empleados a su mando con la debida autorización de los responsables.

**IV**

4.1 Los responsables de las plantas de galvanoplastia y tratamiento, deberán establecer registros de sobre como emplear, su función y cuales son las características de las materias primas utilizadas en estas áreas. Además de autorizar cualquier registro elaborado por los empleados a su cargo.

4.2 Los responsables de las áreas de tratamiento y galvanoplastia en colaboración con los empleados realizaran chequeos periódicos, para detectar oportunidades de mejoramiento en el uso de los materiales en estas áreas.

4.3 Los empleados que laboren dentro de las áreas de galvanoplastia y tratamiento deberán seguir y en algunos casos elaborar los registros de empleo de cualquier material, así como sugerir cualquier idea para el mejoramiento del uso de estos o los procesos en que están envueltos, además de registrar cualquier duda y sugerir algún tema de capacitación sobre el uso de cualquiera de estos materiales.

4.4 Los responsables de las áreas de galvanoplastia y tratamiento deberán de autorizar los registros elaborados por el personal y los registros elaborados por ellos mismos; pero que son utilizados por el personal a su cargo para el empleo de los materiales de estas área.

Elaboró

Revisó

Autorizó

Lugar y fecha \_\_\_\_\_  
Registro de empleo No. \_\_\_\_\_

**REGISTRO DE EMPLEO**

Material \_\_\_\_\_  
Características de este \_\_\_\_\_  
Empleos \_\_\_\_\_  
Lugar de empleo \_\_\_\_\_  
Volumen de los empleos \_\_\_\_\_  
Posibles reacciones con otros materiales \_\_\_\_\_  
Condiciones de peligro \_\_\_\_\_  
Que hacer en caso de: Derrame \_\_\_\_\_  
Fuga: \_\_\_\_\_  
Mezcla \_\_\_\_\_  
Persona que elaboró \_\_\_\_\_  
Personal que lo utilizó \_\_\_\_\_

Elaboró

Utilizó

Autorizó

Fecha de revisión

Fecha de elaboración

## PROCEDIMIENTO DE LIMPEZA DE DERRAMES, FUGAS Y MEZCLAS

Objetivo	I.
Alcance	II.
Responsabilidades	III.
Procedimientos	IV.
Registros	V.

I. - Evitar el uso excesivo de agua cuando se tenga que efectuar la limpieza de derrames o fugas de material en el área de galvanoplastia y tratamiento.

II. - El presente procedimiento aplica a las operaciones de limpieza que se efectúen para la limpieza de derrames o fugas de material en las áreas de galvanoplastia y tratamiento.

III.

3.1 Será responsabilidad de los jefes de las áreas de galvanoplastia y tratamiento el establecimiento y aplicación del este procedimiento.

3.2 Será responsabilidad del personal que labore en las áreas de galvanoplastia y tratamiento aplicar el presente procedimiento.

IV.

4.1 Los responsables de cada área deberán de informar al personal a su cargo de la existencia de este procedimiento antes de que se presente cualquier incidente.

4.2 Los responsables de cada área deberán de capacitar a los empleados acerca de las operaciones de limpieza que se efectuaran en caso de algún de estos incidentes. Así como también el responsable de área deberá dar autorización previa o posterior a la limpieza con la finalidad de checar la forma en que se realice esta.

4.3 Los responsables de cada área deberán de elaborar registros de que hacer en caso de derrame, fuga o mezcla de cada uno de los materiales y sustancias utilizadas en sus áreas.

4.4 Deberán de conocer los registros elaborados por los responsables de área para poder así utilizarlos cuando así se requiera.

4.5 Los registros deberán de incluir las técnicas de limpieza así como el equipo para la limpieza.

Elaboró

Revisó

Autorizó

Lugar y fecha \_\_\_\_\_  
No de limpieza \_\_\_\_\_

**REGISTRO DE LIMPIEZA DE DERRAMES, FUGAS Y MEZCLAS**

Material \_\_\_\_\_  
Técnica de limpieza \_\_\_\_\_  
Cuidados requeridos \_\_\_\_\_  
Equipo requerido \_\_\_\_\_  
Nombre del personal que realizo la limpieza \_\_\_\_\_  
Tipo de incidente \_\_\_\_\_  
Razón probable \_\_\_\_\_  
Área \_\_\_\_\_  
Materiales o sustancias requeridas \_\_\_\_\_  
Volumen de agua utilizado \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Efectuó

