

33
29



*Universidad Nacional Autónoma
de México*

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA UNA PLANTA DE GALVANOPLASTIA

T E S I S

*Que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO*

presenta

VICTOR RINCON ARCE

Directora de tesis: I Q. Margarita Alonso Espinoza

Cuautitlán, Edo. de Méx.

1989

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

I N D I C E

| | |
|---|----|
| R E S U M E N | 1 |
| CAPITULO I INTRODUCCION | 2 |
| 1.1 Importancia de dar tratamiento a las aguas residuales de plantas de Galvanoplastia. | |
| 1.2 Objetivos | 6 |
| 1.3 Efectos nocivos que tienen los principales contaminantes de la galvanoplastia (en el medio ambiente, flora, fauna, etc.) | 7 |
| CAPITULO II DEFINICION DEL PROBLEMA | 10 |
| 2.1 Datos o requerimientos (Leyes y Reglamento de control del Gobierno Federal) | |
| 2.2 Datos de la planta | 20 |
| CAPITULO III INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA | 29 |
| 3.1 Métodos de recuperación y tratamiento más - recomendables de acuerdo con los <u>contaminantes</u> que se tengan en la planta en cuestión. | |
| 3.1.1 Métodos de recuperación | |
| 3.1.2 Métodos de tratamiento | 59 |

| | |
|---|----|
| CAPITULO IV SELECCION DEL METODO DE TRATAMIENTO | 74 |
| 4.1 Seleccionar el método a seguir | |
| 4.2 Equipo | 82 |
| 4.3 Costos del equipo | 89 |
| 4.4 Conclusiones y Recomendaciones | 91 |
| CAPITULO V A P E N D I C E | 96 |
| B I B L I O G R A F I A | 99 |

R E S U M E N

El presente trabajo tuvo como objetivo, el diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de una planta de galvanoplastia cuyo contenido de cianuro, cromo hexavalente, níquel, cobre y plata sobrepasan los valores máximos permisibles de sustancias tóxicas en una descarga de agua de tipo industrial.

Para poder seleccionar el método de tratamiento adecuado se presentan algunos procesos recomendables para el tratamiento de aguas residuales tales como:

- Intercambio Iónico
- Osmosis Inversa
- Electrodialisis
- Evaporación
- Oxido reducción

Seleccionando para el tratamiento de este tipo de descarga el proceso de óxido-reducción para lo cual se seleccionó el equipo adecuado para llevar a cabo la estabilización de dicha descarga, antes de ser lanzada a un cuerpo receptor.

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

1.1 IMPORTANCIA DE DAR TRATAMIENTO A LAS AGUAS RESIDUALES DE PLANTAS DE GALVANOPLASTIA

Desde el comienzo de la década de los 70s, la contaminación ambiental llegó a ser uno de los problemas sociales más discutidos, y día con día aumenta su dificultad.

A este respecto, lo relacionado con la contaminación del agua, se ha situado a nivel de problema nacional, llegándose incluso a la promulgación de una "Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental".

El tratamiento de las aguas residuales industriales es actualmente un requerimiento en muchas partes del mundo.

Aunque el volumen del agua residual producida por la industria de la galvanoplastia (o de los electrorrecubrimientos) no es grande comparada con algunas otras industrias, los desperdicios contienen cantidades intolerables de materiales que son tóxicos y corrosivos para los desagües o drenajes, perjudiciales para los procesos biológicos en las plantas de aguas residuales.

La mayor parte de los países industriales están controlando la descarga de las aguas residuales de los electrorrecubrimientos.

La industria de la galvanoplastia utiliza varios productos tóxicos en sus procesos y por ello en las aguas negras siempre se encuentran desperdicios de ellos.

La galvanoplastia tiene como fin revestir un metal, o una pieza metálica ya acatada, con uno o varios metales por vía electrolítica de manera que tanto por su aspecto, como por sus propiedades, asemeje al metal del revestimiento galvánico.

El proceso de galvanoplastia, se efectúa dentro de un tanque con

con el paso de corriente eléctrica; teniendo como anodo el metal que se depositará en la pieza y el catodo será la misma pieza a procesar.

Logicamente todo este sistema dentro de una solución electrolítica que estará preparada químicamente, según el recubrimiento metálico que se quiera dar.

En los procesos galvánicos, se desprenden enjuagues que contienen diferentes substancias químicas que necesariamente van al sistema de - aguas negras.

Los principales contaminantes en la industria de la galvanoplastia son el cianuro, plomo, cadmio, cobre, zinc, hierro y otros metales que obligan a todos los industriales del ramo de galvanoplastia, a instalar sistema de tratamiento de las aguas negras de desecho, ya que solamente con el control de cianuro y cromo, se podrían dejar libres otros tóxicos.

Específicamente en este trabajo se tratan aguas residuales de procesos de niquelado, cromado y plateado que están incluidos dentro de la rama de la galvanoplastia.

Por lo tanto, para estudiar el método de tratamiento de esas aguas, se tiene que estudiar cuidadosamente el análisis de las mismas, su volumen y la frecuencia con que son arrojadas al drenaje.

Con estos elementos se puede determinar la forma de reestructurar el proceso y evitar el sobreuso de las aguas, sin que afecte la calidad del producto terminado.

Hasta ahora en todas las plantas, las llaves de los tanques se dejaban abiertas aún durante los descansos y ésto producía una sobrecarga de agua de desperdicio, que era imposible tratar para eliminar substancias tóxicas. Al depositarse mayor cantidad de agua en los tanques, se diluye la concentración de metales en suspensión, pero aumenta el volumen enormemente, aumentando también los costos de purificación.

La cantidad de sustancias por neutralizar, no varía, pero si aumenta el volumen de agua por tratar.

Por otra parte, el trabajo de acabados metálicos no es un proceso continuo, sino intermitente, por lo que la salida de aguas negras tampoco es continua.

Por lo tanto la regularización de la salida de las aguas negras, es la base para efectuar un tratamiento efectivo y económico.

En la siguiente tabla se menciona como ejemplo algunas concentraciones de aguas residuales como se encuentran en grandes plantas de galvanoplastia (o electrorrecubrimientos).

Concentración de Constituyentes de Aguas de Desperdicio Típicas del enjuagado de los Electrorrecubrimientos.

| CONSTITUYENTES | CONCENTRACION, PPM | |
|--|--------------------|----------|
| | (promedio) | (máxima) |
| Fe | Varían ampliamente | |
| CN | 30 | 500 |
| Cu | 20 | 100 |
| Zn | 15 | 50 |
| Cd | 15 | 50 |
| Ni | 25 | 200 |
| Pb | 0 | 30 |
| Cr ⁶⁺ | 50 | 600 |
| Cl ₂ residual | 0 | 0 |
| NH ₃ ó NH ₄ | - | - |
| Acido libre, como H ₂ SO ₄ | 75 | 500 |
| Aceite | - | - |
| Alcalis, como Na OH | 50 | 300 |
| pH | V a r i a n | |

Los materiales de desperdicio se originan en los baños de tratamiento y encuentran su camino al drenaje por uno de los siguientes medios:

- 1) Descarga intencional
- 2) Pérdida accidental, derrame o fugas
- 3) Arrastre en el enjuagado
- 4) Pérdida en la limpieza de los filtros y bombas.

Siempre que sea posible debe evitarse la descarga de los baños concentrados de cualquier tipo; en la actualidad es raro encontrar un baño galvánico en tan mala condición que deba ser descartado, pero los limpiadores, decapados ácidos y ciertas soluciones de inmersión se descargan de ordinario a intervalos programados.

La severidad del perjuicio que se puede ocasionar con las aguas residuales varía con:

- a) El volumen y toxicidad de los desperdicios producidos
- b) La naturaleza de las aguas receptoras
- c) El flujo mínimo de la corriente natural
- d) El proceso empleado en la planta de recuperación

Es difícil fijar requerimientos rígidos de afluencia, basados sobre el efecto de la cantidad total de desperdicios tóxicos producidos sobre el sistema receptor, debido a la poca información disponible sobre este asunto.

Como resultado, las normas y reglas varían ampliamente en los países industrializados, y en la mayor parte de los casos son un asunto de la atención individual para las autoridades concernientes.

Muchos países requieren que las instalaciones nuevas aumentadas sean provistas con instalaciones adecuadas para el tratamiento de las aguas de desperdicios, cuyo diseño debe ser aprobado por el estado antes que se pueda operar la planta.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos de esta tesis son el de proporcionar al Ing. Químico la información siguiente:

- a) Tener una alternativa para reducir la contaminación del agua.
- b) Diseñar un sistema para el tratamiento del agua residual en una planta de galvanoplastia; con una instalación que se pueda operar a un costo general mínimo.
- c) Producir un efluente que cumpla con las leyes y normas del gobierno federal respecto a aguas residuales.
- d) Mostrar algunas otras alternativas de tratamiento para las aguas residuales.

1.3 EFECTOS NOCIVOS QUE TIENEN LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LA GALVANOPLASTIA.

Los desagües de una planta de galvanoplastia es fácil que contengan casi todos los productos que se usan en él. La concentración de las sustancias variará con la clase de trabajo en realización, el depósito especial que se está aplicando y la cantidad de agua que fluye en los enjuagues. Si la dilución de las sustancias arrastradas en las cubas de enjuague fuera la adecuada, no habría problema de evacuación de desagües (suponiendo desde luego, que no se les permita a las cubas rebosar y perder las soluciones, vertiendo en el desagüe), pero para conseguir esta situación será preciso el uso de cantidades antieconómicas de agua. Consecuentemente, los desperdicios de una planta de galvanoplastia contienen siempre suficientes materiales tóxicos para hacer no sólo poco recomendable, sino peligroso e ilegal descargarlos sin tratar en arroyos, y en algunas localidades, incluso en alcantarillas.

Las sales de los metales pesados, los cromatos y los cianuros son las sustancias más tóxicas, y también puede resultar peligroso el que los líquidos residuales estén muy lejos de ser neutros. La evacuación de desagües en arroyos o alcantarillas está estrictamente regulada por el estado.

La descarga de los residuos a un arroyo puede obtener graves consecuencias: Se puede envenenar directamente la pesca por excesiva concentración de sustancias tóxicas, el ganado puede sufrir igual suerte y finalmente, el agua puede convertirse en inadecuada para tratamiento y uso como abastecimiento público. El balance total biológico y microbiológico del arroyo puede alterarse de tal modo que se convierta en una molestia pública. La evacuación a una alcantarilla, aunque aparentemente bastante inofensiva, puede tener también consecuencias muy serias. Las concentraciones altas de ácido clorhídrico pueden poner en peligro la vida de los operarios que

que trabajan en ellas; el hormigón o los pasos de metal pueden atacarse por desagües de acidez elevada, a la vez que las substancias tóxicas pueden trastornar la totalidad de delicados procesos de purificación que se realizan con las aguas residuales. La purificación de éstas se basa en el estudio de la actividad biológica de ciertos organismos en diferentes estados del tratamiento, y la destrucción o inhibición de un particular grupo de bacterias, hongos e insectos, pueden invalidar la totalidad del proceso.

El propósito en los trabajos con las aguas residuales es producir un mantillo que sedimente y aclare el agua, de forma que no contengan substancias tóxicas en concentraciones que excedan de límites aceptables.

En la actualidad, han aumentado las dificultades debido a la carencia de información concreta sobre los valores límites. De tal manera que dependen estos límites de los biológicos, que incluso están sujetos a variaciones climatológicas o de estación. Ello es también cierto en lo referente a la susceptibilidad de las diferentes especies de peces a los cianuros, cromatos y sales de metales pesados, cuya toxicidad depende, entre otros factores, del pH, concentración y temperatura. Constituye una tarea casi imposible el establecer límites fijos de operación desde todas las posibles combinaciones de circunstancias.

Para el químico, todo lo dicho anteriormente destaca la necesidad de encontrar una forma de tratamiento de los desagües, teniendo en cuenta tanto las consecuencias legales como considerando los valores estéticos en relación con las bellezas naturales de la región.

En el Japón se presentó un grave problema en cuanto a la contaminación de sus aguas; como es el caso del Río Tamaguma que suministra el agua potable para uso en Tokio y en cuyo caso se estableció la prohibición total de verter cianuro y cromo.

Sin embargo no dejaron de presentarse accidentes, como la muerte masiva de peces, que se cree fue provocada por aguas negras proceden-

tes de la industria de la galvanoplastia.

Además de esto, se generalizó la contaminación de grandes extensiones por metales pesados.

Por tal motivo se tuvo especial cuidado en controlar los desechos de la industria de la galvanoplastia, en toda la nación japonesa; que fue considerada como especialmente dañina para la salud.

Debido a que en México no existe información en la SEDUE, de los efluentes de aguas residuales de plantas de galvanoplastia, es difícil conocer la realidad actual de las descargas; y si éstas están recibiendo algún tratamiento antes de ser lanzadas a un cuerpo receptor.

Sin embargo se pudo realizar una estadística de plantas de galvanoplastia en la Cd. de México y zona metropolitana, que tratan sus aguas residuales; y dió como resultado que entre plantas pequeñas, medianas y grandes solo el 3% tratan sus aguas residuales antes de ser lanzadas a un cuerpo receptor.

CAPITULO II
DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1 DATOS O REQUERIMIENTOS

(Normas de control de los desechos del agua residual)

Podemos decir que el objetivo de la legislación en México para prevenir y controlar la contaminación del agua; es el de preservar los recursos hidráulicos del país en condiciones óptimas para los usos actuales y futuros que el desarrollo de esta demanda. Por tal motivo, el Ejecutivo Federal declaró de interés público la prevención y el control de la contaminación, y el mejoramiento, conservación y restauración del medio ambiente.

En México la distribución del agua a lo largo de su territorio, es sumamente inadecuada.

Esta situación junto con los problemas de degradación del medio ambiente, ha colocado en un primerísimo plano de importancia, el mantener el recurso hídrico en condiciones de calidad tales que aseguren su uso actual y futuro.

En las zonas donde se encuentra concentrado el 70% de la población y se localiza el 80% de la actividad industrial, o sea en elevaciones superiores a 500 metros s.n.m., el porcentaje disponible del recurso hídrico, es de 15%; lo que indica que el 85% restante se encuentra distante de las zonas de mayor densidad poblacional y de actividad económica.

Aunado a ésto, México tiene ya en la actualidad problemas de contaminación ambiental de todo tipo, que han producido graves daños, y que de no atenderse adecuadamente tal vez produzcan consecuencias irreversibles o cuando menos difíciles de controlar y abatir.

Como respuesta, diversas dependencias del Gobierno Federal, han afrontado la situación, primero con la elaboración de la Ley Federal para prevenir y controlar la Contaminación Ambiental y después, con

la formulación del reglamento de dicha Ley en materia de aguas.

Dicha legislación establece una serie de medidas técnicas y legales que deberán cumplir los responsables de descargas de aguas residuales, las sanciones a que se hacen acreedores en caso de incumplimiento, y los procedimientos a seguir para su aplicación.

El control de la contaminación del agua tiene su fundamento legal en la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación de Aguas; así como en la Ley Federal de Aguas, los que fueron expedidos por el Gobierno Federal el 11 de Marzo de 1971, el 29 de Marzo de 1973, y el 30 de Diciembre de 1971 respectivamente.

En dicha legislación está contenida la idea de fomentar lo que denominamos Tecnología responsable; es decir, una Tecnología que no sólo se preocupe por su avance y por los logros económicos derivados del mismo, sino que también se preocupe por su buen uso, entendiendo como tal, el propiciar al hombre que concilie el desarrollo industrial con la conservación de los recursos naturales, e incluso el fomento de éstos últimos hasta obtener las condiciones más adecuadas para facilitar el desenvolvimiento de los seres vivos.

Obligaciones que establece la legislación a los responsables de descarga:

- a) Permiso para descargar aguas residuales.
- b) Registro de descarga de aguas residuales.
- c) Parámetros máximos tolerables.
- d) Opción de pago de cuotas.
- e) Informe preliminar de ingeniería.
- f) Condiciones particulares de descarga .
- g) No arrojar, ni depositar desechos.

a) PERMISO PARA DESCARGAR AGUAS RESIDUALES.

El permiso de descarga de aguas residuales, constituye un instrumento normativo para señalar a los responsables, las medidas que deberán tomar a fin de que éstas se realicen en condiciones que garanticen el control de la contaminación de los cuerpos receptores.

El otorgamiento de los permisos tiene su fundamento legal en la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, en los artículos 14, 15, 16 y 17.

Artículo 14. Queda prohibido arrojar en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces y demás depósitos de aguas, o infiltrar en terrenos, aguas residuales que contengan contaminantes, materias radiactivas o cualquier otra substancia dañina a la salud de las personas, a la flora o la fauna, o los bienes. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en coordinación con la de Salubridad y Asistencia, dictará las medidas para el uso o el aprovechamiento de las aguas residuales y fijará las condiciones que éstas deban cumplir para ser arrojadas en las redes colectoras, cuencas, cauces, y demás depósitos y corrientes de aguas, así como para infiltrarlas en los terrenos.

