

01177
13
21.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“MINIMIZACIÓN DE LA PELIGROSIDAD
EN PLANTAS Y TALLERES DE CROMADO”**

T E S I S

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA (AMBIENTAL)**

PRESENTA

RAMÓN ALONSO MAUBERT FRANCO



DIRECTORA: DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ

CD. UNIVERSITARIA

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Agradecimientos

- Este proyecto fue posible llevarlo a su consecución con apoyo del Centro Nacional de Prevención de Desastres dependiente de la Secretaría de Gobernación. Gracias por su patrocinio.
- Un especial agradecimiento para mi maestra y directora de tesis Dra. Georgina Fernández Villagómez, por su experiencia, apoyo y paciencia, decisivos para llegar a la culminación de esta meta.
- A los integrantes de mi jurado
Dr. Pedro Martínez Pereda
M. en C. Julieta Pisanty Levy
M. en I. Manuel Heredia Durán
M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios
Gracias por sus valiosas aportaciones y consejos para este proyecto.
- A la Ing. Elsa Judith López Gómez gerente del Consejo Coordinador de las Industrias Metal-Mecánica y el Lic. Manuel Guerrero Avila, presidente de la sección 72 Industriales de la galvanoplastia. Gracias por brindarme la oportunidad de acercarme al gremio de industriales de la galvanoplastia pertenecientes a la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación.
- Un agradecimiento al conjunto de empresarios que gustosamente me abrieron las puertas de sus industrias, pero muy en especial a los Ingenieros:
I.Q. Fco. Javier Prado Bocanegra de "Taller de acabados Prado"
I.Q. Raúl Alvarez de "Cromadora Alvarez Hnos" y
I.Q. Wolf Werner de "Galvanodepositos" S.A.
Por haber compartido conmigo su enorme experiencia en el ramo, por el tiempo que me dedicaron y sobre todo por su enorme preocupación para con sus operarios y el ambiente, reflejados en hechos dentro de sus instalaciones.
- A la Ing. Isabel Kreiner, Directora de la Agencia de Cooperación Técnica Alemana GTZ/TÜV ARGEMEX, así como a las siguientes personas:
I.A. Minerva Cruz Gatica.
I.Q.P. José Antonio Rueda Jackson
Biol. Silvino Bravo Velázquez.
Gracias por permitirme integrarme a sus equipos de trabajo que atinadamente coordinan.
- Al Ing. Fernando Del Río Basora, Jefe de unidad departamental, dependiente de la Dirección General de Proyectos Ambientales del D.D.F., persona valiosa a la que tengo el gusto de conocer de mucho tiempo atrás y que gracias a sus relaciones recibí apoyo de la Comisión Ambiental Metropolitana.
- A mis profesores gracias por la transmisión de su conocimiento y experiencias.

- **A mis compañeros, por las muestras de apoyo, impulso y convivencia que hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable.**
- **Al Ing. Eduardo Maubert Arista por su valiosa colaboración, a lo largo de este periodo de estudios.**
- **Dr. Alfonso Crotte Z. y Q.B.P. Analucía Occelli Zanella, gracias por su gran ayuda y afecto, que hicieron posible este anhelo.**
- **Ana Marisela, Eduardo y Alfredo Maubert Franco, así como Alfonso, Maru y Lori Crotte Occelli, porque por diferentes caminos han sido para mi, un ejemplo de trabajo, honradez y perseverancia.**
- **Eloy Maubert Franco, las muestras de bondad, cariño y generosidad que nos diste a todos, harán que te llevemos siempre en nuestro corazón.**
- **Don Eloy Maubert O. donde quiera que estés y Ana María Franco Reding, gracias por sus consejos y ejemplo que me han guiado siempre.**
- **Alain, André y Marc Maubert Crotte, estoy orgulloso por ser como son y permitirme su tiempo para cumplir con mis objetivos.**
- **A ti Analucía Crotte Occelli, muchísimas gracias, porque con tu amor, esfuerzo y dedicación logramos juntos una meta más.**

ÍNDICE

TÍTULO	Nº de página
Índice de tablas	i
Índice de figuras	iii
Índice de anexos	iv
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos generales	2
1.2.1 Objetivos específicos	2
1.3 Metas	3
1.4 Alcances	3
CAPÍTULO II DEVENIR HISTÓRICO DEL PROCESO DE CROMADO	5
2.1 Generalidades sobre el cromo	5
2.1.1 Historia	5
2.1.2 Propiedades químicas del cromo	6
2.1.3 Propiedades físicas del cromo	6
2.1.4 Producción y reservas de minerales del Cr	7
2.1.5 Usos y aplicaciones	8
2.2 Preparación del material que recibirá recubrimiento	8
2.2.1 Limpieza por solventes	9
2.2.2 Limpieza electrolítica	10
2.2.3 Limpieza ultrasónica	11
2.2.4 Limpieza mecánica	12
2.3 Descripción histórica del proceso de electrodepositado	13
2.3.1 Proceso de electrodepositado (fundamentos de electrodeposición)	14
2.3.2 Cobrizado	15
2.3.3 Niquelado	17
2.3.4 Cromado	21
CAPÍTULO III RECUPERACIÓN DE EFLUENTES EN PLANTAS DE CROMADO	29
3.1 Introducción	29
3.2 Tratamientos químicos: Oxidación/reducción-precipitación	31
3.3 Métodos físicos	36
3.3.1 Electrodialisis	36
3.3.2 Electrólisis	41
3.3.3 Evaporadores atmosféricos	48
3.3.4 Evaporadores al vacío	51