\_\_\_\_\_ Autorizó

**PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA**

Temperatura °C	Peso específico $\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	Densidad $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	(1) Módulo de elasticidad $E/10^6$ kN/m <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica $\mu \times 10^3$ N. s/m <sup>2</sup>	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^3$ m <sup>2</sup> /s	(2) Tensión superficial $\sigma$ , N/m	Presión de vapor pv, kN/m <sup>2</sup>
0	9.805	999.8	1.98	1.781	1.785	0.0765	0.61
5	9.804	1000.0	2.05	1.518	1.519	0.0749	0.87
10	9.804	999.7	2.10	1.307	1.308	0.0742	1.23
15	9.798	999.1	2.15	1.139	1.139	0.0735	1.70
20	9.789	998.2	2.17	1.002	1.003	0.0728	2.34
25	9.777	997.0	2.22	0.890	0.893	0.0720	3.17
30	9.764	995.7	2.25	0.798	0.800	0.0712	4.24
40	9.730	992.2	2.28	0.653	0.658	0.0696	7.38
50	9.689	988.1	2.29	0.547	0.553	0.0679	12.33
60	9.642	983.2	2.28	0.468	0.474	0.0662	19.92
70	9.589	977.8	2.25	0.404	0.413	0.0644	31.16
80	9.530	971.8	2.20	0.354	0.364	0.0626	47.34
90	9.466	965.2	2.14	0.315	0.326	0.0608	70.10
100	9.399	958.4	2.07	0.282	0.294	0.0589	101.33

(1) A presión atmosférica

(2) En contacto con aire.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

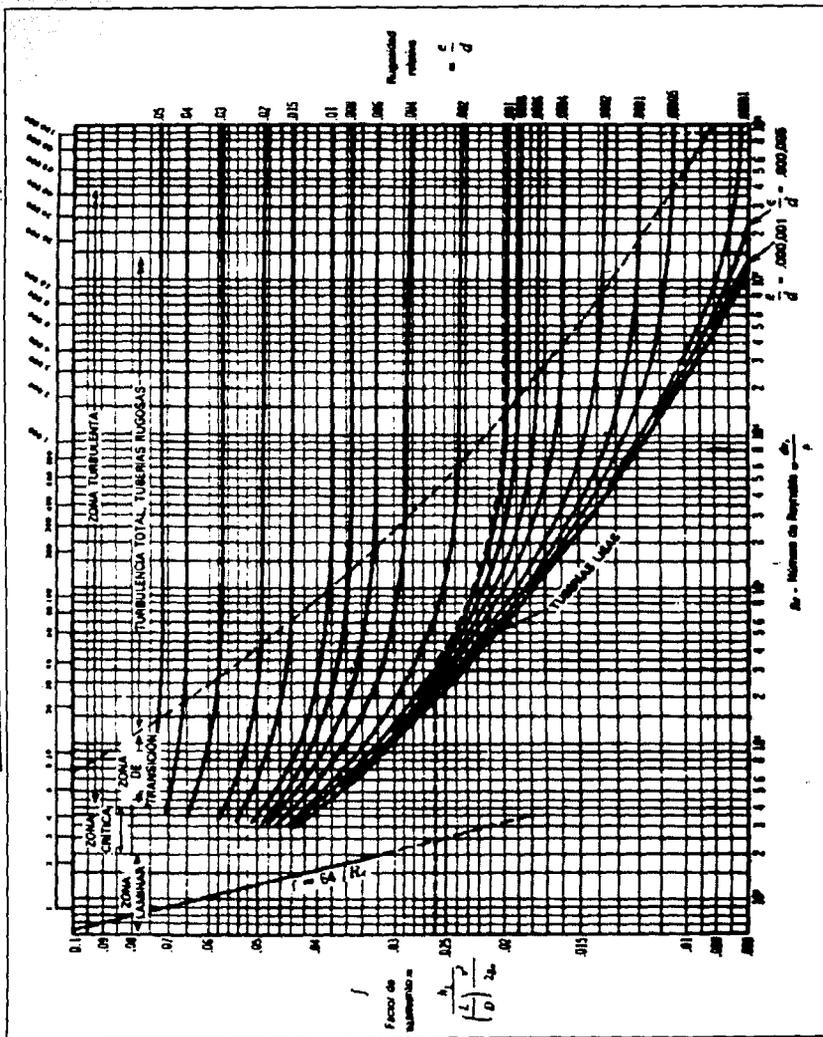
**ESPECIFICACIONES COMERCIALES DE LA TUBERÍA DE PVC**