Artículo 15. Las aguas residuales provenientes de usos públicos, domésticos o industriales, que descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, mares territoriales y demás depósitos y corrientes, así como las que por cualquier medio se infiltran en el subsuelo y en general las que se derramen en el terreno, deberán reunir las condiciones necesarias.

Artículo 16. No se permitirá la construcción de obras o instalaciones e igualmente se impedirá la operación de las ya existentes, para la descarga de aguas residuales que pueden ocasionar contaminación.

Artículo 17. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

para los efectos de esta Ley, previo dictamen de la de Salubridad y Asistencia resolverá sobre las solicitudes de autorización, concesión o permiso para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas residuales o su descarga en aguas propiedad de la nación, imponiendo en cada caso las condiciones que estime necesarias.

b) REGISTRO DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES.

Con fundamento en los artículos 7 y 10 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, se realiza el registro de todas las descargas de aguas residuales provenientes de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas o pecuarios, con excepción de las de usos puramente domésticos, es decir, las que provienen de casas habitación.

Conviene aclarar que este registro no implica en forma directa un permiso o autorización de descarga, sino que tiene por objeto hacer el inventario de las descargas de aguas residuales existentes en el país, con el fin de obtener la información necesaria para determinar la calidad de los cuerpos receptores, así como realizar la programación a corto, mediano y largo plazo de las acciones que se requieran para Prevenir y Controlar la Contaminación de las Aguas.

c) PARAMETROS MAXIMOS TOLERABLES.

Como una medida general para controlar la contaminación del agua, el artículo 13 del Reglamento establece que los responsables de las descargas que no sean efectuadas a los alcantarillados de las poblaciones, deberán dentro de un plazo de tres años contados a partir de la fecha del registro, ajustarla a los siguientes parámetros de calidad:

| | |
|-----------------------|---|
| Sólidos sedimentables | 1.0 ml/lt |
| Grasas y aceites | 70 mg/lt |
| Material flotante | ninguna que pueda ser detenida por una malla de 3 mm. de claro libre cuadrado |

Temperatura
Potencial Hidrógeno

35°C
4.5 a 10.0

d) OPCION DE PAGO DE CUOTAS.

La obligación de ajustar la descarga a los parámetros antes mencionados, no es sólo para los que se efectúen fuera de los sistemas de alcantarillado, sino también para los que lo hagan dentro de éstos, tal como lo establece el artículo 14 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Agua.

Sin embargo para estos últimos, el mismo artículo previene la posibilidad de optar dentro de un plazo de 10 meses contados a partir de la fecha de registro por el pago de cuotas que fijen las autoridades locales correspondientes, para cubrir los costos de operación del tratamiento de las aguas residuales del alcantarillado municipal.

e) INFORME PRELIMINAR DE INGENIERIA.

De acuerdo con el artículo 16 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, los responsables de las descargas de aguas residuales, que requieran obras o instalaciones de tratamiento para cumplir con los parámetros máximos tolerables, deberán dentro de un plazo de 10 meses contados a partir de la fecha de registro, presentar un informe preliminar de ingeniería.

f) CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA.

Las condiciones particulares de descarga son el conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que deberán satisfacer las aguas residuales antes de su descarga a un cuerpo receptor. Estas son fijadas por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en cumplimiento a los artículos 23 y 24 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua.

Para estar en posibilidad de fijar las condiciones particulares, es necesario realizar en primer término los estudios de clasificación de los cuerpos receptores en función de su uso, para conocer su

capacidad de asimilación y dilución.

Con base en el dictamen que emita la Secretaría de Salubridad y Asistencia, la Secretaría de Recursos Hidráulicos fijará las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales, de acuerdo con la clasificación del agua del cuerpo receptor, su volumen o gasto y las tolerancias fijadas en las siguientes tablas:

T A B L A No. 2

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE LOS CUERPOS RECEPTORES SUPERFICIALES EN FUNCION DE SUS USOS Y
SUS CARACTERISTICAS DE CALIDAD

| Clase | Usos | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) |
|-------|--|-----------|------------------|---------------|---|------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------|------------------------------|------------------|---------------------|
| | | pH | Temperatura (°C) | O.D. (mg/l) | Bacterias Coliformos N N P (Organismos/100 ml) | Aceites y Grasas (sg/l) | Sólidos Enlatos (sg/l) | Turbiedad (U.T.J.) | Color (Escala Platino Cobalto) | Olor y Sabor | Nutrientes Nitrógeno Fósforo | Materia Flotante | Substancias Tóxicas |
| | | | | Límite Mínimo | Límite Máximo | Límite Máximo | Límite Máximo | Límite Máximo | Límite Máximo | Límite Máximo | Límite Máximo | | |
| D A | Abastecimiento para sistemas de agua potable e industria alimenticia con desinfección únicamente. Recreación (contacto primario) y libre para los usos DI, DII y DIII. | 6.5 | C.N. más | 4.0 | 200 fecales (b) | 0.76 | No mayor de 1000 | 10 | 20 | Ausentes | (c) | Ausentes | (d) |
| | | 8.5 | 2.5 (a) | | | | | | | | | | |
| D I | Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) e industrial. | 6.0 a 9.0 | C.N. más 2.5 (a) | 4.0 | 1000 fecales (e) | 1.0 | No mayor de 1000 | C.N. | (f) | (g) | (c) | Ausente | (d) |
| D II | Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora, fauna y usos industriales. | 6.0 a 9.0 | C.N. más 2.5 (a) | 4.0 | 10,000 coliformos totales como promedio mensual; ningún valor mayor de 20,000 (h) | Ausencia de película viscosa | No mayor de 2000 | C.N. | C.N. | C.N. | (c) | Ausente | (d) |
| | | | | | | | | | | | | | |
| D III | Agua adecuada para uso agrícola e industrial. | 6.0 a 9.0 | C.N. más 2.5 (a) | 3.2 | 1000 (j) y libre para los días más cultivos. | Ausencia de película viscosa | (1) | C.N. | C.N. más 10 | | (c) | Ausente | (d) |
| D IV | Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos) | 5.0 a 9.5 | | 3.2 | | | | | | | | | (d) |

pH = Potencial hidrógeno
O.D. = Oxígeno disuelto
N.N.P. = Número más probable

U.T.J. = Unidades de turbiedad Jackson
sg/l = miligramos por litro.

°C = Grados centígrados
C.N. = Condiciones naturales

T A B L A No. 3

VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUBSTANCIAS TOXICAS EN LOS CUERPOS
RECEPTORES.

Límite máximo en miligramos por litro.

| Clasificación (Tabla 2) | DA | DI | DII | DIII |
|--|-------|-------|------|-------|
| Arsénico | 0.05 | 0.05 | 1.00 | 5.00 |
| Bario | 1.00 | 1.00 | 5.00 | — |
| Boro | 1.00 | 1.00 | — | 2.0 |
| Cadmio | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.005 |
| Cobre | 1.00 | 1.00 | 0.1 | 1.0 |
| Cromo hexavalente | 0.05 | 0.05 | 0.1 | 5.00 |
| Mercurio | 0.005 | 0.005 | 0.01 | — |
| Plomo | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 5.00 |
| Cianuro | 0.20 | 0.02 | 0.20 | — |
| Fenoles | 0.001 | 0.001 | 1.00 | — |
| Sustancias activas al azul de metileno (detergentes) | 0.50 | 0.50 | 3.0 | — |

T A B L A No. 3
(CONTINUACION)

| Clasificación (Tabla 2) | DA | DI | DII | DIII |
|--------------------------------------|----------------------|-------|-------|------|
| Extractables con Cloroformo | 0.15 | 0.15 | — | — |
| Plaguicidas | — | — | | |
| Aldrin | 0.017 | 0.017 | | |
| Clordano | 0.003 | 0.003 | | |
| D.D.T. | 0.042 | 0.042 | | |
| Dieldrin | 0.017 | 0.017 | | |
| Endrin | 0.001 | 0.001 | | |
| Heptacloro | 0.018 | 0.018 | | |
| Epóxico de heptacloro | 0.018 | 0.018 | | |
| Lindano | 0.056 | 0.056 | | |
| Metoxicloro | 0.035 | 0.035 | | |
| Fosfatos orgánicos con carbamatos | 0.100 | 0.100 | | |
| Toxafeno | 0.005 | 0.005 | | |
| Herbicidas totales | 0.100 | 0.100 | | |
| Radioactividad | picocuries por litro | | | |
| Beta | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| Radio-226 | 3 | 3 | 3 | |
| Estroncio | 10 | 10 | 10 | |

g) NO ARROJAR, NI DEPOSITAR DESECHOS.

El artículo 29 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, prohíbe arrojar o depositar basura y otros desechos humanos, sólidos gruesos, jales, lodos industriales y similares en ríos, cuencas, cauces, estuarios y demás cuerpos receptores.

También prohíbe depositarlos en zonas inmediatas al cuerpo receptor, y que sean susceptibles de ser arrastrados por las aguas pluviales a éste.

En muchos países están controlando la contaminación, y en cada uno de ellos existen sus leyes y reglamentos para el control de la contaminación del agua.

En los Estados Unidos, las plantas de recubrimientos electrolíticos no como muchas otras plantas de acabados metálicos que producen algún tipo de contaminación ambiental, están controladas por la E.P.A. (Environmental Protection Agency).

2.2. DATOS DE LA PLANTA.

A continuación se da la información sobre volúmenes y características de la planta de galvanoplastia que trabajaremos, para que posteriormente podamos saber la cantidad de los desechos de esta planta y además los tipos de contaminantes que se encuentran en los efluentes.

LINEA 1

| <u>ESTACION</u> | <u>DESCRIPCION</u> | <u>VOLUMEN EN GALONES</u> |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------|
| 1 | Desengrase con percloroetileno | --- |
| 2 | Desengrase por inmersión | 1,300 |
| 3 | Desengrase electrolítico | 1,300 |
| 4 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 5 | Acido sulfúrico | 400 |
| 6 | Enjuague de agua | 400 |
| 7 | Sosa cáustica | 400 |
| 8 | Cobre strike | 500 |
| 9 | Enjuague de agua | 400 |
| 10 | Plata strike | 500 |
| 11 | Plateado | 500 |
| 12 | Enjuague de agua | 400 |

LINEA 2

| ESTACION | DESCRIPCION | VOLUMEN EN GALONES |
|----------|---------------------------|--------------------|
| 1 | Desengrase por inmersión | 1,300 |
| 2 | Desengrase electrolítico | 1,300 |
| 3 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 4 | Ataque ácido | 1,300 |
| 5 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 6 | Niquel Strike | 1,300 |
| 7 | Niquelado | 1,300 |
| 8 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 9 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 10 | Cromado | 1,300 |
| 11 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 12 | Enjuague de agua caliente | 1,300 |

LINEA 3

| ESTACION | DESCRIPCION | VOLUMEN EN GALONES |
|----------|---------------------------|--------------------|
| 1 | Limpieza alcalina | 1,300 |
| 2 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 3 | Desniquelador | 1,300 |
| 4 | Descortezador ácido | 1,300 |
| 5 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 6 | Limpieza alcalina | 1,300 |
| 7 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 8 | Descortezador de cromo | 1,300 |
| 9 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 10 | Cromado | 1,300 |
| 11 | Enjuague de agua | 1,300 |
| 12 | Enjuague de agua caliente | 1,300 |

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LINEA 1 "PLATEADO"

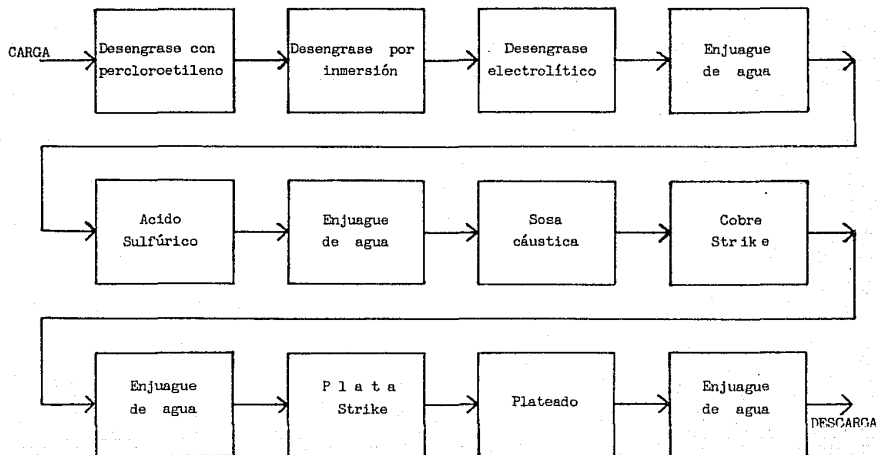


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LINEA 2 "NIQUELADO Y CROMADO"

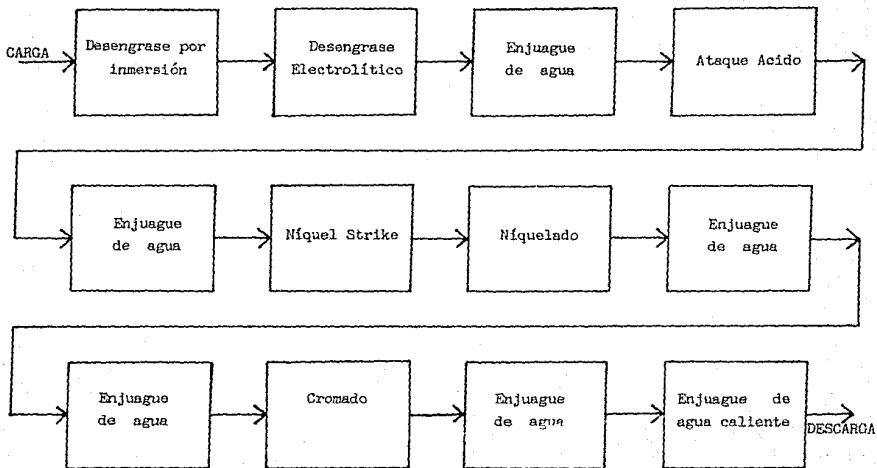
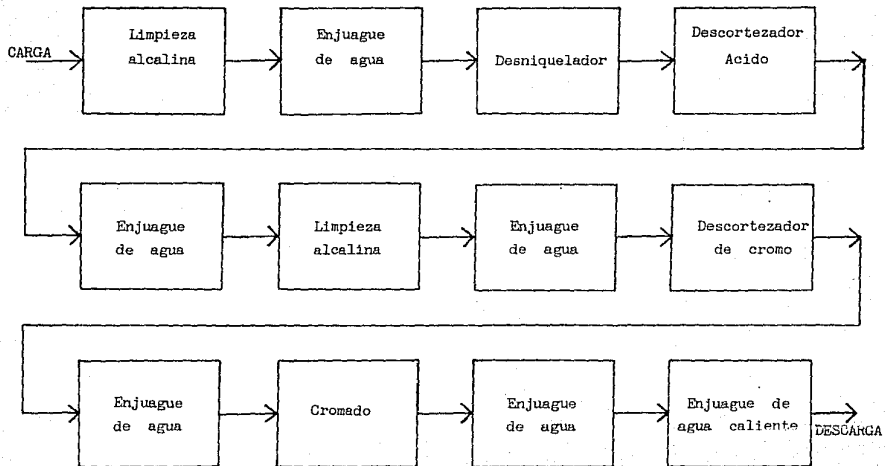


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LINEA 3 "CROMADO"



Composición de los baños electrolíticos usados en la:

L I N E A 1

COBRE STRIKE

| | |
|--------------------|--------|
| Cianuro de cobre | 35 g/l |
| Cianuro de sodio | 52 g/l |
| Hidróxido de sodio | 5 g/l |

PLATA STRIKE

| | |
|----------------------|-----------|
| Cianuro de plata | 9.65 g/l |
| Cianuro de potasio | 45.00 g/l |
| Carbonato de potasio | 30.00 g/l |

PLATEADO

| | |
|----------------------|-----------|
| Cianuro de plata | 36.00 g/l |
| Cianuro de potasio | 60.00 g/l |
| Carbonato de potasio | 45.00 g/l |

Composición de los baños electrolíticos usados en la:

L I N E A 2

NIQUEL STRIKE

| | |
|-------------------|----------|
| Sulfato de níquel | 300 g/l |
| Cloruro de níquel | 45 g/l |
| Acido bórico | 33.7 g/l |

NIQUELADO

| | |
|-------------------|--------------------------------|
| Sulfato de níquel | 300 g/l |
| Cloruro de níquel | 60 g/l |
| Acido bórico | 45 g/l |
| abrillantadores | concentración según la patente |

CROMADO

| | |
|-----------------|---------|
| Acido crómico | 300 g/l |
| Acido sulfúrico | 1.5 g/l |

Composición de los baños electrolíticos usados en la:

L I N E A 3

CROMADO

| | |
|-----------------|---------|
| Acido crómico | 300 g/l |
| Acido sulfúrico | 1.5 g/l |

ESPECIFICACION DE DESCARGAS DEL AREA DE GALVANOPLASTIA A LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

De los análisis efectuados al agua residual durante tres días seguidos, tomando muestras en las horas pico, se obtuvieron los siguientes resultados y conclusiones:

| CONTAMINANTES | CONCENTRACION PROMEDIO DIARIA (mg/l) |
|-----------------|--------------------------------------|
| Cianuro (total) | 250 |
| Cromo (total) | 300 |
| Níquel (total) | 100 |
| Cobre (total) | 50 |
| Plata (total) | 15 |

S E G R E G A C I O N

Los desechos serán separados en cuatro diferentes líneas de proceso, éstos serán drenados por gravedad a los respectivos tanques colectores.