TÍTULO	N de Pág.
3.3.5 Ósmosis inversa	54
3.3.6 Intercambio iónico	63
3.4 Selección de tecnologías para reducción de desechos	72
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RIESGOS	75
4.1 Introducción	75
4.2 Legislación y normatividad	76
4.2.1 Legislación en la Comunidad Económica Europea	76
4.2.2 Legislación en los Estados Unidos de Norteamérica	77
4.2.3 Marco jurídico y normatividad vigente en México	78
4.3 Peligrosidad de las sustancias químicas que intervienen en la galvanoplastia	83
4.4 Generalidades relacionadas con análisis de riesgos	85
4.5 Tecnologías de análisis de riesgos	89
4.5.1 Investigación de accidentes	90
4.5.2 Listas de comprobación o verificación (safety checklists)	91
4.5.3 Revisión de seguridad o auditorías de seguridad	93
4.5.4 Análisis ¿Qué sucede sí? (¿What - If?)	94
4.5.5 Análisis de la forma de fallar y sus efectos (FMEA)	95
4.5.6 Análisis de árbol de defectos o errores (FTA)	97
4.5.7 Análisis de árbol de sucesos o de consecuencias (Event Tree Analysis = ETA)	98
4.5.8 Índices de DOW/MOND	99
4.5.9 Análisis de riesgo preliminar (PHA)	100
4.5.10 Análisis de riesgo y operabilidad (HAZOP)	101
4.5.11 Análisis del error humano	104
CAPÍTULO V APLICACIÓN DE UNA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE RIESGOS A PLANTAS Y TALLERES DE CROMADO (CASO DE ESTUDIO)	106
5.1 Introducción	106
5.2 Resultados	107
5.2.1 Resumen sobre aquellas preguntas en las que se pide una explicación	108
5.2.2 Resumen de las preguntas sobre minimización de residuos en donde se piden respuestas comentadas	112
5.2.3 Observaciones extraídas de las empresas visitadas, en relación a preguntas del bloque "II" "Minimización de residuos"	113
5.2.4 Selección de preguntas por temas similares	114
5.2.5 Selección de preguntas por temas similares sobre el bloque "II" "Minimización de residuos"	117

TÍTULO	N° de Pág.
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES	120
CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES	125
GLOSARIO DE TÉRMINOS	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

ÍNDICE DE TABLAS

N° de Tabla	TÍTULO	N° de Pág.
2.1	Clasificación de minerales de cromita	5
2.2	Propiedades físicas del cromo	7
2.3	Reservas estimadas de minerales de cromo	7
2.4	Usos de los compuestos del cromo	8
2.5	Propiedades físicas de los solventes	9
2.6	Datos sobre depósitos de níquel	19
2.7	Soluciones de Ni electrodepositado y propiedades típicas de los depósitos	20
2.8	Potenciales de los electrodos estandar a 25 °C	25
2.9	Comparación entre el cromo III y el cromo VI	28
3.1	Productos químicos utilizados y lodos producidos al tratar H ₂ CrO ₄	32
3.2	Características pertinentes de varios esquemas de "Reducción-precipitación" para el cromo VI	33
3.3	Tratamientos químicos clásicos	36
3.4	Efectos de la recuperación electrolítica	44
3.5	Aspectos importantes de los evaporadores atmosféricos	49
3.6	Materiales de membrana comercialmente disponibles	56
3.7	Ventajas, desventajas y justificación para el uso de ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes	57
3.8	Evaluación de las pruebas de ósmosis inversa financiados por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica	58
3.9	Comparación de los 2 principales sistemas de intercambio iónico	65
3.10	Evaluación de tecnologías de remoción de contaminantes	72
3.11	Sumario de aplicaciones de tecnologías de recuperación	73
3.12	Costos de algunas tecnologías de recuperación de materiales	74
4.1	Accidentes industriales ocurridos a partir de 1974	75
4.2	Incompatibilidad de sustancias comunes en el ramo de la galvanoplastia	80
4.3	Límites establecidos por la Norma Oficial Mexicana para los desechos de la industria de la galvanoplastia	81
4.4	Límites que establece el proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 a las descargas a sistemas de drenaje y alcantarillado urbano y municipal	83
4.5	Sustancias químicas peligrosas utilizadas en galvanoplastia	84
4.6	La operacionalización del concepto: Desviación y factor determinante	87
4.7	Aplicación de las palabras guía idóneas a diversos parámetros en relación a líneas de tubería, recipientes y tanques	104
5.1	Resultados porcentuales de preguntas con 2 opciones de respuesta	108
5.2	Porcentaje de resultados de las preguntas sobre minimización de residuos (con más de 2 incisos de respuesta)	111
5.3	Tema I. Empresas que cuentan con documentación escrita.	114
5.4	Tema II. Residuos en general	114
5.5	Tema III. Capacitación de personal	115

N° de Tabla	TÍTULO	N° de Pág.
5.6	Tema IV. Riesgos	115
5.7	Tema V. Residuos tóxicos	116
5.8	Tema VI. Respuesta a emergencias	116
5.9	Tema VII. Tratamiento de efluentes	117
5.10	Tema VIII. Limpieza del material antes del recubrimiento	117
5.11	Tema IX. Disminución de la contaminación por la minimización de residuos	118
5.12	Tema X. Tipo y número de enjuagues	118
5.13	Tema XI. Mantenimiento de los baños del proceso.	119
A - 3	Criterios de calidad de agua en relación al cromo	172
A-4.1	Presión de vapor, valor umbral límite y tasa de peligro por vapor de sustancias seleccionadas	175
A-4.2	Intervalos de LD ₅₀ para diferentes clases de peligro	175