Especificaciones

MEDIDA NOMINAL in	CEDULA	DIÁMETRO INTERIOR in	DIÁMETRO EXTERIOR in	PRESIÓN DE TRABAJO psi
½	40	0.622	0.840	1910
	80	0.546	0.840	5720
¾	40	0.824	1.050	1540
	80	0.742	1.050	2,200
1	40	1.049	1.315	1440
	80	0.957	1.315	2020
1 ¼	40	1.380	1.660	1180
	80	1.278	1.660	1660
1 ½	40	1.610	1.900	1060
	80	1.500	1.900	1510
2	40	2.067	2.375	890
	80	1.939	2.375	1290
3	40	3.068	3.500	840
	80	2.900	3.500	1,200
4	40	4.026	4.500	710
	80	3.826	4.500	1040

FACTORES DE FRICCIÓN PARA CUALQUIER TIPO DE TUBERÍA COMERCIAL

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



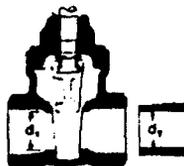
Coefficientes (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULA DE PIE



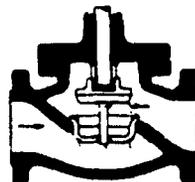
$$K = 75 f_T$$

VÁLVULA DE COMPUERTA



$$K = 8 f_T$$

VÁLVULA DE GLOBO



$$K = 340 f_T$$

CODO ESTÁNDAR DE

90°



$$K = 30 f_T$$

SALIDAS DE TUBERÍA

Con resaca    De cantos vivos    Redondeada



$$K = 1.0$$



$$K = 1.0$$



$$K = 1.0$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## BIBLIOGRAFÍA

- AWWA. American Water Works Association. Control de la Calidad y Tratamiento del Agua. Mc.Graw Hill. 1975.
- Comisión Ambiental Metropolitana en colaboración con Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) TÜV ARGE-MEX. Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto del manejo de residuos industriales para el giro de la galvanoplastia. Septiembre de 1998. sma.df.gob.mx/publica/manuales/galvanoplastia.htm
- Crane. Flow of Fluids, Trough Valvs, Fittings and Pipe. (flujo de fluidos a través de válvulas, accesorios y tuberías), Mc. Graw Hill 1989.
- D.V.W. Kentish. Tuberías Industriales. Editorial URMO S.A. 1982.
- Henze, Harremoes La Cour Jansen. Arvin. Waste Water Treatment, Biological and Chemical Processes. 2ª Edición. Editorial Springer.
- Jairo Alberto Romero Rojas. Potabilización del Agua. Editorial Alfaomega 3ª edición, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999.
- James M Montgomery. Water Treatment Principles and Disign. (Diseño y Principios del tratamiento de Agua). Consulting Engineering. JMM, 1985.
- Kenneth D. Kerri, Bill B, Dendy, John Brady, William Crooks. Industrial Wastewater (Aguas de desecho industriales). Universidad del Estado de California, Fundación Sacramento, 2ª edición, 1994.
- ----- Preventing and Minimizing Wates at the Source. (Prevención y Minimización de los desechos en la fuente). Universidad del Estado de California, Fundación Sacramento, 2ª edición, 1994.
- ----- Treatment of Metal Wastestreams. (Tratamiento de las Corrientes de Desecho con Metales). Universidad del Estado de California, Fundación Sacramento, 2ª edición, 1994.
- Lawrence J. Durney. Electroplating Engineering Handbook, (Manual de Ingeniería de Electrorecubrimientos). Editorial Van Nostrand Reinhold Company(VNR), Cuarta edición, 1984.
- Michael Murphy. Metal Finishing Guide Book and Directory Issue. (Directorio y Guía para el Terminado de Metales), Volumen 91 No 1A. Enero 1993.
- Thomas T. Shen. Industrial Pollución Prevención. 2ª Edición. Editorial Springer.
- Traus Wagner. Contaminación Causas y Efectos. Editorial Geinika. México 1996.