La segregación consistirá de las siguientes categorías:

- 1) Enjuagues de cromo 5 GPM (GPM = Galones por minuto)
- 2) Enjuagues de cianuro 5 GPM
- 3) Enjuagues generales 20 GPM

4) Vertederos Acido/Alcalinos

*

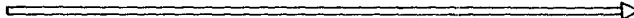
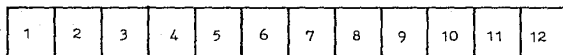
Flujo continuo total

50 GPM

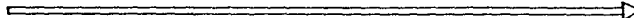
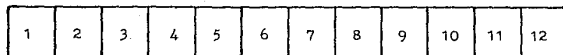
* Los vertederos de soluciones de proceso agotados se medirán en un rango especificado. Generalmente éste será, aproximadamente de 0.1 a 0.5 % del flujo de enjuagues dependiendo de la pureza de la solución. Si el rango de escurrimiento en el tanque de operación es menor que el volumen de los vertederos, se puede requerir un equipo de tratamiento por lotes.

IDENTIFICACION DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCION DE AGUAS RESIDUALES

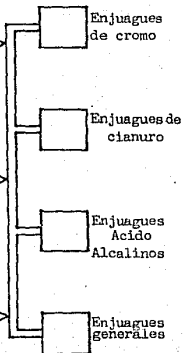
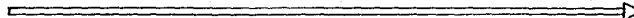
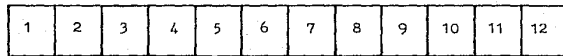
LINEA 3 DE CROMADO



LINEA 2 DE NIQUELADO Y CROMADO



LINEA 1 DE PLATEADO



CAPITULO III
INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA

3.1 METODOS DE RECUPERACION Y TRATAMIENTO MAS RECOMENDABLES DE ACUERDO CON LOS CONTAMINANTES QUE SE TENGAN EN LA PLANTA EN CUESTION.

Los responsables de las plantas pueden seleccionar el tratamiento para los efluentes así como suministrarlos para la descarga para librarse de los contaminantes; pueden recuperar estos mismos contaminantes para ser reutilizados. Por conveniencia para las plantas de galvanoplastia existen métodos de recuperación y métodos de tratamiento para aguas residuales.

3.1.1 METODOS DE RECUPERACION

Los cuatro métodos de recuperación más importantes son los siguientes:

- Osmosis inversa
- Electrodialisis
- Intercambio iónico
- Evaporación

OSMOSIS INVERSA

Las separaciones con membranas cada vez son más importantes en el tratamiento del agua y agua residual. La electrodialisis y la ósmosis inversa se utilizan actualmente para desalinizar el agua en gran escala. Durante la última década se ha llevado a cabo una investigación intensa para desarrollar membranas artificiales, y las perspectivas de estos procesos en la década siguiente parecen ser muy buenas para grandes sistemas industriales y municipales.

Una "membrana" puede definirse como una fase que actúa como una barrera al flujo de especies moleculares o iónicas entre las fases que separa. La fase membrana es generalmente heterogénea. Esta fase puede ser un sólido seco, un gel empapado de disolvente o un

líquido inmobilizado. Para que la membrana actúe como un dispositivo útil de separación debe transportar algunas moléculas más rápidamente que otras.

Por tanto, debe tener elevada permeabilidad para unas especies y baja permeabilidad para otras; es decir, debe ser altamente permeoselectiva.

Los mecanismos de transporte a través de la membrana varían desde la difusión molecular en sólidos que son semejantes a un líquido hasta el flujo viscoso y tortuoso a través de sólidos microporosos.

Los tres procesos de membrana que se utilizan en el tratamiento del agua y agua residual son la electrodiálisis, la ósmosis inversa y la ultrafiltración.

La figura 3.1 nos indica los intervalos útiles para los distintos procesos de separación.

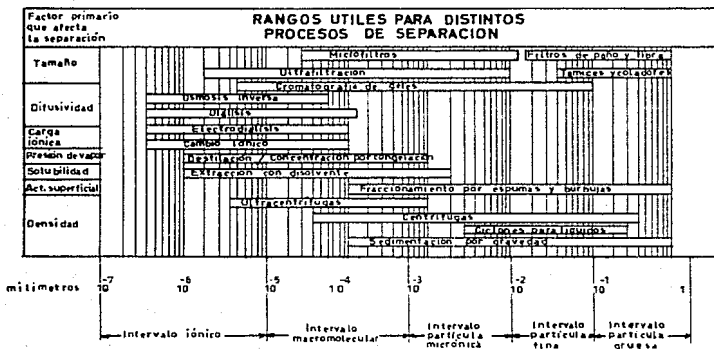


Figura 3.1 Intervalos útiles para los procesos de separación.

Si la presión en el lado de la solución se incrementa por encima de la presión osmótica, la dirección de flujo se invierte. Entonces el disolvente puro pasará desde la solución hasta el solvente.

Este fenómeno constituye la base de la ósmosis inversa aplicada en el tratamiento del agua y agua residual. La energía útil por unidad de volumen suministrada a este proceso, lo es en forma de presión que es superior a la presión osmótica de equilibrio. La ósmosis inversa es de alguna forma similar a la filtración, ambos procesos implican la separación de un líquido a partir de una mezcla que se hace pasar a través de un dispositivo que retiene los otros componentes. Este proceso también se ha denominado hiperfiltración. Sin embargo existen al menos tres diferencias importantes. Primera, la presión osmótica que es muy pequeña en la filtración ordinaria, juega un papel muy importante en la ósmosis inversa. Segunda, en la ósmosis inversa, no es posible obtener tortas filtrantes con bajo contenido de humedad, ya que la presión osmótica de la disolución aumenta con la separación del disolvente. Tercera, los filtros separan mezclas basándose principalmente en el tamaño, mientras que la semipermeabilidad de las membranas de ósmosis inversa para desalinización depende también de otros factores.

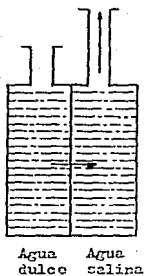
PROCESOS DE SEPARACION POR MEMBRANA Y FUERZAS IMPULSORAS PRINCIPALES

| PROCESO | FUNCION DE LA MEMBRANA | FUERZA IMPULSORA PRINCIPAL |
|-----------------|--|----------------------------------|
| Osmosis inversa | Transporte selectivo del agua | Presión |
| Ultrafiltración | Discrimina según el tamaño molecular, forma y flexibilidad | Presión |
| Electrodialisis | Transporte iónico selectivo | Gradiente de potencial eléctrico |
| Dialisis | Transporte selectivo del soluto | Concentración |

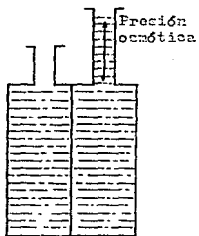
| PROCESO | FUNCION DE LA MEMBRANA | FUERZA IMPULSORA PRINCIPAL |
|--|---|-----------------------------------|
| Cromatografía por tamises moleculares | Retardo de la penetración del soluto de peso molecular elevado. | Concentración |
| Permeación líquida | Transporte selectivo de líquidos | Concentración |
| Separación en un separador de batería | Transporte iónico selectivo pero reteniendo los coloides | Gradiente de potencial eléctrico. |
| Determinación de O_2 por electrodo | Control de la velocidad de despolimerización | Presión parcial o concentración |
| Determinación específica de iones por electrodos | Transporte selectivo de un ión complejo | Concentración (actividad) |

La ósmosis se define como el transporte espontáneo de un disolvente desde una disolución diluida a una disolución concentrada a través de una membrana semipermeable ideal, que impide el paso del soluto, pero, deja pasar el disolvente. Como se indica en la figura 3.2, este flujo de disolvente puede reducirse si aplicamos una presión en el lado de la membrana. Para cierta presión llamada presión osmótica, se alcanza el equilibrio y la cantidad de disolvente que pasa en ambas direcciones es la misma. Si la membrana es idealmente semipermeable, la presión osmótica es una propiedad de la solución solamente. Por lo tanto, la presión osmótica debe ser considerada como una medida de cierta diferencia real, expresable como presión, que existe entre la naturaleza de la Solución y el disolvente puro.

Ósmosis



Equilibrio
osmótico



Osmosis
inversa

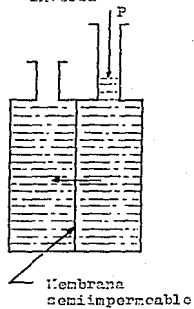


Figura 3.2 Osmosis directa e inversa.

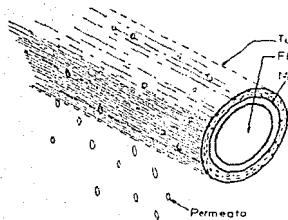
Actualmente, el acetato de celulosa modificado es la membrana que más se utiliza en la ósmosis inversa. Sin embargo, se han desarrollado una gran variedad de membranas y sistemas de soporte.

Un sistema comercial importante se basa en una membrana de poliamida. Esta membrana tiene un coeficiente de permeación al agua menor que de una membrana de acetato de celulosa.

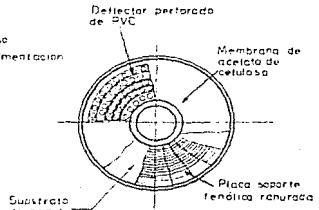
En el diseño de un sistema de ósmosis inversa barato y que responda, aparecen muchos problemas ingenieriles difíciles. A continuación se enumeran algunos de los pasos más difíciles durante el diseño:

- 1.- Soportar una membrana frágil para que pueda aguantar presiones diferenciales de 300 a 102 atm.
- 2.- Evitar que los flujos de alimentación de alta presión y salmuera entren en contacto con el flujo de agua producto de baja presión.
- 3.- Obtener una densidad de empaquetamiento lo suficientemente alta como para reducir al mínimo el costo del recipiente a presión.
- 4.- Reducir al mínimo la polarización por concentración y ensuciamiento por medio del diseño de los canales de alimentación.
- 5.- Evitar las caídas de presión parásitas en los flujos de alimentación, salmuera y producto.
- 6.- Minimizar los costos de reemplazamiento de las membranas.

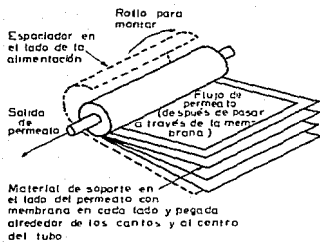
Los intentos realizados para solventar estos problemas a la vez de obtener un equipo económico y seguro, han conducido al diseño de cuatro módulos distintos: placa y marco, tubos largos, arrollamiento en espiral y fibra fina hueca. (Como se muestra en la figura 3.3)



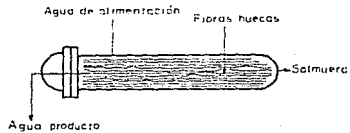
Tubo largo



Placa y marco



Arrolamiento en espiral



Fibras finas huecas

Figura 3.3 Diseño de módulos de ósmosis inversa.

APLICACIONES.

El uso principal de la ósmosis inversa es la purificación de las aguas salobres (hasta 10,000 ppm de sólidos totales disueltos). Se están efectuando muchas investigaciones para utilizar este proceso con agua de mar (35,000 ppm) y corrientes residuales que contengan cargas orgánicas elevadas.

Una aplicación muy indicada de la ósmosis inversa la constituye el pretratamiento del agua para su desionización por intercambio iónico con el fin de obtener un agua ultrapura. Esta combinación es económicamente atractiva y ofrece varias ventajas técnicas. Otras áreas de aplicación en el tratamiento del agua las constituyen el pretratamiento del agua de proceso para alimentar las calderas, agua de reposición en torres de refrigeración, y agua de lavado de dureza casi cero.

El tratamiento del agua residual industrial ofrece un gran potencial para la ósmosis inversa y otros procesos de membrana. Debido a que la ósmosis inversa es un proceso de concentración, se aplica corrientemente cuando:

1. Se precisa o requiere una reducción en el volumen de residuo.
2. Es posible recuperar compuestos valiosos o que se pueden reutilizar.
3. Se requiere conservar o recuperar agua.
4. La concentración de compuestos contaminantes mejorará la eficacia del tratamiento del residuo, simplificará el tratamiento y/o disminuirá los costos.

Los costos de operación de la ósmosis inversa se dividen equitativamente en tres áreas: (1) cargas fijas basadas en la recuperación de la inversión inicial, (2) reemplazamiento de la membrana, (3) costos de potencia, mano de obra, pretratamiento y limpieza. Cuando se reutiliza el agua y/o el concentrado tiene algún valor, algunos de

Los costos de operación son inferiores. Estudios económicos han indicado que el costo puede disminuirse significativamente cuando se trabaja con flujos por unidad de superficie elevados y membranas de vida larga .

ELECTRODIALISIS.

En el proceso de electrodiálisis, la corriente eléctrica induce la separación parcial de los componentes de una solución iónica. Esta separación puede llevarse a cabo, colocando alternativamente membranas selectivas catiónicas y aniónicas al paso de la corriente.

Cuando se aplica la corriente, los cationes son atraídos eléctricamente y pasan a través de la membrana de intercambio catiónico en una dirección y los aniones cruzan a través de la membrana de intercambio aniónico en la otra dirección. Como resultado neto obtenemos alternativamente compartimientos de elevada salinidad y de baja salinidad a través de todo el paquete de membranas paralelas. Entonces el agua pasa a través de varios paquetes de membranas hasta que se obtiene la reducción de salinidad deseada.

La figura 3.4 presenta una pila de electrodiálisis convencional con las membranas selectivas catiónicas y aniónicas distribuidas alternativamente. Las series de celdas (aproximadamente 0.102 cm de espesor) son alternativamente diluidas y concentradas.

La figura 3.5 ilustra la electrodiálisis con algunas membranas neutras. En este proceso se substituye una de las membranas catiónicas o aniónicas por una membrana no selectiva. Realmente es posible utilizar membranas con varios grados de selectividad.

La figura 3.6 ilustra otra variante del proceso de electrodiálisis -electrogravitación- también conocida como electrodecantación. La anchura de la celda es grande (0.5 a 1 cm) y las diferencias de densidad inducidas eléctricamente dan lugar a una circulación lenta. El agua producto sale por la cabeza de la celda y el concentrado por el fondo.

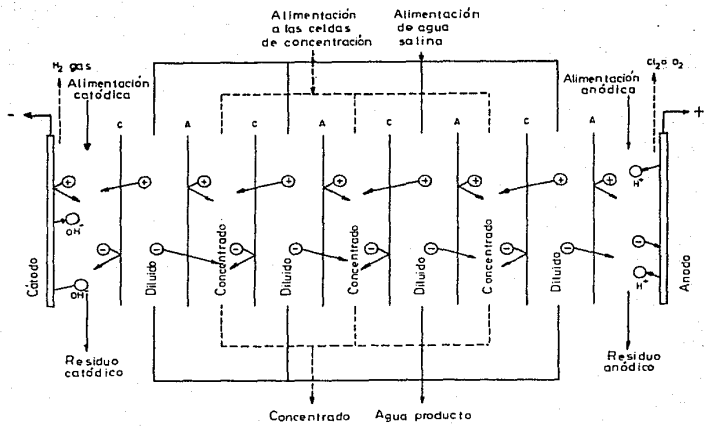


Figura 3.4 Pila de electrodiálisis.