ÍNDICE DE FIGURAS

N° de Figura	TÍTULO	N° de Pág.
2.1	Intensidad de corriente vs temperatura para diferentes tipos de acabado	24
3.1	Esquema de un proceso que incluye electrodiálisis	38
3.2	Diagrama de un proceso de electrodiálisis para recuperación de níquel	39
3.3	Requerimientos de membrana para electrodiálisis basados sobre la velocidad de arrastre para los recubrimientos electrolíticos más comunes	40
3.4	Costos de capital para unidades de recuperación por electrodiálisis aplicadas a la recuperación de metales provenientes de las tinas de enjuague	41
3.5	Esquema de pretratamiento para neutralización	43
3.6	Esquema que ilustra la influencia de la electrólisis sobre la producción de lodos	45
3.7	Costos de capital de inversión para unidades de electrólisis	46
3.8	Costos de operación y mantenimiento para equipo de electrólisis	47
3.9	Costos de equipo de evaporación atmosférica en NS como una función de la temperatura de la solución	50
3.10	Sistema de recuperación de aguas de enjuague, mediante destilación al vacío	53
3.11	Diagrama de flujo de ósmosis inversa simplificado	55
3.12	Costos de inversión de capital en un sistema de ósmosis inversa versus área Superficial	60
3.13	Costos de operación y mantenimiento para un equipo de ósmosis inversa	61
3.14	Operación adelanto-retraso de intercambio iónico	67
3.15	Proceso de recuperación por intercambio iónico – recuperación metálica recirculación de agua desionizada	69
3.16	Costos de inversión de capital para un equipo completamente automatizado de recirculación de agua por intercambio iónico	70
3.17	Costos de mantenimiento y operación para un sistema de intercambio iónico	71
4.1	Pasos a seguir en la predicción de evaluación de riesgos	88
4.2	Sistemática de análisis HAZOP	102

ÍNDICE DE ANEXOS

TÍTULO	N° de página
Anexo N° 1 "Lista de Verificación"	137
Anexo N° 2 Fichas internacionales de seguridad química	144
Anexo N° 3 Límites para concentraciones de cromo en el ambiente natural, ocupacional y en el organismo	171
Anexo N° 4 Sustitución de sustancias peligrosas	173
Anexo N° 5 Legislación ambiental canadiense	176

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I.1 Planteamiento del problema

Existen giros industriales peligrosos a la salud y al ambiente como son: el de fundición, galvanoplastia y el textil, entre otros.

Es la intención de esta tesis contribuir en la disminución de la peligrosidad en la industria de la galvanoplastia, por estar considerada después del giro de la fundición, como la más contaminante, ya que es bien conocido que sustancias químicas que intervienen en ella como son: el cromo, el níquel, los cianuros, etc., ocasionan a los seres humanos, problemas de carácter local como: dermatitis, corrosión del tabique nasal, hasta problemas de carácter general como asma, daño renal y cáncer del pulmón.

En el ambiente natural sólo existen estas sustancias en pequeñísimas cantidades, llamadas traza, por lo que no representan un peligro por sí mismas.

La principal fuente de peligro y foco de contaminación es en el ambiente ocupacional, razón por la que se han determinado límites máximos permisibles de concentración de estas sustancias en los centros de trabajo, así como restricciones a las descargas líquidas y al ambiente.

El giro industrial de la galvanoplastia en su mayoría es maquilador, además de tener la necesidad de importar algunos de sus insumos, por lo que está sujeto a un estrecho margen de ganancias y a una cercana vigilancia por parte de las autoridades, lo que impide a muchos empresarios realizar inversiones para modernizar su planta y disminuir la peligrosidad de la misma.

Para disminuir esta amenaza, se puede comenzar por mejorar el nivel de seguridad de un proceso, empezando por realizar un diagnóstico de la situación inicial del mismo, identificando las áreas más problemáticas y evaluando las alternativas disponibles.

Es muy difícil realizar esta tarea si no se cuenta con experiencia e intuición y sin el apoyo de una herramienta capaz de examinar, sistemáticamente los complejos problemas de seguridad que se plantean en toda industria.

El Análisis de Riesgos es la disciplina que puede dar respuesta a esta necesidad, reuniendo técnicas para realizar una estimación cualitativa o cuantitativa. En este caso, por el tamaño de las industrias que hay de este giro industrial en México y por la dificultad para obtener documentación se optará por una investigación cualitativa de los riesgos involucrados en un proceso determinado.

El recubrimiento electrolítico involucra un riesgo imposible de eliminar por completo a menos que no se realizara dicha actividad.

El problema está en decidir en que medida un riesgo puede ser aceptado, en virtud de los beneficios que se derivan de asumir dicho riesgo y para hacer esta decisión sobre si un riesgo es o no aceptable, se requiere estimar su magnitud mediante un análisis previo.

Por lo anterior se considera que toda aportación con miras a mejorar las condiciones de trabajo de sus operarios y disminuir la peligrosidad del mismo, será bien recibido por los integrantes de este gremio.

1.2 OBJETIVOS GENERALES

I.- Realizar una investigación bibliográfica, referente a la industria de galvanoplastia, desde sus inicios.

II.- Identificar los principales riesgos involucrados en los procesos de cobrizado, niquelado y cromado, mediante visitas a las instalaciones de talleres y plantas en el Distrito Federal y la zona conurbada.

III.- Aplicar la técnica seleccionada de Análisis de Riesgos, a una muestra poblacional de las industrias cromadoras.

IV.- Proponer alternativas para la minimización de la peligrosidad en plantas y talleres de cromado, considerando el análisis de riesgo efectuado.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I.1.- Investigar "El estado del arte" de la electrodeposición, considerando en especial: el cromo, el níquel y el cobre.

I.2.- Investigar ventajas y desventajas entre los procesos de cromado con base en el cromo III y cromo VI.

I.3.- Investigar la legislación y normatividad tanto en México como a nivel internacional, relacionada con la galvanoplastia.

I.4.- Investigar las Fichas Internacionales de Seguridad de las sustancias químicas involucradas en el giro de los recubrimientos electrolíticos.

II.1.- Identificar los problemas básicos a los que se enfrenta la industria de la galvanoplastia en México.

II.2.- Establecer una serie de sugerencias que permitan a las empresas integrantes del ramo de la galvanoplastia, la reducci3n de sus descargas residuales, de su problemática, de su peligrosidad, así como el mejoramiento de su rendimiento.

III.1.- Seleccionar la técnica de análisis de riesgos más adecuada al giro industrial, considerando sus ventajas y limitaciones.