OTRAS FUENTES

- ACS Medio Ambiente, S.A. de C.V. Manual de Instalación Operación y Tratamiento. México D.F. 1994.
- Alvarez García Guillermina. Métodos Analíticos en el Tratamiento de Líquidos Desechados en la Industria de la Galvanoplastia. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN 1996.
- Diccionario Enciclopédico Quillet. Tomo X. Editorial Cumbre S.A. de C.V., 13ª Edición 1979.
- Enciclopedia Encarta 96. Microsoft Windows 95, 1996.
- José Luis Morales Cruz. Evaluación Técnico-Económica del Diseño y Operación de Plantas Paquete Instaladas en México, en una Industria Manufacturera para Tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales Conforme a Datos de Operación. Tesis de licenciatura. Facultad de Química, UNAM 1998.
- INEGI 2000. Sistema de Cuentas Nacionales de México Cifras Preliminares, [www.inegi.gob.mx/estadistica/español/html](http://www.inegi.gob.mx/estadistica/español/html).
- Instituto Nacional de Ecología. México 1994. [www.ine.gob.mx/upsec/publicaciones.new/nove.htm](http://www.ine.gob.mx/upsec/publicaciones/new/nove.htm).
- María del Rosario Sun Kou. Procesos para el Tratamiento de las Aguas Residuales de una Planta Galvánica de Cromo. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería, San Martín de porras, Lima, Perú. [www.icp.csic.es/cyted/monografia/indice.html](http://www.icp.csic.es/cyted/monografia/indice.html).
- Facultad de Ingeniería. Normas de Proyecto para el Aprovechamiento de Agua Potable en Localidades de la República Mexicana. UNAM 1979.
- Portal de Ingeniería Ambiental. Residuos Industriales, [www.ingenierosambientales.com/inf/residuosindustriales.htm](http://www.ingenierosambientales.com/inf/residuosindustriales.htm).
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Reglamento para el Transporte de Materiales y Residuos Peligrosos, [www.sct.gob.mx](http://www.sct.gob.mx).
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT). Normas Oficiales Mexicanas en Materia Ambiental, <http://uninet.mty.itesm.mx/legis-demo/indices/indecol.htm>
- Secretaría de Trabajo y Previsión Social. Normas Oficiales Mexicanas. Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, [www.stps.gob.mx](http://www.stps.gob.mx).

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Addison Wesley. Liquid Waste of Industry (Desechos Líquidos de la Industria) Publishing Company Inc. Editorial H. Blume Ediciones, 1 Edición 1974.
- Campus Tecnológico de la Universidad de Navarra. Residuos Industriales. Reacciones de Reducción de la Toxicidad. <http://www.esi.unav.es/asignaturas/Cursos/ii/cuarto/ciemedam/TEMA3/residindustr.htm>
- Centro de Prevención de la Contaminación del Sur. Tecnologías de Tratamiento. [http://p2.utep.edu/espanol/Manual2/Manual2\\_4-5.cfm](http://p2.utep.edu/espanol/Manual2/Manual2_4-5.cfm).
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria Ciencias del Ambiente) de Argentina y GTZ (Agencia de Cooperación Técnica) de Alemania. Manual de Minimización de Residuos de la Industria de Acabados de Metales. [www.cepis.org.pe/fulltext/gtz/mianmire/mmrindam.html](http://www.cepis.org.pe/fulltext/gtz/mianmire/mmrindam.html).
- Kenneth D. Kerri, Bill B. Dendy, John Brady, William Crooks. Preliminary Treatment (Tratamiento Preliminar). Universidad del Estado de California, Fundación Sacramento, 2ª edición, 1994.
- ----- Physical-Chemical Treatment Processes. (Procesos de tratamiento físico-químico). Universidad del Estado de California, Fundación Sacramento, 2ª edición, 1994.
- ----- Filtration. (Filtración). Universidad del Estado de California, Fundación Sacramento, 2ª edición, 1994.
- Leandro Herrera Z., Ph.D. Instrumentación de Procesos Industriales. P&ID del Tratamiento de remoción de Cromo de aguas residuales. [http://www.cec.uchile.cl/~cabieta/libros/l\\_herrera/iq54a/casos.htm](http://www.cec.uchile.cl/~cabieta/libros/l_herrera/iq54a/casos.htm).
- Greene, W. Richard. Válvulas Selección, Uso y Mantenimiento. 1ª edición 1992. Mc. Graw Hill.
- Weste Water Engineering, Treatment Disposal and Reuse. 3ª Edición. Mc. Graw Hill. 1991.