Figura 3.5 Electrodiálisis con membranas neutras

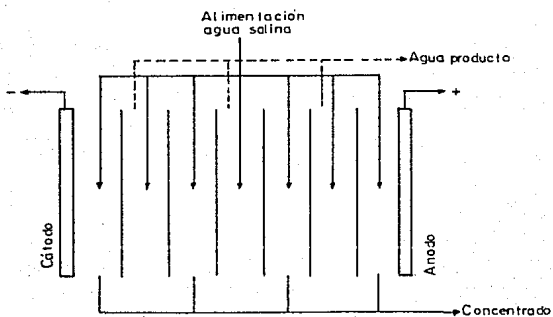
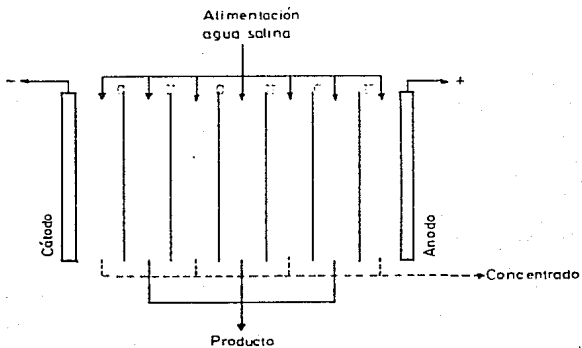


Figura 3.6 Electrogravitación

PROPIEDADES DE LAS MEMBRANAS.

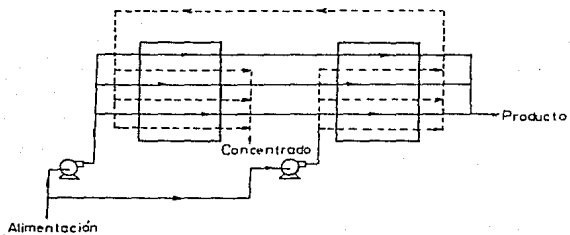
Una buena membrana de electrodiálisis debe ser capaz de discriminar entre iones de descarga opuesta, ha de tener un número de transporte de agua bajo y una conductividad eléctrica buena. También debe tener buena resistencia química (principalmente a la oxidación), adecuada resistencia mecánica y estabilidad dimensional.

La propiedad más importante de la membrana es su permselectividad. La permselectividad es la capacidad que tiene una membrana para dejar pasar o discriminar un ión según su carga.

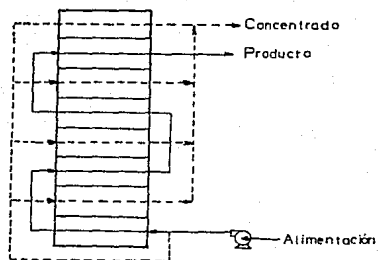
Un electrodiálizador comercial contiene una serie alternada de membranas permeables catiónicas y aniónicas y emplea flujo forzado para reducir la polarización por concentración. La distribución equitativa del flujo entre los distintos compartimientos de la pila se efectúa por medio de restringir las aperturas y salidas de descarga. Aunque desde el punto de operación eficaz es preferible el contraflujo, puede producirse la ruptura de la membrana debido a caídas desiguales de presión en ambos lados de la membrana. El flujo paralelo es el método de trabajo preferido para una pila simple, puesto que las presiones en cada lado de la membrana pueden equilibrarse más suavemente. El contraflujo es el sistema que se usa más corrientemente para las pilas múltiples.

Para el diseño del compartimiento también debemos efectuar balances de material para las corrientes diluidas y concentradas. El grado de desmineralización puede determinarse por el tiempo de permanencia en una celda y la cantidad de corriente que ha pasado a través de la solución en este tiempo.

Similarmente a la mayoría de procesos químicos, el proceso de desmineralización por electrodiálisis puede ser continuo o discontinuo. En el método continuo se utilizan corrientemente tres variaciones: multipilas, varias etapas internas, y alimentación y purga. La figura 3.7 describe esquemáticamente dos de estos tres tipos o sistemas.



Sistema continuo de pilas múltiple

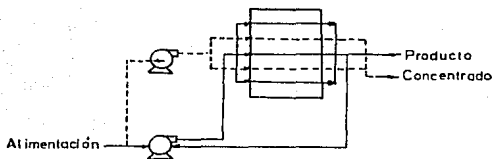


Sistema continuo de varias etapas internas

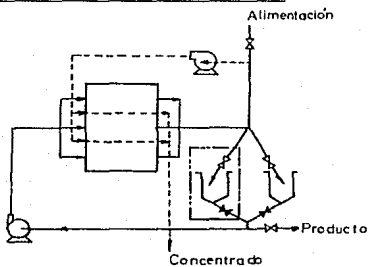
Figura 3.7. Esquema de flujo para electrodiálisis

La figura 3.8 presenta la variación de alimentación y purga del proceso continuo. Este método es aplicable para los casos en que deseamos un caudal de agua producto y calidad constantes y la concentración de alimentación es variable. Tiene una ventaja adicional y es que la densidad de corriente necesaria es baja, y las principales desventajas son consumos de potencia grandes y recirculación.

La figura 3.8 también ilustra un sistema típico discontinuo de recirculación. En este proceso, se recircula una cantidad fija de alimentación a través de la pila (el concentrado se vierte). La principal desventaja de este método es que las variaciones en la resistencia de las membranas afectan al caudal, pero no a la calidad del agua producto. Las desventajas incluyen la dificultad en evaluar el rendimiento ya que no estamos en estado estacionario, consumos de potencia elevados y densidad de corriente variable.



Sistema continuo de alimentación y purga



Sistema de recirculación

Figura 3.8 Esquemas de flujo de electrodiálisis.

APLICACIONES.

La desalinización del agua salobre (10,000 ppm) constituye la aplicación principal de este proceso. En todo el mundo se han construido muchas plantas actualmente en funcionamiento. Los costos de la electrodiálisis son directamente proporcionales, en primera aproximación, a la salinidad de la alimentación.

Otro campo de interés, lo constituye la desmineralización del agua residual. Se ha investigado el proceso de electrodiálisis como la investigación se lleva a cabo para la desmineralización de los efluentes cloacales por este método.

Las industrias de alimentación y bebidas presentan otra área activa de aplicación de la electrodiálisis. Se ha utilizado para desalinizar el suero de la leche, endulzar los jugos cítricos y aguas residuales de industrias de conservas de pescado.

Para citar unas pocas de las aplicaciones en esta industria tenemos: recuperación de ácidos carboxílicos (tales como ácido acético, cítrico y láctico) compuestos químicos de residuos papeleros (tales como productos de la lignina) y los cromatos en los residuos de la industria galvanoplástica.

La optimización económica de las plantas de electrodiálisis ha recibido mucha atención durante los últimos años.

Los factores de costo principales son: (1) cargas fijas en concepto de recuperación de la inversión inicial de capital; (2) sustitución de las membranas; (3) consumo de potencia eléctrica; (4) costos de operación para mano de obra, pretratamiento y limpieza.

El primer factor es el más significativo.

INTERCAMBIO IONICO.

El intercambio iónico es un proceso en el cual los iones mantenidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales cargados situados en la superficie de un sólido, son cambiados por iones de carga

similar de una disolución en la cual el sólido está inmerso. El intercambio iónico se considera como un proceso de absorción, debido a que los grupos funcionales cargados en los cuales ocurre el intercambio, están en la superficie del sólido, y porque los iones cambiables deben sufrir una transferencia de fase, desde una fase en solución a una fase superficial.

El intercambio iónico se usa mucho para el tratamiento de aguas y aguas residuales, principalmente para eliminar la "dureza" producida por los iones (Ca^{+} y Mg^{+}) en los suministros de aguas, y para eliminar el hierro y manganeso en los suministros de aguas subterráneas. También se usa para el tratamiento de diversas aguas industriales con el fin de recuperar los materiales de desperdicio valiosos o subproductos, particularmente formas iónicas de metales.

Una aplicación importante, es la recuperación del cromo hexavalente (Cr^{6+}) en el agua residual de una industria de cromados.

Materiales de intercambio.

Aunque las resinas sintéticas se usan actualmente para la mayor parte de las aplicaciones de intercambio iónico, se sabe que el fenómeno de intercambio ocurre en varios sólidos naturales, incluyendo suelos, humus, celulosa, lana, proteínas carbón activo, carbón, lignina, óxidos metálicos y células vivas tales como algas y bacterias.

En el sentido más amplio de la palabra, una resina sintética consiste en una red de radicales hidrocarburoados a los cuales están unidos grupos funcionales iónicos solubles. Las moléculas de hidrocarburos están unidas transversalmente formando una matriz tridimensional que imparte una insolubilidad y tenacidad global a la resina. La extensión o grado de reticulación determina la estructura porosa interna de la resina, y esta no debe ser tan grande que restrinja el movimiento libre de los iones cambiables. Como los iones deben difundir dentro y fuera de la resina para que ocurra el intercambio, los iones de un tamaño superior a un dedo pueden ser excluidos de la reacción mediante una selección adecuada del grado de reticulación.

La naturaleza de los grupos iónicos unidos al armazón de la resina determinan ampliamente el comportamiento de la misma.

El número total de grupos por unidad en peso de resina determina la capacidad de intercambio, y el tipo de grupo afecta al equilibrio de intercambio iónico y a la selectividad iónica. Cambiadores catiónicos de resinas que llevan cationes cambiables y contienen grupos funcionales ácidos, tales como: el sulfónico, $R-SO_3H$; fenólico, $R-OH$; carboxílico, $R-COOH$; y fosfónico, $R-PO_3H_2$. La letra R representa la red orgánica de la resina. El término "fuertemente ácido" se usa como referencia para resinas catiónicas que contengan grupos funcionales derivados de un ácido fuerte, tal como SO_4H_2 , mientras que el término "debilmente ácido" se usa para resinas catiónicas derivadas de un ácido débil tal como CO_3H_2 . Las resinas aniónicas contienen grupos funcionales tales como amina primaria, $R-NH_2$; amina secundaria $R-R'NH$; amina terciaria, $R-R'_2N$; y el grupo amonio cuaternario, $R-R'_3N^+OH$. R' representa radicales orgánicos como el radical metilo, CH, los cuales no son necesariamente idénticos en toda la resina.

Las resinas aniónicas que contienen grupos derivados de aminas débiles se denominan "debilmente básicas".

La figura 3.9 muestra una representación esquemática de una resina catiónica.

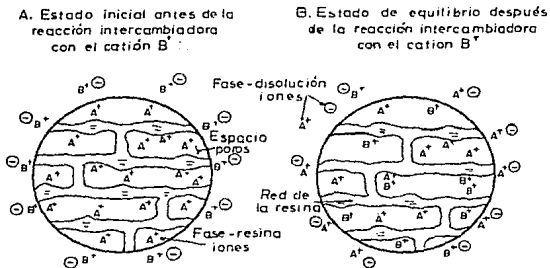


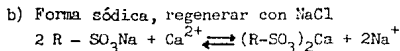
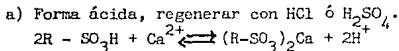
Figura 3.9 Diagramas esquemáticos del armazón de una resina catiónica con lugares de intercambio fijos, antes y después de una reacción de intercambio. (a) Estado inicial antes de la reacción intercambiadora con el catión B^+ (b) Estado de equilibrio después de la reacción intercambiadora con el catión B^+ .

Las cuatro clases de resinas más importantes son: fuertemente ácidas, débilmente ácidas, fuertemente básicas y débilmente básicas.

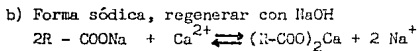
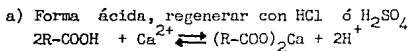
El contraión cambiante de una resina catiónica ácida puede ser el hidrógeno o algún catión monovalente como el sodio, mientras que para una resina aniónica el contraión cambiante puede ser el ión hidróxilo o algún anión monovalente. El regenerante será un ácido, base o sal correspondiente.

A continuación se dan algunas reacciones típicas de intercambio para los distintos tipos de cambiadores funcionales. Cuando los contraiones cambiables de la resina han sido substituidos sustancialmente, la resina se regenera con una solución fuerte (2-10 % en peso) del contraión cambiante. A continuación se da una lista de los regenerantes apropiados para resinas.

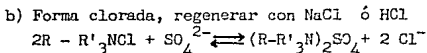
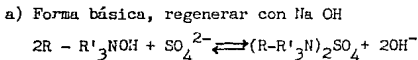
1.- Resinas catiónicas fuertemente ácidas



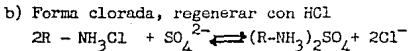
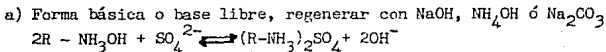
2.- Resinas catiónicas débilmente ácidas



3.- Resinas aniónicas fuertemente básicas

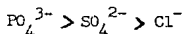


4.- Resinas aniónicas débilmente básicas

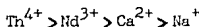


Selectividad Iónica.

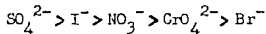
En general, la selectividad de una resina para el intercambio iónico depende de la carga y tamaño de los iones. Como podría esperarse, la influencia más importante es la magnitud de la carga del ión, ya que — una resina prefiere contraiones de elevada valencia. Así para una serie de aniones típicos encontrados en los tratamientos de aguas y aguas residuales, podría esperarse el orden de preferencia siguiente:



De una forma similar, para una serie de cationes,



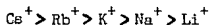
Así aunque los iones de mayor carga tienen prioridad de intercambio se producen excepciones. Por ejemplo, el ión divalente CrO_4^{2-} tiene una selectividad más baja que los iones monovalentes I^- y NO_3^- , como se indica en la serie siguiente:



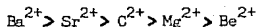
Un segundo factor que influye en la selectividad iónica es la presión de hinchamiento de la resina. En un disolvente polar como el agua, los grupos activos de la resina y disolución tienden a solvotarse.

La solvatación o hidratación de los iones ejerce una presión de hinchamiento dentro de la resina.

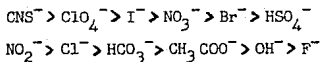
Para una serie de iones, el radio de solvatación es inversamente proporcional al radio iónico no hidratado. A continuación se da el orden de preferencia para los metales alcalinos.



y para los alcalinoterreos.



Se observará que para cada serie, la preferencia aumenta con el número atómico y el radio iónico y disminuye con el radio de solvatación. De forma similar, para una serie aniónica monovalente se obtiene.



El tercer factor que influye en la selectividad es la interacción iónica dentro de la resina y en el volumen de la disolución.

La resina prefiere como regla general los contraiones que presentan

mayor afinidad para los grupos iónicos fijos. La resina absorberá con prioridad los iones que pueden formar precipitados o complejos con los grupos iónicos de la resina.

El último factor significativo en la selectividad iónica es la acción tamizadora o de filtración. Los iones orgánicos y los complejos inorgánicos son muy a menudo demasiado grandes para penetrar la matriz de la resina. Este efecto es mucho más pronunciado para resinas que tengan un grado elevado de reticulación; de hecho, el grado de reticulación influye en la selectividad de la resina.

Cuanto mayor sea el grado de reticulación, mayor es la selectividad de una resina para un ión por encima de otro.

Cuando la reticulación disminuye, el efecto de este factor disminuye llegando a ser despreciable.

Los principios del intercambio iónico pueden aplicarse en ciertas operaciones industriales cuando es preciso eliminar ciertas impurezas iónicas. El tratamiento de estas aguas industriales por intercambio iónico se complica por la presencia de materiales o condiciones que pueden obstruir, atacar e impurificar las resinas. Con las resinas sintéticas se resiste el ataque químico y térmico. Las resinas de poliestireno con divinilbenceno son resistentes al desgaste físico y químico y son insolubles para la mayoría de disolventes orgánicos e inorgánicos incluyendo ácidos minerales y bases. Elevadas concentraciones de agentes oxidantes tales como el ácido nítrico pueden ocasionar efectos deteriorantes al atacar a la resina en los puntos vulnerables de reticulación. En cuanto a la estabilidad térmica, la mayor parte de las resinas son estables a 100°C y temperaturas superiores.

Como se indicó anteriormente, una aplicación importante del intercambio iónico es para la recuperación de metales valiosos a partir de aguas industriales residuales. Un ejemplo bien patente, es la recuperación del cromo hexavalente (Cr^{6+}) en el agua residual de una industria de cromados con el siguiente reciclo del agua tratada.

La figura 3.10 ilustra un esquema de este método de tratamiento para la recuperación del cromo (Cr^{6+}) a partir del agua residual. El agua residual alimenta primeramente a un cambiador catiónico para eliminar metales extraños tales como el hierro, cobre, zinc, níquel y cromo trivalente. El cromo hexavalente presente como CrO_4^{2-} pasa a través del cambiador catiónico y se elimina en un aniónico. El efluente a la salida del cambiador aniónico es agua desmineralizada útil para uso. Para recuperar el Cr^{6+} , el cambiador aniónico se regenera con hidróxido sódico y se libera CrO_4Na_2 .

Esta solución de CrO_4Na_2 pasa a través de otro cambiador catiónico en el cual se intercambia el sodio por hidrógeno, obteniéndose una solución de ácido CrO_4H_2 para recuperar.