III.2.- Elaborar una "Lista de Chequeo o Verificaci3n" para aplicarla a las industrias seleccionadas.

IV.1.- Hacer una propuesta de minimizaci3n de peligrosidad, mediante la selecci3n de tecnologías de remoci3n de contaminantes presentes en las aguas residuales.

IV.2.- Identificar la peligrosidad de las sustancias químicas utilizadas en la industria del cobrizado, niquelado y cromado, conforme a la literatura consultada.

1.3 METAS

Conocer físicamente las instalaciones y aplicarles una técnica seleccionada de análisis de riesgos, a un porcentaje significativo de este sector industrial, es una de las principales metas de ésta tesis.

Debido a que la Cámara Nacional de la Industria de la Transformaci3n (CANACINTRA), es una de las más importantes agrupaciones de industriales, se recurrió a ella, para establecer contacto con los industriales del ramo.

En esta cámara están registradas 110 empresas del ramo de la galvanoplastia, pero debido a la apertura de mercados que desencadenó una crisis desde 1993, se ha reducido la planta en un porcentaje cercano al 15 %, por lo que siguen funcionando poco más de 90 empresas.

Por ser un giro muy vigilado por las autoridades, el empresario en general se reusa (y con raz3n) a permitir el acceso a sus instalaciones y menos a su documentaci3n, por lo que se piensa cubrir un 10 % de la poblaci3n existente, en donde se estudie físicamente a la planta industrial y se constate la existencia de documentaci3n que apoye el funcionamiento de toda raz3n social.

1.4 ALCANCES

El giro de la galvanoplastia es muy amplio, e involucra todo tipo de recubrimientos electrolíticos como son: anodizado, cadminizado, zincado, estañado, dorado, cromado, etc., el estudio se aboca únicamente al proceso de cromado y niquelado, los cuales pueden o no involucrar al proceso de cobrizado.

Se seleccionó el proceso de cromado por ser uno de los más contaminantes y comerciales dentro de la galvanoplastia.

El concepto más adecuado con el desarrollo de ésta tesis debe de ser el de **galvanostegia**, que consiste en cubrir la superficie de un metal con una capa muy fina de otro metal más vistoso o resistente, pero es más utilizado el concepto de **galvanoplastia** que consiste en recubrir por electrólisis un sustrato plástico con una capa metálica, por lo que aclaramos que el desarrollo de esta tesis se sujetará al estudio de empresas que recubren un sustrato metálico ferroso o aleaciones metálicas con propiedades ferrosas.

Este estudio se realizó preferentemente en empresas ubicadas dentro del Distrito Federal y solo cuando se presentaron problemas para cumplir con el número deseable de empresas a estudiar, se recurrió a compañías del área conurbada, no importando el tamaño de la misma.

CAPITULO II

DEVENIR HISTÓRICO DEL PROCESO DE CROMADO

2.1 GENERALIDADES SOBRE EL CROMO

2.1.1 Historia

El cromo fue por primera vez identificado y aislado como un elemento metálico en 1789 por Vauquelin al trabajar con el mineral llamado crocoita ($PbCrO_4$), también conocido como plomo rojo siberiano (Kirk-Othmer, 1994). Poco después se desarrolló el proceso para manufacturar cromatos por calcinación de cromita ($FeO \cdot Cr_2O_3$) con sosa cáustica y cal. El cromo fue electrolizado de una solución de cloruro de cromo por Bunsen en 1854. En 1893 Moissan produjo ferrocromo en un horno eléctrico al hacer reaccionar el óxido de cromo (Cr_2O_3) con carbón. En 1898 Goldschmidt produjo cromo por reducción aluminotérmica de Cr_2O_3 (Ullmans, 1986).

El nombre de cromo proviene de la raíz griega CHROMA que significa color, y es debido a la amplia variedad de brillantes colores mostrados por los compuestos de este metal.

Solo existe un mineral comercial del cromo, llamado cromita, de composición ideal $FeO \cdot Cr_2O_3$, pero como la relación de cromo (Cr) a hierro (Fe) varía considerablemente, este mineral se representa como: $(Fe, Mg)O \cdot (Cr, Fe, Al)_2O_3$.

La cromita contiene 68% de óxido crómico (Cr_2O_3) y 32% en peso de óxido ferroso (FeO).

Existen 3 tipos principales de cromita clasificados según la composición en peso de cromita y su uso principal como se observa en la Tabla N° 2.1.

Tabla 2.1 Clasificación de minerales de cromita

CLASE	COMP. DE ÓXIDO DE CROMO (% PESO)	RELACIÓN CROMO:HIERRO	USO PRINCIPAL
Alta concentración de Cr	46 - 55	> 2:1	Metalúrgico
Alta concentración de Fe	40 - 46	1.5 - 2:1	Químico, Metalúrgico
Alta concentración de Al	33 - 38	2-2.5:1	Refractario

Fuente: Kirk-Othmer; Encyclopedia of Chemical Technology; Vol. 6; 4ª edición; ed. John Wiley and Sons; pág. 229, 1994.

2.1.2 Propiedades químicas del cromo

El elemento no es afectado por el aire, el agua u otro tipo de agentes corrosivos ordinarios a temperatura ambiente, lo que explica el porqué de su uso como agente protector externo de diversos metales menos nobles.

Cuando se calienta por encima de los 200°C se forma el óxido crómico (Cr_2O_3). Se disuelve en ciertos ácidos minerales diluidos como el ácido clorhídrico (HCl) y el sulfúrico (H_2SO_4), pero no en ácido nítrico (HNO_3) ni concentrado, ni diluido, tampoco con H_2SO_4 concentrado porque provocan pasivación en el metal (Kirk-Othmer, 1994).

De acuerdo con su configuración electrónica $3d^5 4s^1$, el cromo forma compuestos en los que se encuentra en un estado estable de 6^+ .

Los compuestos de número de oxidación 2^+ y 3^+ son numerosos, los de 4^+ y 5^+ son inestables.