Algunas aguas industriales procedentes de estas industrias son muy ácidas y es necesario diluirlas para evitar la destrucción de la resina. La concentración de cromo en la solución de alimentación no debe sobrepasar 119 gr CrO_4^{2-} /litro para la mayor parte de resinas. La regeneración de las resinas para este tipo de aplicaciones es mucho mayor que para las resinas catiónicas utilizadas en el ablandamiento del agua para eliminar los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , a causa del ión común H_3O^+ presente en estas aguas residuales ácidas. Por ejemplo en el período de regeneración se utilizan hasta 400 gr de ácido sulfúrico por litro de resina utilizada en la recuperación del cromato.

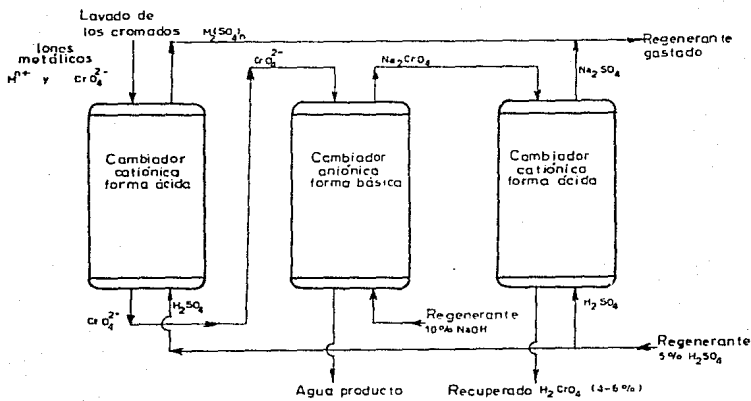


Figura 3.10 Diagrama del tratamiento del agua residual de una industria de cromados y recuperación del cromo por intercambio iónico.

Sistemas de Intercambio

Una desmineralización completa implica un cambiador catiónico seguido por un cambiador aniónico débilmente básico. La figura 3.11 ilustra un diagrama de este tipo de operaciones. Si la resina catiónica está en la forma ácida y la aniónica en la forma básica, esta disposición en serie de los cambiadores convierte sucesivamente las sales en ácidos y después en agua, y por lo tanto se eliminan todos los compuestos iónicos excepto el anhídrido carbónico y la sílice.

Tal como se indica en la figura 3.12, un desgasificador, tanque de decarbonatación o desaerador a vacío puede instalarse después

del cambiador aniónico para eliminar anhídrido carbónico.

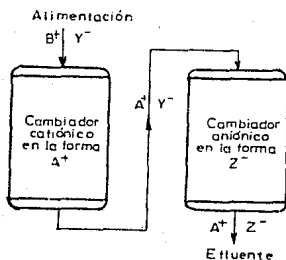


Figura 3.11 Operación de intercambio iónico en dos etapas.

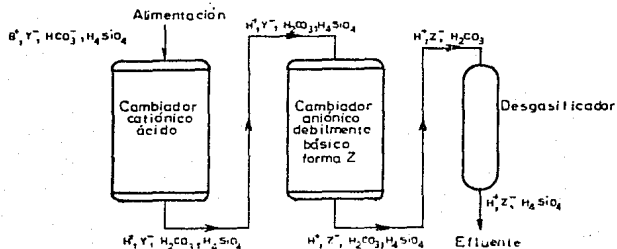


Figura 3.12 Operación en dos etapas con desgasificación para eliminar CO₂.

La figura 3.13 ilustra el dispositivo que debe utilizarse cuando se pretende eliminar el anhídrido y la sílice. Como puede observarse en la figura 3.13 la unidad de descarbonatación precede al cambiador aniónico en la secuencia del flujo. El motivo es que la resina aniónica eliminará el anhídrido carbónico y la sílice; por lo tanto, al reducir la concentración de estos dos compuestos aumentamos la vida de la resina. La potencia requerida para una unidad de desgasificación es relativamente barata comparada con el costo de regeneración de la resina.

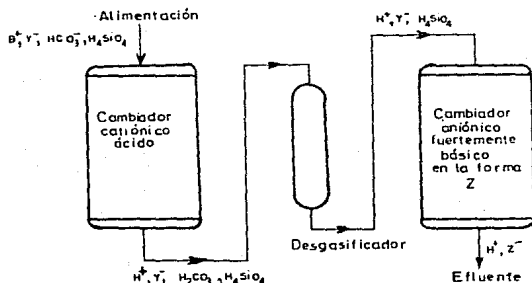


Figura 3.13 Operación en dos etapas para eliminar el CO_2 y la sílice.

La figura 3.14, ilustra un diagrama de un cambiador de resinas mezcladas. En este tipo de instalaciones, una resina catiónica se mezcla íntimamente con una resina aniónica fuertemente básica con el fin de conseguir el efecto de varias unidades de 2 etapas en serie. Mientras que un sistema convencional de 2 etapas, tiene un rendimiento en reducción de sólidos en disolución del 90 - 99 %, un cambiador con resinas mezcladas obtiene solamente un tanto por ciento de las impurezas iónicas. Las resinas mezcladas deben separarse para la regeneración. Esto no significa ningún problema, ya que se escogen resinas con densidades

diferentes tales que durante el lavado pueden separarse. Después de la regeneración las resinas deben mezclarse nuevamente. Esto se suele conseguir soplando aire a través del lecho expandido.

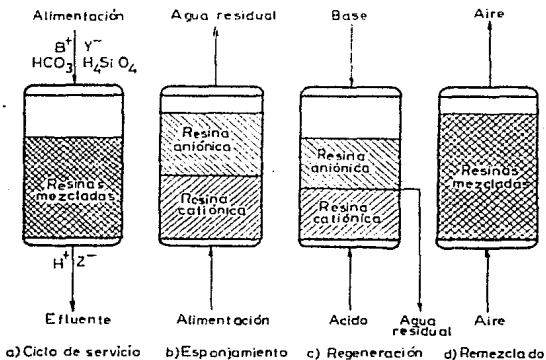


Figura 3.14. Operación de Intercambio con resinas mezcladas.

Consideraciones económicas.

Al diseñar y desarrollar un sistema de intercambio iónico para el tratamiento de una agua específica o agua residual deben evaluarse y ponderarse los gastos de operación y las inversiones de capital. El factor principal del gasto de operación está constituido por los regenerantes y por la regeneración y éste varía según la calidad del agua cruda y el tipo de operación.

El proceso de intercambio iónico tiene un límite económico práctico que depende de la concentración de sólidos disueltos en el agua cruda.

Los procesos de ósmosis inversa y electrodiálisis son más económicos para concentraciones del orden de 1,000 mgr/lit. Para cada aplicación particular, es necesario evaluar la economía y las limitaciones del intercambio iónico incluyendo todos los costos variables.

El fabricante de un tipo de resinas suministra información detallada sobre sus propiedades y comportamiento. Sin embargo, antes de efectuar la selección de una resina para una aplicación determinada es necesario muchas veces, efectuar pruebas con la resina en cuestión. Las resinas que han estado en servicio por algún tiempo, deben evaluarse nuevamente, ya que es posible que su capacidad haya disminuido por pérdida de lugares de intercambio y/o reducción de la reticulación.

EVAPORACION

Los principios de evaporación son un concepto bastante simple: la solución es simplemente elevarla a una temperatura (la cual depende sobre la presión del sistema) a la cual el solvente agua está fuera de ebullición, para ser recondensada como agua pura, sobrando la solución suficientemente concentrada para el uso eficiente de los metales o compuestos contenidos. El diseño y operación de plantas de recuperación evaporativa pueden ser medianamente complejos en ejecución, y la economía puede ser completamente complicada. La evaporación es una operación básica unitaria en ingeniería química y como tal es bastante extensa para detallarla; su aplicación a la recuperación de metales en operaciones de recubrimientos han sido bastante aceptables. Como por ejemplo el ácido crómico ha sido recuperado del agua de desperdicio del cromado concentrado el efluente de un sistema de enjuagado en una torre con una contra corriente de aire caliente, diseñada especialmente para producir un líquido de desperdicio tan concentrado como sea posible.

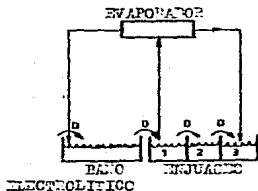


Fig. 3.15 Sistema simple de evaporación cerrada D = arrastres; el evaporador puede ser de efecto múltiple.

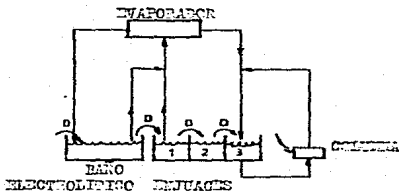


Fig. 3.16 Recuperación evaporativa y desmineralización del enjuague final.

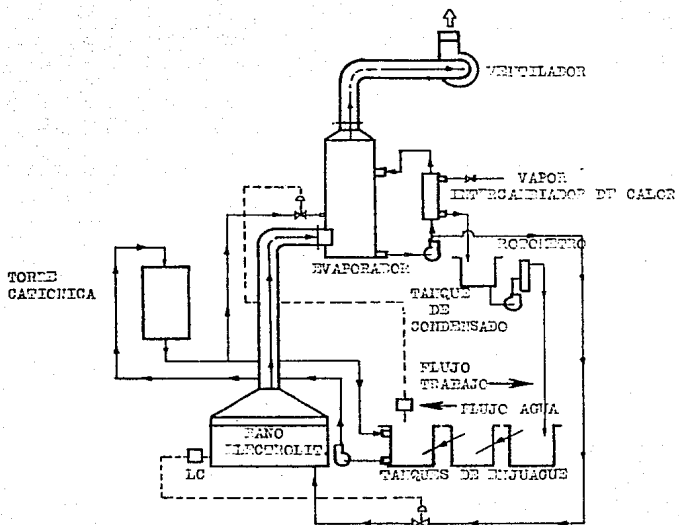


Figura 3.17 .Recuperación evaporativa.

3.1.2 METODOS DE TRATAMIENTO.

Todos los métodos de tratamiento para aguas residuales se basan en la oxidación química.

OXIDACION QUIMICA

La oxidación es el fenómeno que resulta de la pérdida de uno o más electrones por un átomo o un ión, y la reducción es el fenómeno en el cual un átomo o un ión aumenta el número de sus electrones.

Para reacciones inorgánicas simples de oxidación y reducción (redox), la oxidación equivale a una pérdida de electrones y la reducción a una ganancia de los mismos. Esta definición no se aplica directamente a las reacciones orgánicas.

Las definiciones más comunes de reacciones orgánicas redox incluyen además de una transferencia completa de electrones, los mecanismos alternativos de transferencia de especies hidrógenadas u oxigenadas distintas del protón óxido e ión hidroxilo.

El objetivo de la oxidación en el tratamiento de aguas y aguas residuales es convertir las sustancias químicas nocivas en sustancias que no sean peligrosas ni ofensivas.

Debe tenerse en cuenta, que los tiempos de reacción para una oxidación completa son a menudo tan largos, que el equipo requerido no es práctico. Por estas razones, es más realista definir la oxidación química en el tratamiento de aguas y aguas residuales, como un método que modifica de una forma selectiva las sustancias ofensivas y/o tóxicas. Estas sustancias incluyen.

- 1.- Sustancias inorgánicas (por ejemplo: Mn^{2+} , Fe^{2+} , S^{2+} , CN^- , SO_3^{2-}).
- 2.- Sustancias orgánicas (por ejemplo: fenoles, aminas, compuestos que dan sabor, olor, color, otros compuestos tóxicos).

Limitaciones de los procesos de oxidación y los agentes oxidantes en el tratamiento de aguas residuales:

Excepto para oxidaciones biológicas, las aplicaciones de la oxidación están actualmente limitadas, principalmente por razones de tipo económico, al tratamiento de agua potable, tratamiento de aguas industriales tanto específicas como residuales y tratamiento terciario de aguas residuales de alto nivel.

El reciclado del agua tratada impone ciertas restricciones al tipo de oxidantes que deban usarse, con respecto a los residuales tóxicos u otros efectos perjudiciales. Idealmente, ningún residuo del oxidante debe permanecer al terminar el tratamiento. Existen otros muchos aspectos importantes que deben considerarse al seleccionar los agentes oxidantes adecuados para el tratamiento de aguas y aguas residuales. Estos son:

- 1.- Eficacia del tratamiento.
- 2.- Costo.
- 3.- Facilidad de manejo.
- 4.- Compatibilidad con etapas de tratamiento anterior o posterior.
- 5.- Naturaleza de la operación de oxidación.

Existen solamente unos cuantos agentes oxidantes que cumplen estos requisitos:

- 1.- Oxígeno o aire.
- 2.- Ozono
- 3.- Agua oxigenada (uso muy limitado).
- 4.- Permanganato potásico.
- 5.- Cloro (o hipocloritos).
- 6.- Dióxido de cloro).

En general, una selección entre dichos agentes oxidantes, se basa principalmente en la economía y las características de manejo del material, para una eficacia dada. Siempre debe efectuarse una comparación económica con otros posibles procesos, en el bien entendido de que los procesos alternativos sean comparables con respecto a los resultados globales.

En base a lo dicho anteriormente los tres métodos más importantes

para el tratamiento de aguas residuales en las plantas de galvanoplastia son: tratamiento por cargas, tratamiento continuo y tratamiento integrado.

Tratamiento por cargas.

El método más antiguo, confiable y de mayor uso para el tratamiento del agua residual para una planta de galvanoplastia es proporcionar dos o tres tanques de almacenamiento para cada corriente de desperdicio, siendo cada tanque del tamaño suficiente para contener el flujo de la corriente sobre un periodo de tiempo dado, de ordinario un día o un turno. Entonces la corriente se desvía al segundo tanque en tanto el primero se trata, analiza y descarga. Es preferible contar con un tercer tanque de reserva para el caso de que se presenten dificultades en el tratamiento o descarga de uno de los otros. Este tipo de instalación es más económica que una planta continua, especialmente para instalaciones pequeñas, pero se convierte en inmanejable y costosa de operar cuando el flujo del desperdicio exceda de unos 10,000 gal/día. La operación es de ordinario completamente manual, pero puede instrumentarse para reducir la cantidad de atención necesaria.

Tratamiento continuo.

Una planta de tratamiento continuo es más compacta, costosa de instalar y económica de operar que los otros tipos. El control automático es por lo común complejo, y virtualmente la única atención manual requerida es el mantenimiento de los instrumentos en buen estado y el llenado periódico de los recipientes de las sustancias químicas para el tratamiento.

El tratamiento continuo es la tecnología predominante que se usa hoy en día. Es más práctico que el tratamiento por cargas para el enjuague diluido de los desechos de agua de una planta típica de galvanoplastia. Las reacciones de tratamiento son conducidas en tanques separados, los cuales tienen tiempos de retención apropiados y están controladas a ciertas condiciones para favorecer su consumación.

El tratamiento de los químicos es adicionado continuamente a los tanques de reacción, generalmente sobre el control de instrumentos tales como medidores de P.H. y medidores de óxido reducción.

Tratamiento integrado.

Un nuevo concepto en el tratamiento de los desperdicios es la neutralización en la línea de los componentes tóxicos antes de que lleguen a formar parte de la corriente de líquidos de desperdicio, la principal aplicación de este método ha sido en el tratamiento de los desperdicios de cianuro y de cianato. El principal inconveniente del método integrado es el hecho de que está limitado a instalaciones de electrorrecubrimientos más bien sencillas que no sean muy grandes.

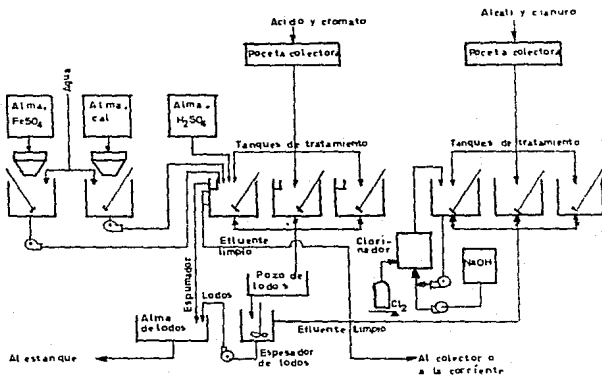


Figura 3.18 Hoja de flujos típica, tratamiento por cargas, basada sobre la segregación ácido-alcalina de los líquidos residuales.

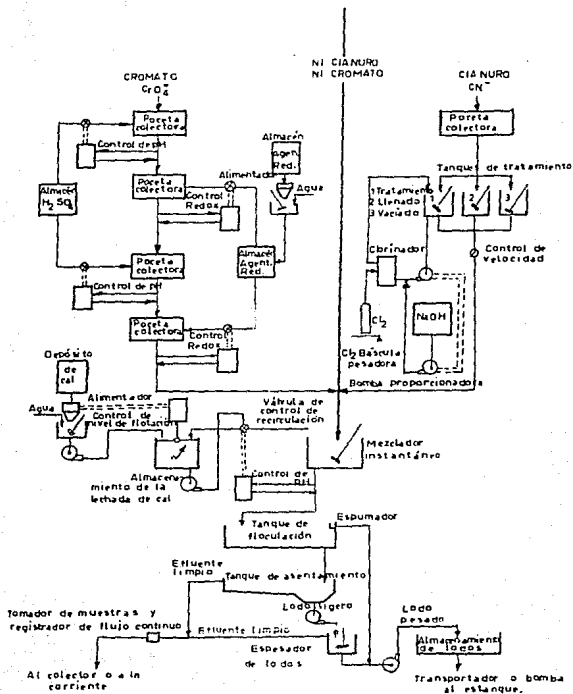


Figura 3.19 Hoja de flujo típica, planta de tratamiento continuo, basada en la triple segregación de la corriente de líquidos residuales.