El Cr^{2+} en solución acuosa es un agente reductor extremadamente fuerte que fácilmente reacciona con el oxígeno atmosférico.

Los 3 óxidos del cromo: CrO , Cr_2O_3 , CrO_3 , son de interés al exhibir la transición en propiedades básicas a propiedades ácidas y de electrovalente a covalente, de tal manera que el óxido intermedio es, anfiprótico, disolviéndose tanto en un álcali fuerte como en un ácido.

El cromo a elevadas temperaturas reacciona con los halógenos, silicio (Si), boro (B), nitrógeno (N), oxígeno (O) y carbono (C).

Como ácido crómico (H_2CrO_4) se desconoce su existencia en estado libre.

De acuerdo con Considine (1989), existen 4 isótopos estables ^{50}Cr , ^{52}Cr , ^{53}Cr y ^{54}Cr , además se conocen 4 isótopos radiactivos ^{48}Cr , ^{49}Cr , ^{51}Cr y ^{52}Cr con tiempos de vida media comparativamente cortos.

2.1.3 Propiedades físicas del cromo

Para realizar mediciones de ductibilidad es necesario que las impurezas no rebasen los siguientes valores: oxígeno = 2000 ppm; nitrógeno = 100 ppm; carbono = 100 ppm; hidrógeno = 20 ppm; silicio = 1500 ppm y azufre = 150 ppm.

En la tabla N° 2,2 se muestran algunas propiedades físicas seleccionadas para el cromo.

Tabla 2.2 Propiedades físicas del cromo

PROPIEDAD	VALOR
Número atómico	24
Número de masa	51.996
Isótopos estables	
masa	50 52 53 54
% de abundancia relativa	4.31 83.76 9.55 2.38
Estructura cristalina	cúbica centrada en el cuerpo (bcc)
Densidad a 20°C (g/mL)	7.19
Punto de fusión (°C)	1875
Punto de ebullición (°C)	2665
Gramos depositados por Ampere por hora	0.323
Resistividad eléctrica a 20°C ($\mu\Omega\cdot m$)	0.129
Potencial de ionización (Volts)	Cr \rightarrow Cr ³⁺ + 3e ⁻ -0.74 Cr ⁴⁺ \rightarrow Cr ⁶⁺ + 2e ⁻ +0.95
Tiempo de vida media del isótopo ^{51}Cr (días)	27.8

Fuente.- McAdams, John P. et al.; Tables and Data Sheets, Special Metal Finishing Guidebook; Department of Defense, Washington; pág. 791; 1994.

2.1.4 Producción y reservas de minerales del cromo

La cromita es el mineral más importante para la extracción del cromo (Cr₂O₃.<50%)
En la tabla 2.3 se muestran las reservas estimadas de minerales de cromo para el año 1983.

Tabla 2.3 Reservas estimadas de minerales de cromo

Reservas, 10⁶ Ton.

PAÍS O REGIÓN	TOTAL	METALÚRGICO >45% (ÓXIDO CRÓMICO)	QUÍMICO >40% (ÓXIDO CRÓMICO)	REFRACTARIO >20% (ÓXIDO DE ALUMINIO)
Rep. De Sudáfrica	2000	100 (5%)	1900 (95%)	-----
Zimbawe	600	300 (50%)	300 (50%)	-----
Turquía	10	9 (90%)	-----	1 (10%)
Filipinas	7.5	1.5 (20%)	-----	6 (80%)
Estados Unidos	8	0.4 (5%)	7.4 (92.5%)	0.2 (2.5%)
Canadá	5	-----	5 (100%)	-----
Finlandia	7.5	-----	7.5 (100%)	-----
Otros	11.35	8.175 (72%)	0.2 (2%)	2.975 (26%)
Ex URSS más exbloque socialista	51.5	26.5 (51%)	15 (29%)	10 (20%)
Total Mundial	2701	446 (16%)	2235 (83%)	20 (1%)

Fuente.- Ullmans; Encyclopedia of Industrial Chemistry; Vol. A-7; pág. 68; Rep. Fed. Alem.; 1986.

2.1.5 Usos y aplicaciones

De acuerdo a su abundancia relativa en la corteza terrestre ocupa el lugar número 21 entre todos los elementos, aunque en términos de recubrimientos protectores especiales, el cromo ocupa el cuarto lugar, solamente después del cobre, plomo y zinc en consumo.

Las propiedades más benéficas del cromo como metal de recubrimiento son: protección inherente y características decorativas, su reflectividad se mantiene aún en servicio continuo porque es excelente su resistencia al deslustre, corrosión, desgaste y rayado.

El porcentaje de distribución de consumo para compuestos donde participe el cromo es la siguiente (Kirk-Othmer, 1994):

Tabla 2.4 Usos de los compuestos del cromo

ACABADO METÁLICO Y CONTROL DE CORROSIÓN	37%
Pigmentos y productos afines	26%
Curtido de pieles y textiles	20%
Preservación de la madera.	5%
Otros usos	12%

Fuente.- Kirk-Othmer; Encyclopedia of Chemical Technology; 4ta. edición; ed. John Wiley and Sons; Vol. 6; pág. 229; 1994.

2.2 PREPARACIÓN DEL MATERIAL QUE RECIBIRÁ RECUBRIMIENTO

Proceso de limpieza.-

Preparación del sustrato para el posterior electrodepositado.

De acuerdo con Mertens (1989), el ciclo de preparación de un sustrato, en nuestro caso de tipo metálico, tiene como objetivo el desarrollo de una superficie con un aceptable nivel de limpieza y activación. La limpieza de los metales o desengrase es una parte esencial de los procesos modernos de producción.

Según Bastenier y coautores (1973), el tipo de contaminantes o de suciedad a eliminar de la superficie metálica se divide en 2 categorías.

Suciedad orgánica.-

- a) Saponificable.- Como son los aceites vegetales y animales.
- b) Insaponificables.- Tales como los aceites y grasas minerales.
- c) Diversa o variada.- Los que se forman *in situ*, como por ejemplo: jabones metálicos, decapantes ácidos, etc.