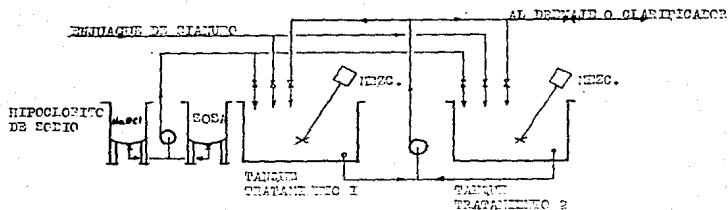


Figura 3.20 Tratamiento por cargas para cianuro.

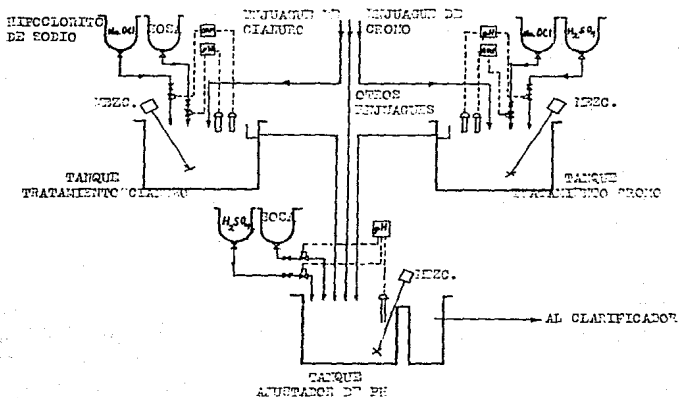
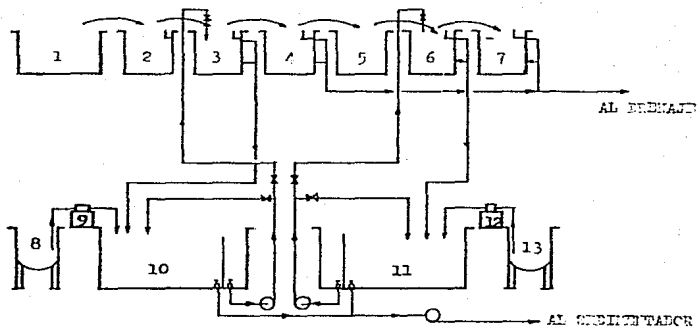


Figura 3.21 Tratamiento continuo de cianuro y cromo

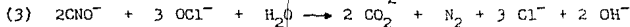
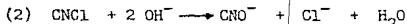
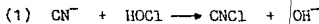


- 1) Soluciones de cianuro
- 2) Arrastre
- 3) Tratamiento de desechos de cianuro
- 4) Enjuagues de agua
- 7)
- 5) Proceso de ácido crómico
- 6) Tratamiento de desechos de ácido crómico
- 8) Hipoclorito de sodio
- 9) Bombas de alimentación
- 12)
- 10) Tratamiento de desechos de cianuro (depósito)
- 11) Tratamiento de desechos de cromo (depósito)
- 12) Carbonato de sodio

Figura 3.22 Esquema típico del tratamiento integrado.

Tratamiento químico para los cianuros.

La oxidación de los cianuros por el ión de hipoclorito (que puede formarse por hipoclorito de cloro, de sodio, o de calcio) sigue estos tres pasos:



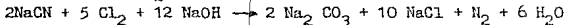
La reacción (1) es muy rápida; la reacción (2) es muy lenta bajo un valor de pH de 9, a menos que haya presente un exceso de hipoclorito; al 10% o mayor es más bien rápida y la oxidación es completa en la zona del cianato (0.2 ppm de CN residual) en 5 minutos o menos, previniendo que no haya presente iones de níquel. Si hubiese presente níquel, la reacción (2) no se completará en menos de 30 min., y sólo si se emplea un 20% de reactivo en exceso.

La reacción (3) es muy lenta sobre un pH de 9 requiriendo una hora al menos, y muchas horas si el pH es de 11 o más. Sin embargo, si se añade inicialmente hipoclorito suficiente para completar la reacción (3) el gran exceso presente con respecto a la reacción (2) lo lleva a completarla en unos cuantos minutos, aún a un pH de 8 ó 9, y a este pH la reacción (3) es más rápida.

La mejor práctica, en consecuencia, es ajustar un pH de 8.5 y dejar un tiempo de reacción de una hora. Debe emplearse cerca del 10% de exceso de hipoclorito, o la destrucción de los cianatos será incompleta.

Las siguientes reacciones nos ilustran como se destruyen los cianuros; usando NaCN como ejemplo:

Oxidación con Cl_2 y NaOH:



Oxidación con NaOCl y NaOH:



Las necesidades de reactivos son las siguientes:

| | Por lb de NaCN | Por lb de CN^- |
|-----------------------|----------------|------------------|
| | | (usando Cl_2) |
| Cl requerido | 3.62 | 6.38 |
| NaOH requerido | 4.90 | 9.25 |
| Na_2CO_3 resultante | 2.16 | 4.07 |
| NaCl resultante | 5.97 | 11.28 |

| | | |
|-----------------------|------|----------------|
| | | (usando NaOCl) |
| NaOCl requerido | 3.8 | 7.16 |
| NaOH requerido | 0.32 | 1.55 |
| Na_2CO_3 resultante | 2.16 | 4.07 |
| NaCl resultante | 5.97 | 11.28 |

La selección del hipoclorito es mayormente un asunto económico. Basados en el costo por unidad de cloro disponible, el cloro es la forma más económica en sí. El equipo para clorinación, sin embargo, es costoso y en instalaciones pequeñas se prefiere el hipoclorito sódico o el hipoclorito cálcico.

El $Ca(OCl)_2$ sólido causa en descenso local del pH y la formación de productos secundarios indeseables. Los productos de calcio aumentan el volumen de lodo a manejar.

Los metales pesados originalmente presentes serán precipitados como hidróxidos o carbonatos en el tratamiento total de clorinación.

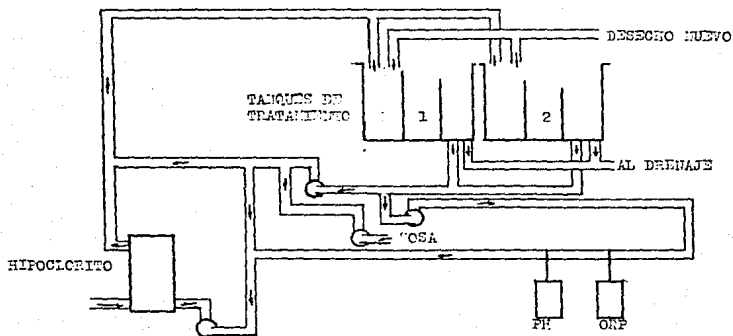


Figura 3.23 Sistema por cargas instrumentado para cianuros.

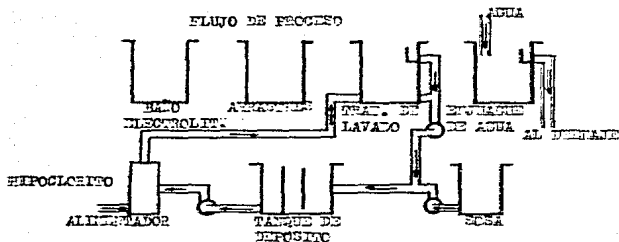


Figura 3.24 Sistema continuo para tratamiento de cianuros.

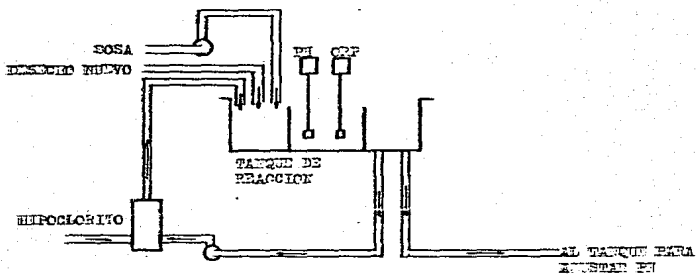


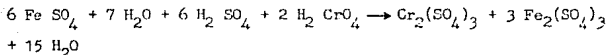
Figura 3.25 Sistema "Integrado" para tratamiento de cianuros.

Tratamiento Químico para el cromo.

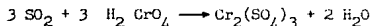
Afortunadamente los métodos para tratar desechos con cromo, son muy efectivos; lo más común es hacer la reducción a cromo trivalente, seguido de una neutralización y precipitación.

Los agentes reductores más usuales para el cromo hexavalente son: dióxido de azufre o sus sales, metabisulfito de sodio y bisulfito, las reacciones químicas son las siguientes:

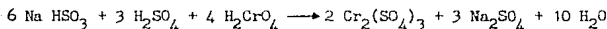
Con Sulfato Ferroso



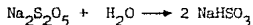
Con Dióxido de Azufre.



Con Bisulfito de Sodio



La reacción del metabisulfito de sodio es idéntica a la del bisulfito puesto que al agregar agua se produce bisulfito.



Normalmente el pH de las aguas contaminadas con cromo es de aproximadamente 4.5, el valor óptimo depende del agente reductor usado, para bajar dicho pH se usa ácido sulfúrico.

El dióxido de azufre es uno de los productos químicos más usados para este tratamiento, se aplica licuado a presión o gaseoso en cilindros.

Según la reacción, 1 lb de cromo necesita 1.85 lbs de SO_2 , la ventaja de usarlo es que no requiere ácido.

Por otro lado, se necesitan 2.81 lbs de metabisulfito de sodio 97% pureza o 3.16 lbs de bisulfito de sodio por cada libra de cromo

Cuando se usan estos materiales se debe bajar el pH de 2 a 3 para completar la reducción.

Aunque estos productos son más caros que el SO_2 son preferibles por ser más fáciles de usar.

Los métodos anteriores forman menos lodos que cuando se usa sulfato ferroso, este tiene la ventaja que no libera gases tóxicos, eliminando la necesidad de equipar de ventilación.

La reducción del 1 lb de cromo hexavalente requiere 16 lbs de sulfato ferroso pero este es más barato.

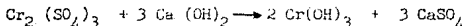
En la reacción de precipitación el pH se sube a 8.5 para precipitar el cromo trivalente.

Para Neutralización y Precipitación.

El cromo reducido puede ser neutralizado por diferentes sustancias alcalinas como son: cal hidratada, carbonato de sodio, e hidróxido de sodio, las 2 primeras son mejor, puesto que un exceso de sosa cáustica, eleva el pH y puede redisolverse el cromo trivalente.

La reacción de precipitación de los procesos anteriores con cal son:

Sistema con bisulfito:



Sistema con Sulfato ferroso:



Cada libra de cromo que ha sido reducida con bisulfito, produce 6.36 lbs de lodos cuando se precipita con cal hidratada, con sulfato ferroso se producen 25.5 lbs de lodos.

Los costos de los productos químicos para el tratamiento del cromo hexavalente basados en precios actuales son:

| Método | Costo Total |
|------------------------|-------------|
| Sulfato ferroso | Alto |
| Metabisulfato de Sodio | Medio |
| Dióxido de azufre | Bajo |

Es factible reducir el costo del proceso que usa ión ferroso, puesto que el sulfato ferroso o el cloruro, lo podemos tomar de los baños para decapado del acero, los cuales existen en la mayoría de las plantas de galvanoplastia.

Para la separación de lodos.

Después de que el metal ha sido precipitado, el hidróxido y otros sólidos se deben separar.

Normalmente la separación por medio de filtración es difícil por la naturaleza gelatinosa del hidróxido de cromo, el cual tapa el medio filtrante. Es mejor dejar que el lodo se asiente en tanques de sedimentación.

El proceso de reducción puede ser en forma parcial o continua, cuando se usa ésta, se necesitan controles automáticos para el flujo del material, medidores de pH, detectores de óxido reducción (ORP), etc.

El tratamiento de los desechos puede ser más económico si el industrial puede conservar su agua para reducir el volumen a tratar. Se recomienda el uso de enjuagues a contracorriente.

Tratamiento de aguas ácidas y alcalinas.

En las plantas de galvanoplastia se usan muchos ácidos y álcalis, y el pH de las aguas negras es muy variable.

En general son más las aguas ácidas que alcalinas que hasta la fecha se tiraban, y sólo se les trataba a un pH de 8 a 8.6.

Los líquidos residuales fuertemente ácidos se pueden emplear con ventaja para ajustar el pH, y su contenido en hierro ferroso puede ser útil para reducir el cromo hexavalente.

Los álcalis fuertes no son usualmente útiles en lo económico en el ajuste del pH, debido a que su elevado contenido de silicatos, fosfatos y carbonatos da como resultado la precipitación de tanta cal como se esperaba ahorrar.

En consecuencia, es importante proveer tanques de almacenamiento temporal para estos líquidos concentrados, los cuales se pueden mezclar en la corriente de otros líquidos residuales durante períodos de operación de la planta.

CAPITULO IV
SELECCION DEL METODO DE TRATAMIENTO

4.1 SELECCIONAR EL METODO A SEGUIR.

Por el volumen de las aguas residuales de esta planta en especial; que es bastante elevado (30 GPM), el método de tratamiento continuo es el ideal.

El tratamiento continuo es la tecnología predominante que se usa en la actualidad.

En este tratamiento el control automático es bastante eficiente y completo, además que un número mínimo de personas lo puede controlar.

El sistema como se propone está diseñado para cumplir los límites mostrados en la tabla 1.

Esta será la calidad de las aguas residuales que serán desechadas al drenaje después de haber sido tratadas.

| Contaminante | Máximo diario (mg./lt) |
|--------------|------------------------|
| Cianuro | 0.20 |
| Cromo | 5.00 |
| Níquel | 3.50 |
| Zinc | 5.00 |
| Cobre | 1.00 |
| Plata | 1.00 |

Este sistema de tratamiento de aguas está diseñado para cumplir con las condiciones particulares de descarga que son fijadas por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Regulando la descarga de contaminantes como se define en la tabla 1 se dá cumplimiento a lo establecido en los artículos 23 y 24 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

Esta garantía de diseño está supeditada a que el sistema sea operado a un flujo pico, que no exceda de 30 GPM y de acuerdo con las instrucciones de operación provistas. Los metales pesados totales al sistema no deberán exceder de 100 mg /lt promedio ó 200 mg /lt de concentración pico.

El mecanismo de tratamiento de las aguas residuales es el siguiente:

TRATAMIENTO DE CROMO

Los enjuagues de cromo fluirán por gravedad a un tanque de colección de cromo de 370 galones. Una de las dos bombas de flujo variable, resistentes a la corrosión transferirá esta solución al tanque de reacción.

Estas bombas estarán manejadas por un control de conductividad para arrancar y parar las bombas y accionar una alarma sonora de alto nivel.

El sistema está diseñado para reducir el cromo hexavalente contenido en 5 GPM de agua de enjuague. El agua de enjuague se transferirá del tanque de colección a través de tuberías separadas a un tanque de tratamiento de cromo para reducción de cromo hexavalente a cromo trivalente.

El tanque de tratamiento de cromo tiene 180 galones de volumen y puede proporcionar un tiempo de retención de 36 minutos, lo que es adecuado para una reducción completa. Se utiliza un control automático de pH y otro de potencial de oxidación-reducción (ORP), para añadir la cantidad correcta de ácido sulfúrico y bisulfito de sodio, necesaria para reducir el cromo.

El ácido sulfúrico se bombeará desde un tanque de poliestireno de 110 galones. La bomba arrancará automáticamente controlada por un medidor de pH.

El bisulfito de sodio se preparará desde la forma seca en un tanque de 250 galones, equipado con un regulador. El bisulfito

de sodio se bombeará también al tanque a la señal del controlador ORP.

Este sistema ORP, como el sistema de pH, estarán equipados con una alarma para indicar concentraciones diferentes a las óptimas para la reacción química. Un mezclador de engranes se usará para promover una rápida reacción de los químicos.

Después del tratamiento, los desechos de cromo reducido fluyen al tanque de neutralización.

TRATAMIENTO DE CIANURO

Los enjuagues de cianuro fluirán por gravedad a un tanque de colección de 370 galones de volumen. Una de las dos bombas de velocidad variable, cubiertas de primer, resistentes a la corrosión, transferirá esta solución al tanque de reacción. Estas bombas se manejarán por un controlador de conductividad para arrancar y parar automáticamente las bombas y hacer sonar una alarma de nivel alto.