Suciedad inorgánica.-

- a) La cascarilla y hollín.- Como el óxido y los residuos metálicos.
- b) Productos para el pulido o residuos abrasivos del lijado.
- c) Diversa.- Como el polvo atmosférico.

Existen varios tipos de limpieza de acuerdo al proceso que se utilice, dentro de las que más se usan están:

2.2.1 Limpieza por solventes:

Para promover la limpieza y desengrase son utilizados solventes orgánicos donde sobresalen por su uso más extendido y sus propiedades físicas los siguientes:

Tabla 2.5 Propiedades físicas

	CLORO METILENO	TRICLORO ETANO	TRICLORO ETILENO	PERCLORO ETILENO
Estruct. atómica	CH_2Cl_2	CH_3CCl_3	CHClCCl_2	C_2Cl_4
Peso molecular	84.94	133.42	131.4	165.85
Punto de ebullición (°C)	39.8	74.1	86.9	121
Gravedad específica (25 °C)	1.316	1.322	1.456	1.613
Máx. contenido de H₂O (ppm)	100	100	63	75

Fuente.- Johnson J.C.; Chemical Surface Preparation. Special Metal Finishing Guidebook; USA; pág. 112; 1995.

De acuerdo a sus propiedades, Mertens (1989), nos menciona que las principales aplicaciones en donde se utilizan más estos solventes clorados son:

- a) Cloruro de metileno (o cloro-metileno).- Tiene el mayor poder de disolución de todos los compuestos clorados y por tener el menor punto de ebullición solo se utiliza a temperatura ambiente para partes muy sensitivas.
- b) 1,1,1 tricloroetano (o tricloroetano).- Tiene una acción limpiadora ligeramente menor que el tricloroetileno; por su menor punto de ebullición que el percloroetileno y el tricloroetileno, lo hace útil y apropiado para limpiar componentes que podrían ser dañados a altas temperaturas, además de que es un solvente que puede ser utilizado conforme a las regulaciones ambientales.

Las desventajas del 1,1,1 tricloroetano son en primer lugar que no se puede utilizar si existe un exceso de agua contaminada, y en segundo lugar, los vapores no pueden ser recuperados por adsorción en carbón activado, ya que este proceso disminuye la estabilidad por debajo de

niveles aceptables, pero en cambio, como ya se mencionó, por tener baja tasa de reactividad, se considera que su efecto es despreciable en la formación de ozono.

- c) Tricloroetileno.- Era el solvente de limpieza de metales preferido hasta hace poco, debido a que la legislación ambiental lo consideró como contaminante del medio, lo que ocasionó que muchos usuarios lo reemplazaran de acuerdo a las regulaciones, aunque todavía es ampliamente utilizado en aplicaciones especiales.
- d) Percloroetileno.- Tiene el mayor punto de ebullición de los solventes clorados, por lo que se recomienda para disolver contaminantes, también de alto punto de ebullición como las ceras, además por su menor grado de disolución en agua es utilizado también para limpiar partes húmedas.

Como menciona Bird (1995), una alternativa para substituir a los solventes orgánicos es la de los agentes limpiadores alcalinos en solución acuosa ya que tienen como principales propiedades las siguientes.

- a) No tóxicos
- b) No volátiles
- c) No combustibles
- d) Biodegradables

Por lo general los limpiadores alcalinos están formados por una base (hidróxido de sodio o potasio) y agentes surfactantes que proporcionan propiedades humectantes y emulsificantes que bajan la tensión superficial y previenen la redeposición de la suciedad.

En ocasiones para no atacar a metales o aleaciones como el aluminio, cobre y latón, se utilizan soluciones alcalinas diluidas, en donde los silicatos son materia prima que al hidrolizarse forman ácido silícico (H_2SiO_4), este en estado coloidal dispersa muy bien los sólidos, además quedan álcalis libres que forman una reserva alcalina, y ésta actúa como un búffer para la solución.

2.2.2 Limpieza electrolítica

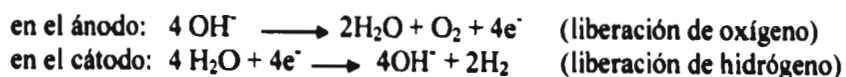
La limpieza utilizando la corriente eléctrica se caracteriza esencialmente por el uso de corriente directa y un electrolito formulado especialmente.

Un ciclo de limpieza para preparar piezas antes de recubrirlas electrolíticamente sería:

- a) Remojo en H_2SO_4 concentrado y agua (si la materia prima contiene herrumbre, está oxidada o con cascarilla de soldadura).
- b) Enjuague
- c) Limpieza por solventes.- Los artículos reciben un desengrase de vapor en el cual un solvente se lleva hasta su punto de ebullición en un sistema cerrado y sus vapores se condensan sobre la superficie metálica.
- d) Limpieza en emulsión.- Las partes metálicas son sumergidas en una mezcla caliente de keroseno, un agente humectante y una solución alcalina.

- e) Enjuague en agua a temperatura ambiente.
- f) Limpieza electrolítica.- Los artículos son sumergidos y conectados al ánodo con 6 volts y de 10 - 15 A/dm² de 1 a 3 minutos en un desengrase alcalino que puede contener: hidróxido de sodio, carbonato, fosfato, metasilicato más agentes humectantes y quelantes.
- g) Enjuague en agua templada (30 - 45°C)
- h) Inmersión de activado (Con ácido sulfúrico diluido).
- i) Enjuague en agua a temperatura ambiente.
- j) Repetir opcionalmente del paso f) al i).
- k) Recubrir electrolíticamente.