Este sistema está diseñado para tratar el cianuro contenido en 5 GPM de enjuagues de cianuros. Dos tanques de reacción de 400 galones se usarán para la oxidación del cianuro. El primer compartimiento estará equipado con medidores de pH y ORP, que controlarán la adición automática de las cantidades requeridas de sosa cáustica e hipoclorito de sodio, necesarias para oxidar el cianuro a cianato. Los químicos se alimentarán automáticamente medidos por unas bombas dosificadoras de gasto variable.

Este compartimiento estará además equipado con un mezclador para promover una reacción rápida. El segundo tanque se usará para proveer el tiempo de reacción adecuado para completar la oxidación del cianuro.

Todos los instrumentos de pH y ORP, estarán equipados con alarmas para señalar si se produce un desbalanceo químico.

El hipoclorito y el hidróxido de sodio se almacenarán en tanques de polipropileno de 250 galones con 1/2.

ENJUAGUES GENERALES

Los enjuagues generales fluirán por gravedad a un tanque de colección de 370 galones. Una de las dos bombas, cubiertas con primer y resistentes a la corrosión transferirá esta solución al tanque de neutralización. Estas bombas estarán manejadas por un control de productividad que arrancará y detendrá las bombas y hará sonar una alarma de nivel alto.

REMOCION DE METALES PESADOS

Este sistema está diseñado para remover los metales pesados de 30 GPM de agua de desecho. El proceso usado será neutralización, floculación y clarificación.

La neutralización ocurrirá en un tanque bafleado de 600 galones.

Un sistema de grabación de pH adicionará en forma automática la cantidad requerida de sosa cáustica o ácido para ajustar el pH al óptimo para la precipitación de los metales pesados. El control actuará una bomba dosificadora de químicos para este propósito. El sistema de pH tendrá además una alarma para indicar cuando el sistema está fuera de balance.

La sosa cáustica se almacenará en un tanque de polipropileno de 250 galones con una tapa móvil de la mitad del tanque.

Basado en un volumen de 600 galones y un flujo de diseño de 35 GPM, el tiempo de reacción es de 17 minutos, lo que es adecuado para completar la neutralización.

Después de la neutralización la basura rebosará a la sección de floculación del clarificador.

El clarificador será un retenedor por gravedad de flujo laminar de placas para proveer el área máxima de superficie de retención

reduciendo los requerimientos de espacio. Esta unidad está diseñada para tener un flujo constante de reboso de 0.15 GPM/ft^2 a un flujo de 30 GPM. El área total de las placas de retención es de 200 ft^2 lo que resultará en una excelente clarificación. La zona de entrada de este equipo es la sección de floculación que consiste en un tanque de mezclado instantáneo con mezclador y un tanque de floculación con un mezclador variable.

La solución de polímero para adicionar en la floculación del precipitado metálico se introducirá en la corriente de desperdicio en el compartimiento de mezclado instantáneo. Esta solución se preparará desde su forma seca en su tanque de polipropileno de 250 galones, equipado con un mezclador de engranes. El polímero se introducirá con una bomba dosificada de químicos, activada sólo cuando el agua sucia empieza a fluir; ésto sirve para conservar polímero de uso.

En el compartimiento de floculación un mezclador, lentamente mezcla la solución haciendo que los hidróxidos metálicos se precipiten para formar grandes flóculos que sedimentan fácilmente. La sedimentación ocurre conforme la solución pasa a través de una serie de placas paralelas con un ángulo de 60° con respecto a la vertical.

La captación de lodos es en una área cónica en el fondo de las placas.

Es importante notar al comparar este clarificador con otros, que el flujo de reboso superficial es el factor que más relevantemente afecta la sedimentación. El más pequeño flujo de reboso será la mejor calidad de efluente que se pueda esperar. El flujo de reboso superficial se determina al dividir el gasto de 30 GPM entre el área de placas de 200 ft^2 .

Otra ventaja importante del clarificador es una zona intermedia entre el tanque de floculación y la sección de las placas.

Esta zona está bafleada de forma que puede atrapar cualquier partícula flotante. La flotación puede ocurrir cuando la dosificación

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

del polímero es incorrecta o cuando desperdicios de aceites han sido vertidos. El aceite se adherirá a las partículas a floccular, lo cual las hace menos densas y provoca que floten. Esta sección está equipada con un mecanismo de espumado para que las partículas flotantes puedan ser removidas periódicamente.

SISTEMA DE MANEJO DE LODOS

Los lodos se drenarán del fondo del clarificador a una concentración de aproximadamente 1% en peso. Este material será entonces balanceado por una bomba neumática de lodos capaz de manejar la carga de lodos a la presión requerida. Los lodos diluidos se bombearán a su tanque de fondo cónico, que resuelve las siguientes necesidades:

- a) Duplica la concentración del lodo.
- b) Actúa como un tanque alimentador para el filtro prensa.
- c) Provee volumen para drenar el clarificador.

Se utilizará un tanque de fondo cónico de 500 galones para estos propósitos.

Los lodos del tanque de retención se bombearán a la presión requerida de 90 PSIG para una bomba neumática diseñada para este propósito. Este material perderá agua hasta su contenido de la mezcla final de aproximadamente 40% en peso en un filtro prensa.

Este filtro prensa fue diseñado para manejar la carga total con aproximadamente un ciclo de limpieza al día. Esta unidad tendrá un volumen total de filtración de 4 ft. cúbicos y un espesor máximo de hasta 32 mm.

Esto significa que se requieren más placas para manejar el volumen deseado de lodos que con una convencional de 40 mm. La ventaja de su espacio menor es que el secado del lodo será mejor como también es menor la posibilidad de segar las placas antes de que el volumen se complete.

La prensa estará con 2 ft. cúbicos de placas, pero se puede expandir a un total de 4 ft. cúbicos, simplemente añadiendo placas adicionales. El filtrado regresará por gravedad a un tanque de colección de enjuagues generales.

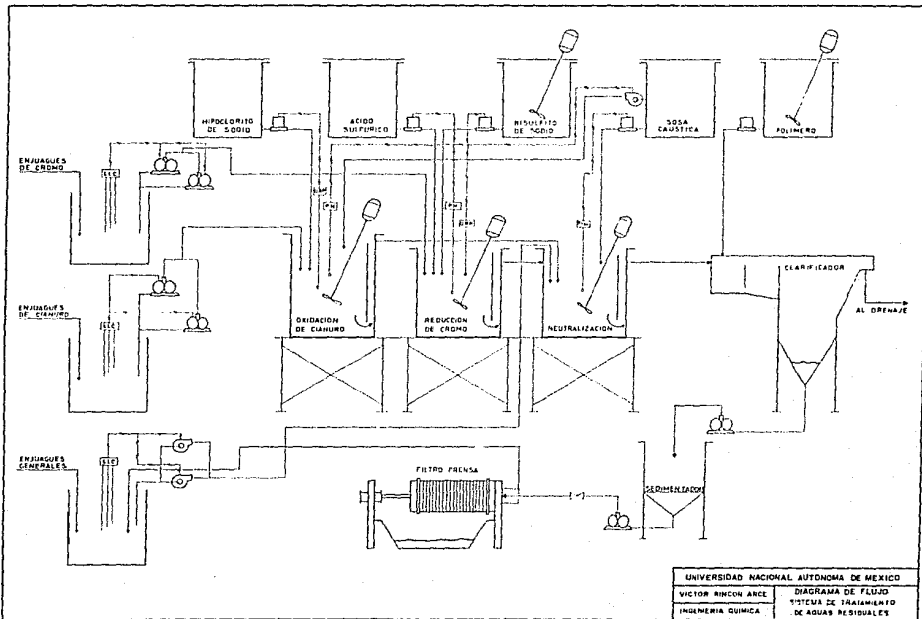
PANEL DE CONTROL

Un panel de control centralizado, un controlador programable y un display gráfico se proveerá para monitorear todas las funciones requeridas. Se proveerán interruptores Encendido/Apagado para los demás equipos. Los límites de pH y niveles alto y bajo se indicarán por luces de alarma y una alarma sonora.

El panel arrancará o detendrá todo el equipo desde un solo punto.

Esto ofrece facilidad de operación, así como monitoreo de todo el sistema .

Los controladores de pH estarán eléctricamente aislados de los arrancadores de motores para prevenir interferencias de los arrancadores de los motores de alto voltaje. Esto asegura que el control y la efectividad del sistema no estarán sujetos a señales eléctricas extrañas.



| | |
|---|--|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO | |
| VICTOR RINCON ANCE | DIAGRAMA DE FLUJO |
| INGENIERIA QUIMICA | TITULOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES |

4.2 EQUIPO

Selección del Equipo de Tratamiento de Aguas Residuales.

Los mejores tipos de equipo están listados para la mayoría de las funciones de tratamiento como se indica:

| F U N C I O N | TIPO DE EQUIPO COMUNMENTE USADO |
|---|---|
| Tubería de colección de desechos | CPVC, PVC, fibra de vidrio reforzado, acero forrado. |
| Bombas para transferencia de desechos. | Horizontales, bombas centrífugas, de diafragma operadas por aire. |
| Bombas para alimentación de químicos | Tipo pistón/diafragma; de desplazamiento positivo. |
| Bombas para transferencia de lodos. | De diafragma operadas por aire; de desplazamiento positivo. |
| Unidades de sedimentación de sólidos | De plato inclinado; tipo tubo; clarificador. |
| Unidades deshidratadoras de lodos | Filtro prensa; filtración al vacío; Zona continua, gravedad/presión/vacío; centrífuga. |
| Tanques empleados para - baños de proceso y almacenamiento. | Fibra de vidrio reforzada, polietileno de alta densidad, acero forrado. |
| Tanques para tratamiento químico. | Tanques de acero forrados con PVC, etc; plásticos moldeables/fibra de vidrio. |
| Filtración terciaria para sólidos suspendidos | Alternar presión media/gravedad: filtros de alto flujo/bajo flujo; continuándose con --- filtros retrolavadores de arena. |
| Agitación | Sopladores de aire vía centrífuga. Mezcladores mecánicos; mezcladores de turbina. |

Se propone el siguiente equipo necesario que comprende el Sistema de tratamiento para 30 GPM.

| NUMERO | CANTIDAD | DESCRIPCION |
|--------|----------|--|
| | | <u>Sistema de Colección</u> <u>y transferencia</u> |
| 1 | 3 | Tanques de cianuro, cromo y enjuagues generales de 370 galones de capacidad cada uno. Se construirán de polipropileno reforzado. |
| 2 | 2 | Bombas de transferencia de enjuagues generales horizontales, centrífugas de construcción Noryl. Las bombas son de 20 GPM cada una a la presión de diseño del Sistema. |
| 3 | 2 | Bombas de transferencia de cromo. Bombas neumáticas de gasto variable. Construidas de polipropileno con diafragma de neopreno. |
| 4 | 2 | Bombas de transferencia de cianuro. Bombas neumáticas de gasto variable construidas de polipropileno con diafragma de neopreno. |
| 5 | 3 | Controles de nivel para tres estaciones de bombeo. De tipo de conductancia para arrancar las bombas 1 y 2, secuencia de las bombas alternada automáticamente para bombas duplex y suena una alarma de alto nivel del tanque. |

| NUMERO | CANTIDAD | DESCRIPCION |
|--------|----------|---|
| | | <u>Sistema de Reducción</u> <u>de Cromo</u> |
| 6 | 1 | Tanque de reacción de cromo con un volumen total de 180 galones, construido en polipropileno con un baffle completo. |
| 7 | 1 | Mezclador del tanque de reacción de cromo. Mezclador movido por engranes, construido en acero inoxidable 316. |
| 8 | 1 | Control analizador de pH con un punto de control y alarma para reacción de cromo con muestreador. |
| 9 | 1 | Control analizador ORP con un punto de control y alarma para la reacción de cromo, incluye muestreador con amplificador. |
| 10 | 1 | Tanque de bisulfito con capacidad de 250 galones, construido de polipropileno reforzado y con tapa de medio tanque de abertura. |
| 11 | 1 | Mezclador de bisulfito, transmisión directa, montado en acero inoxidable 304. |
| 12 | 1 | Bomba dosificadora con capacidad de 10 GPM a 100 PSI. Construida en polietileno para el bisulfito. |
| 13 | 1 | Bomba dosificadora de químicos de gasto variable con 10 GPM, de capacidad máxima, construida en polietileno para ácido. |
| 14 | 1 | Tanque de almacenamiento de ácido con capacidad de 110 galones, construido de polietileno con cubierta. |

| NUMERO | CANTIDAD | DESCRIPCION |
|--|----------|--|
| <u>Sistema de Oxidación de Cianuro</u> | | |
| 15 | 2 | Tanques de oxidación de cianuro con capacidad de 400 galones cada uno. Se construirán de polipropileno. |
| 16 | 1 | Mezclador de tanque de reacción de cianuro. El mezclador es de engranes con todas las partes expuestas cubiertas de PVC. |
| 17 | 1 | Control analizador de pH con un punto de control y alarma para reacción de cianuro, incluye muestreador con amplificador. |
| 18 | 1 | Control analizador de ORP con un punto de control y alarma para reacción de cianuros, incluye muestreador con amplificador. |
| 19 | 1 | Tanque de hipoclorito de sodio con capacidad de 250 galones, construido en polipropileno con tapa que se abre a la mitad del tanque. |
| 20 | 1 | Bomba dosificadora de químicos con capacidad de 10 GPM a 100 PSI. Construida en polietileno para el hipoclorito de sodio. |
| 21 | 1 | Bomba dosificadora de químicos con capacidad de 10 GPM a 100 PSI, construida en polietileno para la sosa cáustica. |
| <u>Remoción de metales pesados</u> | | |
| 22 | 1 | Tanque de neutralización de 600 galones de capacidad con baffle de salida construido en polipropileno. |

| NOMBRE | CANTIDAD | DESCRIPCION |
|--------|----------|---|
| 23 | 1 | Mezclador de engrane para tanque de neutralización. Las partes expuestas están cubiertas de PVC, motor totalmente cerrado, enfriado por aire. |
| 24 | 1 | Control-analizador de pH con grabador en papel de línea, punto de control dual y alarma dual para ajustes de pH, con muestreador. |
| 25 | 2 | Bombas dosificadoras con capacidad de 10 GPM a 100 PSI. Construidas de polietileno para la sosa cáustica. |
| 26 | 1 | Clarificador de 200 ft ² de placas paralelas, con sistema de floculación consistente de un tanque de mezclado instantáneo con mezclador para una mezcla inicial rápida de polímero. Después del mezclado rápido, la solución entra al tanque de floculación, que es parte del cuerpo del dosificador. El tanque de floculación, tiene una capacidad mínima de 200 galones y está equipado con un mezclador de velocidad variable. Siguiendo a la floculación, la corriente de desperdicio fluye a la zona central de trampa. Esta zona retendrá cualquier partícula flotante y prevendrá subidas del sistema. Las partículas flotantes pueden ocurrir de exceso de orgánicos en los desechos lo que altera la densidad del hidróxido metálico o una adición incorrecta del polímero. La corriente de desperdicio fluye hacia abajo a la sección central y entonces fluye sobre el paquete de placas de PVC. Estas placas se pueden remover fácilmente para la limpieza. Las placas están colocadas formando un ángulo de 60 con la vertical para prevenir una adhesión de lodos. |

Los lodos se recogen en una gran excción cónica en el fondo del paquete de placas.

El efluente limpio rebosa las placas y salida del clarificador a través de una serie de vertederos. El clarificador será preparado con chorro de arena y cubierto con un acabado - epóxico de dos capas.

- | | | |
|----|---|--|
| 27 | 1 | Plataforma de servicio para dosificador y tanque de reacción. La <u>pl</u> ataforma se construirá de acero <u>lim</u> piado por chorro de arena, cubiert- con primer y pintado con dos capas epóxicas. |
| 28 | 2 | Tanques de sosa y de mezclado de <u>po</u> límero, con capacidad de 250 <u>galones</u> construidos en polipropileno con <u>me</u> dia tapa móvil y con soportes para el montaje del mezclador. |
| 29 | 1 | Mezclador de engranes para mezcla - de polímero. Las partes expuestas - estarán cubiertas de PVC, motor to- talmente cerrado enfriado por aire. |
| 30 | 1 | Bomba dosificadora de polímero con capacidad de 10 GPM a 100 PSI, <u>cons</u> truida en polietileno. |

Sistema de Secado
de lodos

- | | | |
|----|---|---|
| 31 | 2 | Bomba para lodos con doble diafrag- ma operada por aire, con diafragma y asientos de válvula de bola de -- neopreno. |
| 32 | 1 | Tanque de retención de lodos de ca- pacidad de 500 galones. Fondo <u>cóni</u> co, diseñado y construido de <u>polipro</u> pileno. |

- 33 1 Filtro prensa, con 4 ft³ de capacidad. El equipo incluye centro de control, sistema de apertura y cierre manual y manifold de flujo hacia abajo. Placas de polipropileno con macho filtrante. Dos pies cúbicos de placas vienen incluidos con la unidad.
- 34 1 Carro recolector de torta del filtro, diseñado y construido de acero al carbón.