Reacciones químicas que ocurren durante la limpieza electrolítica.- Cuando se aplica la corriente, el agua sufre una electrólisis en donde los álcalis sirven como medio conductor sucediendo:



Tipos de limpieza electrolítica.- Conforme a lo escrito por Izaki (1995), existen 3 tipos, los que se definen en su utilización de acuerdo a la polaridad del trabajo en proceso y la aplicabilidad de cada uno en el substrato dado:

- a) Limpieza anódica.- La pieza se conecta al ánodo y se carga positivamente. También se le conoce como limpieza electrolítica inversa por tener polaridad opuesta a la del recubrimiento. El oxígeno producido provoca el descapelamiento de los desechos, como efectos químicos colaterales esta el de oxidación y ligera caída en el valor del pH en la superficie del ánodo.
- b) Limpieza catódica.- Las piezas se conectan al cátodo, cargándose negativamente, por lo que también se le llama limpieza directa. En este caso el hidrógeno se libera en el cátodo y es del doble del volumen que el oxígeno, por lo que existe mayor acción de restregado o golpeteo, aunque también existe el riesgo de que el material se fragilice por adsorción del hidrógeno en su estructura interna.
- c) Limpieza electrolítica periódicamente reversible.- Se instala normalmente una unidad que modifique la polaridad del rectificador controlada a intervalos de tiempo de 10 seg., siendo muy eficiente en el descamado y eliminación de herrumbre muy unida a la pieza de trabajo, sin el uso de ácidos en el ciclo.

2.2.3 Limpieza ultrasónica

Este proceso de limpieza es benéfico porque además de ahorrar tiempo y dinero, también incrementa la limpieza a un nivel que no puede ser alcanzado por otros medios. La energía ultrasónica consiste en vibraciones de ondas de sonido con frecuencia de 18,000 a 24,000 Hertz. Un generador ultrasónico produce corriente eléctrica alterna y un transductor transforma la corriente de alta frecuencia en vibraciones mecánicas. Cuando las ondas ultrasónicas de suficiente amplitud son introducidas dentro de un líquido, éste cavita

produciendo burbujas microscópicas por millones, logrando limpiar por completo las superficies más difíciles en una fracción de tiempo del que necesitan otros procesos.

Maximización del proceso de limpieza ultrasónica.-

Según lo establecen Fuchs (1984) y Kirk-Othmer (1994), la intensidad de la cavitación depende de diversas propiedades, como son:

1. **Temperatura.-** A mayor temperatura resulta mayor cavitación y mejor limpieza mientras no se acerque demasiado al punto de ebullición del líquido eliminando el efecto de cavitación. Por ejemplo, para el agua su cavitación más efectiva se presenta alrededor de 70 °C. Una solución de agua con una base, limpia más efectivamente cerca de los 80 °C. En el caso de los solventes orgánicos deben ser utilizados en el proceso de limpieza ultrasónica por lo menos 10 °C por debajo de su punto de ebullición.
2. **Gases disueltos en el líquido.-** Los líquidos que contienen gases disueltos producen menor cavitación, porque la difusión del gas presente en burbujas actúa como un amortiguador, no existiendo la violenta implosión que normalmente elimina impurezas. Para evitar lo anterior se agregan agentes humectantes que reducen la tensión superficial y remueven a los gases atrapados.
3. **Tensión superficial.-** A mayor tensión superficial del líquido, mejor cavitación y por lo tanto, se realiza una mejor limpieza.
4. **Viscosidad.-** Líquidos más viscosos requieren mayor energía para cavitación.
5. **Frecuencia del ultrasonido.-** Si se incrementa la frecuencia ultrasónica, mayor energía debe ser aplicada para mantener la misma intensidad de cavitación, siendo el promedio más común de frecuencia el de 21 Khz, pero se llega a trabajar hasta 45 KHz.

2.2.4 Limpieza mecánica

Como lo mencionan Bastenier (1973) y Kirk-Othmer (1994), las partes a trabajar deben pasar por un limpiador alcalino para remover desechos orgánicos antes de la limpieza mecánica que emplea algunas formas de abrasión. Entre las ventajas que presenta este método de limpieza por abrasión están:

a) La rapidez; b) que se hace a profundidad y; c) no es selectiva, por lo tanto se puede aplicar a cualquier tipo de metal o aleación.

Las desventajas que presenta son:

a) El equipo y la mano de obra resultan caros, b) se daña la superficie de los metales, c) existe toxicidad hacia el personal por el chorreado con arena y d) elevados gastos de mantenimiento del equipo e instalación.

Los tipos más comunes de limpieza mecánica son los siguientes:

a) Cepillamiento o restregamiento, b) el lijado o maquinado, c) el chorreado con arena o con abrasivos, d) el chorreado con granalla de acero, e) el chorreado líquido (chorreado con

agua a presión conteniendo abrasivos en suspensión), f) el chorreado con materiales más blandos como cortezas y cáscaras molidas, etc. y g) el volteado en masa.

Evaluación del grado de limpieza obtenida:

Existen varias pruebas, siendo la más utilizada la de rompimiento de la capa de agua, que es la más ampliamente utilizada y que se explica a continuación.

Se desengrasa la pieza, se enjuaga con agua fría. Como lo mencionan Bastenier (1973) y Ullmans (1986), una película de agua exenta de rotura sobre la superficie de la pieza que persiste después de un periodo de derrame de 30 segundos es señal de una superficie limpia. Cualquier rompimiento de la capa de agua sobre la superficie indica un área que es hidrofóbica y que por lo tanto está impropriadamente preparada.

2.3 DESCRIPCIÓN HISTÓRICA DEL PROCESO DEL ELECTRODEPOSITADO

El metal se deposita con fines decorativos, o para proteger el metal recubierto de la corrosión o de la acción de los agentes atmosféricos, químicos, etc. Otros propósitos serían los de impartir propiedades eléctricas o magnéticas deseables o especiales.

El campo de la galvanostegia abarca también a la reparación de piezas gastadas de máquinas, incrementando las dimensiones de dichas piezas, en el caso del cromo se le conoce como "cromo duro", o "cromo funcional" cuando se aplica a ésta última función.