Sistema de control
de instrumentos

- 35 1 Consola de control de instrumentos con los siguientes renglones:
- Display iluminado de gráfica cromática con luces de funcionamiento y alarma para entrenamiento y operación diaria del sistema.
- Módulo de control programable con 700 pasos de programación con puertas de expansión de entrada y salida. Usa adiciones para una futura adición de control por una P.C. y un sistema de monitoreo de estado sólido.
- Interruptores de tres posiciones para todos los componentes controlados automáticamente. Los componentes operados normalmente tienen interruptores de dos posiciones.
- Alambrado aislado para instrumentos de pH, ORP y otros sensibles al voltaje para prevenir lecturas erróneas desde los picos de alto voltaje.
- Consola para albergar todos los componentes, incluyendo arrancadores, fusibles y relevadores eléctricamente aislados.

4.3 COSTOS DEL EQUIPO

Los costos del equipo para el tratamiento continuo de las aguas residuales son los siguientes:

| | | |
|--|----|----------|
| 1. Tanque de polipropileno de 370 galones | \$ | 756.00 |
| 2. Bomba centrífuga horizontal de Noryl | | 540.00 |
| 3. Bomba de diafragma de polipropileno con neopreno | | 847.00 |
| 4. Bomba de diafragma de polipropileno con neopreno | | 847.00 |
| 5. Control del nivel con alarma de alto nivel | | 383.57 |
| 6. Tanque de polipropileno de 180 galones | | 378.00 |
| 7. Mezclador de acero inoxidable | | 950.00 |
| 8 y 9. Controlador de pH y ORP | | 750.00 |
| 10. Tanque de polipropileno de 250 galones | | 504.00 |
| 11. Mezclador de acero inoxidable | | 950.00 |
| 12. Bomba dosificadora de polietileno | | 594.19 |
| 13. Bomba dosificadora de polietileno | | 594.19 |
| 14. Tanque de polietileno de 110 galones | | 215.00 |
| 15. Tanque de polipropileno de 400 galones | | 850.00 |
| 16. Mezclador de engranes de PVC | | 890.00 |
| 17 y 18. Controlador de pH y ORP | | 750.00 |
| 19. Tanque de polipropileno de 250 galones | | 504.00 |
| 20. Bomba dosificadora de polietileno | | 594.19 |
| 21. Bomba dosificadora de polietileno | | 594.19 |
| 22. Tanque de polipropileno de 600 galones | | 1,260.00 |
| 23. Mezclador de engranes de PVC | | 890.00 |
| 24. Controlador de pH | | 675.00 |
| 25. Bomba dosificadora de polietileno | | 594.19 |
| 26. Clarificador | | 9,504.00 |
| 27. Plataforma de servicio | | 590.00 |
| 28. Tanque de polipropileno de 250 galones | | 504.00 |
| 29. Mezclador de engranes de PVC | | 890.00 |
| 30. Bomba dosificadora de polietileno | | 594.19 |
| 31. Bomba de diafragma de polipropileno con neopreno | | 847.00 |

| | |
|--|-------------|
| 32. Tanque de retención de lodos | \$ 1,600.00 |
| 33. Filtro Prensa | 11,302.00 |
| 34. Carro recogedor de sólidos | 395.00 |
| 35. Consola de control de instrumentos | 14,569.00 |

En términos generales Los costos son los siguientes:

| | |
|--|--------------|
| a) Sistema de tratamiento, equipo, ingeniería y modularización | \$ 87,600.00 |
| b) Instalación | 12,000.00 |

T o t a l \$ 99,600.00

Las cantidades mencionadas anteriormente son en dólares americanos. Debido a la devaluación que sufre la moneda mexicana, y también a la constante inflación que existe en nuestro país no se podría cotizar en pesos.

Además todo el equipo y la tecnología vienen importados de los Estados Unidos de Norteamérica.

4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Recuperación del Agua.

En ciertas localidades, el agua es un producto químico valioso y su recuperación puede ser conveniente. El cambio de iones es la herramienta ideal para este propósito. Si se considera un cambiador por la razón primordial de que es esencial la recuperación del agua, es importante reconocer que puede efectuarse un ahorro adicional diseñando la instalación para recuperar también las sustancias químicas. En cualquier caso, se logrará un beneficio adicional en que el desperdicio consistirá únicamente de pequeños volúmenes de disoluciones regenerantes bastante concentradas y líquidos del lavado. Tales disoluciones concentradas son más económicas de tratar y la planta de tratamiento será también mucho más pequeña.

- Recuperación contra tratamiento del desperdicio.

Aunque la recuperación de todos o de algunos materiales tóxicos eliminará completamente la necesidad de su tratamiento en el desperdicio, debe diseñarse la instalación para que ninguno de los materiales pueda escapar al líquido de desperdicio. Por lo tanto, el sistema de recuperación debe estar provisto de seguros contra mal funcionamiento tales como alarmas de conductividad para señalar la irrupción de una sustancia química en el efluente de un cambiador de iones.

Todas las pérdidas accidentales, tales como goteos y derrames en el piso, fugas en las bombas y pérdidas en las operaciones de filtrado, pueden ser embalsadas y bien llevadas a través de la unidad de recuperación o convertidas en inocuas antes de su descarga. El área del piso donde se encuentran los tanques de materiales tóxicos no debe comunicarse con el drenaje de las aguas de desperdicio, y se la debe proveer con un drenaje cerrado u otro tipo de embalse de tamaño suficiente para captar el contenido del tanque más grande en caso de que se produzca una fuga.

En la mayor parte de las instalaciones, la recuperación no será del 100% y deben tomarse las provisiones necesarias para manejar en la planta de tratamiento del líquido de desperdicio una cantidad de material mucho más reducida.

-Pasos importantes a seguir en el tratamiento de aguas residuales:

1. Determinar los requerimientos locales para la descarga de las aguas residuales.
2. Reevaluar el proceso de galvanoplastía.
3. Diseñar las operaciones de galvanoplastía para un mínimo desperdicio de sustancias químicas y de agua.
4. Determinar el desperdicio real de agua y las pérdidas de sustancias químicas.
5. Seleccionar métodos para recuperación o tratamiento.
6. Diseñar la planta de tratamiento del agua de desperdicio.
7. Estimar el costo de la instalación y los cargos fijos resultantes y calcular los costos de operación.
8. Reconsiderar los métodos alternativos de recuperación y tratamiento a la luz de estas cifras sobre costos.
9. En plantas de tratamiento grandes o complicadas, es deseable construir y operar una planta piloto para comprobar las características del diseño.

SUMARIO DE METODOS CONVENCIONALES DE TRATAMIENTOS QUIMICOS

| METODO DE TRATAMIENTO | TRATAMIENTO QUIMICO | RADIO DE USO | PH OPTIMO | TIEMPO DE REACCION. | COMENTARIOS |
|---|---|--------------|-----------|------------------------------------|--|
| I. Reducción de cromo hexavalente Método ácido. | Metabisulfito de Sodio | 1.5: 1 | 3.0-3.5 | 5 | Tiempo de reacción depende del pH. |
| | Dióxido de azufre | 1: 1 | 3.0-3.5 | 5 | Tiempo de reacción depende del pH. |
| | Sulfato ferroso | 8:1 | 3.0-3.5 | | Tiempo de reacción depende del pH. |
| II. Oxidación de cianuro | A) Cianuro a cianato | | | | |
| | Gas cloro | 3.5:1 | 11.0 | 10 | pH 11.0 es crítico prevención de gas tóxico. |
| | Hipoclorito de sodio al 15% | | 11.0 | 10 | pH 11.0 es crítico prevención de gas tóxico. |
| | Hipoclorito de calcio | | 11.0 | 10 | pH 11.0 es crítico prevención de gas tóxico. |
| | B) Cianato a CO ₂ y N ₂ | | | | |
| | Gas cloro | 5: 1 | 8.5 | 20 | Tiempo de reacción depende del pH. |
| Hipoclorito de sodio al 15% | | 8.5 | 20 | Tiempo de reacción depende del pH. | |
| Hipoclorito de calcio | | 8.5 | 20 | Tiempo de reacción depende del pH. | |

SUMARIO DE METODOS CONVENCIONALES DE TRATAMIENTOS QUIMICOS
(CONTINUACION)

| METODO DE TRATAMIENTO | TRATAMIENTO QUIMICO | RADIO DE USO | PH OPTIMO | TIEMPO DE REACCION. | COMENTARIOS |
|---|----------------------|--------------|-----------|---------------------|---|
| III. Precipitación de metales. | | | | | |
| A) Hidróxidos | Cal hidratada | Variable | 7.0-10.0 | 20 | El pH varía dependiendo del metal a remover |
| | Sosa cáustica | Variable | 7.0-10.0 | 20 | El pH varía dependiendo del metal a remover |
| B) Sulfuros | Sulfuro ferroso | 5: 1 | 8.0-9.0 | 15 | Disolviéndose después el hidróxido precipitado cuando existen agentes acomplejantes |
| | Sulfuro de sodio | | | | |
| C) Carbonatos | Bicarbonato de sodio | Variable | Variable | 15 | No se recomienda para plomo, cadmio y níquel |
| IV. Desmulsificación de Desechos de Aceite. | | | | | |
| Acidificación/ Hidrólisis/Absorción | Acido Sulfúrico | Variable | 3.0 | 10-20 | La eficiencia de remoción está relacionada con el tipo de emulsificante usado y la naturaleza del aceite. |
| | Polielectrolito | Variable | 3.0-5.0 | 10-20 | |
| | Alumina | Variable | 3.0 | 10-20 | |
| | Cloruro de calcio | Variable | 3.0 | 10-20 | La adición de calor es necesaria para ciertas aplicaciones. |

SUMARIO DE TECNICAS DE RECUPERACION

| TECNICA | APLICACIONES COMUNES | COMENTARIOS |
|-----------------------|---|---|
| I. Intercambio Iónico | En Recubrimientos de: Oro, plata, cromo y níquel; ácido fosfórico; soluciones de <u>anodizado</u> , aguas concentradas de aluminio. | Basada para soluciones complejas de metales, - remoción de baja concentración y estabilización de baños en <u>procesos</u> selectivos. |
| II. Electrodialisis | En recubrimientos de oro, plata, cobre, - ácido crómico, níquel, zinc y cobalto. | La membrana de intercambio iónico permite oponerse mínimamente a los regresos inorgánicos. |
| III. Evaporación | En recubrimiento de: cromo, estaño-plomo, níquel, cobre, cadmio, latón, bronce, oro y zinc. | Eficiente para bajos - volúmenes, recuperación de altas concentraciones de soluciones de - recubrimientos. |
| IV. Osmosis Inversa | En recubrimientos de níquel | Recupera <u>abrillantadores</u> y otros orgánicos. Basada para soluciones de recubrimientos y <u>recuperación</u> de enjuagues de agua. |

CAPITULO V
A P E N D I C E

Se utilizaron las siguientes tablas para poder seleccionar el equipo necesario para la planta de tratamiento de aguas residuales.

Así como también con estas mismas tablas se pudo determinar el material adecuado de cada equipo.

La capacidad del equipo; así como sus características fueron consultadas en los siguientes manuales:

- "Pump, Filter and Pollution Abatement Guide"; Serfilco LTD Glenview Illinois U.S.A., 1986.
- "Pumps, Filters, Fluid Handling Equipment"; Serfilco LTD Glenview Illinois U.S.A., 1988.

Cabe hacer mención que la mayor parte del equipo es de importación debido a que en México no se fabrica.



SERFILCO

PT-102B

CHEMICAL RESISTANCE GUIDE

| CHEMICAL | PLASTICS | | | | METALS | | | | LINERS, RINGS AND SEALS | | | | ELASTOMERS | | | | FIBERS | | | |
|-------------------------|----------|------|------|------|--------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|------------|------|------|------|--------|------|------|--|
| | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | PHOS | |
| ACETAL DEHYDRE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ACETIC ACID, 20% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ACETIC ACID, GLACIAL | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ACETIC ANHYDRIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ACETONE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ALUMINUM CHLORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ALUMINUM FLUORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ALUMINUM SULFATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| AMMONIA, AQUEOUS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| AMMONIUM CARBONATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| AMMONIUM CHLORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| AMMONIUM HYDROFLUORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| AMMONIUM NITRATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| AMMONIUM PHOSPHATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| AMMONIUM SULFATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ANIL ACETATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ANIL ALCOHOL | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ANILINE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| AQUA REGIA | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ARGENTIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BARBITURIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BARIUM CHLORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BARIUM SULFATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BENZALDEHYDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BENZENE (C6H6) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BENZENE SULFONIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BENZINE ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BORAX (SODIUM BORATE) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BORAX ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BROMINE WATER | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BUTYL ACETATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BUTYL ALCOHOL | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BUTYL AMINE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BUTYL PHENYLATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BUTYRIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CADMIUM CYANIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CALCIUM BISULFITE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CALCIUM CHLORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CALCIUM HYPOCHLORITE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CALCIUM NITRATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CALCIUM PHOSPHATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CALCIUM SULFATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CARBON DISULFIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CARBON TETRACHLORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CARBONIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CELLULOSE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CHLORACETIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CHLORIDE WATER | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CHLOROBENZENE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CHLOROPHORM | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CHLOROSULFONIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CHROMIC ACID HP TO 2% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CHROMIC ACID 50% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CHROMIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| COPPER CHLORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| COPPER CYANIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| COPPER NITRATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| COPPER SULFATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CRESOL | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| CYCLOHEXANE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| DECALIN | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| DETERGENTS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| DIESEL FUEL | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| DOUHERN | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ETHANOLAMINE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ETHER | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ETHYL ACETATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ETHYL ALCOHOL (ETHANOL) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ETHYLENE DICHLORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| ETHYLENE GLYCOL | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FERRIC CHLORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FERRIC HYDROXIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FERRIC NITRATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FERRIC SULFATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FERRUS CHLORIDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FERRUS SULFATE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FLUOBORIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FLUOSILICIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FORMALDEHYDE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FORMIC ACID | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FLUONS (FLUOROCARBONS) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FUEL OILS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| FURFURAL | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| GASOLINE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| GLYCERINE | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

NOTE: ACCEPTABLE CHEMICAL RESISTANCE AT A GIVEN TEMPERATURE IS NOT AN INDICATION OF THE SUITABILITY OF VARIOUS EQUIPMENT WHEN OPERATED UNDER PRESSURE.
*TESTED ONLY AT 80° F (27° C).

B I B L I O G R A F I A

- " Legislación Relativa al Agua y su Contaminación ". SARH Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica; 1973.
- Graham A. Kenneth; " Electroplating Engineering Handbook " Third Edition. 1971., Edit Van Nostrand Reinhold Company.
- Kawahara Hiroshi; " La industria de la Galvanoplastia y la Solución a los problemas de la Contaminación Ambiental en el Japón; Instituto de Contaminación de Tokyo; 1972.
- Lowenheim A. Frederick; " Electroplating Fundamentals of Surface Finishing " Mc. Graw Hill Book Company; 1978.
- Weber J. Walter Jr. " Control de la Calidad del Agua Procesos Físico-químicos " Edit. Reverté S.A.
- Langford E. Kenneth. " Análisis de Baños Electrolíticos "; Ediciones Aguilar; 1963.
- Glayman J. y Farkas G. "Galvanotecnia Técnica y Procedimientos "; Ediciones CEDEL.
- " Pump, Filter and Pollution Abatement Guide "; Serfilco LTD. Glenview Illinois U.S.A., 1986.
- Pumps, Filters Fluid Handling Equipment "; Serfilco LTD. Glenview Illinois U.S.A., 1988.
- Steward E.A.; Conservation and Recovery of Materials and Treatment Wastes "; Guidebook and Directory Issue Metal Finishing, 1982.
- Ramírez A. Ernest "Design and Engineering of a Wastewater Pretreatment Facility " Metal Finishing, November 1984.
- Aldrich R. James. " A Better Heavy Metal Waste Treatment Method "; Metal Finishing November 1984.
- Norgaard Gregor, Duffy Donald and Vanderboom Steve. " Trouble Shooting Conventional Wastewater Pretreatment Systems "; Metal Finishing February 1986.

- Steward F. A. and Lancy E. Leslie; " Pollution Abatement, Material Conservation and Recovery "; Metal Finishing February 1981.
- Durney J. Lawrance; " Electroplating Engineering Handbook "; Edit. Van Nostrand Reinhold; Fourth Edition 1984.