Conforme a Castellan (1987), hay ciertas evidencias de que ya por el año 2500 a.C. los egipcios conocían la forma de recubrir objetos. Excavaciones arqueológicas recientes en el cercano Oriente han descubierto lo que parece ser una celda electroquímica basada en electrodos de hierro y cobre, el dispositivo data entre 300 a.C. y 300 d.C., por lo anterior es interesante resaltar que la invención de la celda electroquímica por Alessandro Volta en el año 1800 es en sí una reinvencción.

El primero que hizo un depósito galvánico en tiempos modernos fue Brugnatelli, alumno y colaborador de Volta en el año 1801.

De acuerdo con Vallejo (1954), Jacobi físico ruso, en 1837 descubrió incidentalmente que láminas de cobre de una pila Daniell se encontraban recubiertas de un depósito rugoso que tomaba todas las imperfecciones del metal base, al descamarse se encontraba el cobre en perfecto estado. De la Rive, profesor de Física de la Universidad de Génova, trató de depositar el Oro del cloruro áurico en 1840, y aunque no llegó a resultados satisfactorios, su trabajo sirvió de base para que posteriormente Ruolz en Francia y Wright en Gran Bretaña encontraran electrolitos adecuados y obtuvieran un buen plateado y dorado.

El proceso de niquelado que se usa en la actualidad, es una variante del propuesto por Becquerel en 1862 ante la academia de Ciencias de Francia, en el cual se empleaba sulfato

doble de níquel y amonio. El mismo proceso fue patentado por Adams en Estados Unidos en el año 1869;

Por los años 1920 a 1930 los industriales del ramo dependían de secretos no publicados, las fórmulas de algunas soluciones fueron envidiosamente guardadas, los depósitos de este periodo eran opacos, rugosos y picados que necesitaban mucho trabajo de pulido y abrillantado posterior. Lo anterior dio origen a la formación de la American Electroplaters Society, que posteriormente se denominó American Electroplaters and Surface Society, nombre con el que se conoce hasta nuestros días. Los primeros libros básicos sobre los principios de la galvanoplastia y galvanostegia aparecieron publicados en los Estados Unidos de Norteamérica en el año de 1924, y no es sino hasta el año de 1954 en que tiene su mayor auge la industria de la galvanostegia; (Kirk-Othmer, 1994).

En México a finales de la década de los cincuenta aparecen las primeras empresas que adquieren su propia planta de electrodepositado, teniendo su mayor auge a finales de la década de los 60's y principios de los 70's, comenzando a decaer en los 80's con el advenimiento de autopartes de material plástico.

2.3.1 Proceso de electrodepositado (fundamentos de la electrodeposición)

La electrodeposición es el proceso de aplicación de una capa metálica adherente sobre un electrodo negativo (cátodo) con el propósito de asegurar una superficie con propiedades o dimensiones diferentes de las del metal base.

Según Mcketta (1983), un electrodo es un conductor a través del cual la corriente entra o abandona una celda electrolítica, en la cual hay un cambio de conducción por electrones, a una conducción por partículas cargadas de materia o viceversa, y un electrolito es un medio conductor en el cual el flujo de corriente es acompañado por el movimiento de materia.

Cuando 2 electrodos se insertan dentro de un electrolito y se aplica un potencial eléctrico, los cationes migran hacia el cátodo y los aniones hacia el ánodo. El metal depositado está contenido en cada tipo de ion; Los cationes simples contienen al metal, generalmente asociado con moléculas del solvente que casi siempre es agua.

Estas soluciones son llamadas baños por los industriales del ramo.

La cantidad de metal depositado, que es el espesor, depende de la densidad de corriente (A / m^2), el tiempo de recubrimiento o de electrodeposición y la eficiencia del cátodo.

La intensidad de corriente está determinada por el voltaje aplicado, la conductividad eléctrica de la solución de electrodeposición, la distancia entre ánodo y cátodo y la polarización; (McGraw-Hill, 1992).

2.3.2 Cobrizado

Los electrodeósitos de este elemento frecuentemente se usan como primera capa o capa interna para recubrimiento decorativo de níquel - cromo.

Se emplean 2 tipos diferentes de soluciones para la electrodeposición del cobre: las ácidas en base al sulfato de cobre y las alcalinas a base de cianuros.

Para obtener depósitos más o menos gruesos se usa un baño con base en el sulfato de cobre, pero algunos metales como el hierro, el zinc, etc. no se recubren bien con este baño, por lo que en estos casos habrá que darles un depósito preliminar en baño de cianuro, este último depósito se utiliza cuando sobre la capa de cobre se va a aplicar otro metal, pudiéndose aplicar con todos los metales excepto el aluminio. (El proceso de cobrizar no es estrictamente necesario para cromar posteriormente, solo si se requiere mayor brillo y tersura del producto).

2.3.2.1 Cobrizado a base de sulfato

En general están constituidos por una solución de sulfato de Cobre y ácido sulfúrico en la siguiente proporción:

Sulfato de cobre cristalizado	150g
Ácido sulfúrico concentrado	50g
Agua	1L

Los ánodos son de cobre rojo, electrolítico, utilizando una densidad de corriente de 1 Amperio, el cual con agitación se puede aumentar, pero un exceso de corriente produciría un depósito de coloración oscura y de textura rugosa.

Las piezas cuando se retiran del baño deberán ser lavadas y secadas rápidamente para evitar que tomen una coloración ocre. El color natural de un depósito de cobre es el salmón.

El plomo y sus aleaciones se recubren bien por este método, pero no sucede lo mismo con otros metales como el hierro (Fe), el zinc (Zn), el níquel (Ni), cobalto (Co), metales preciosos, etc. que deberán ser recubiertos previamente en un baño de cianuro o de carácter básico; (McGraw-Hill, 1992).

2.3.2.2 Cobrizado a base de cianuro.-

Canning (1978) nos menciona que los baños de cobrizado a base de cianuro, se pueden preparar con cianuro de Potasio y una sal cúprica, añadiendo también sulfito de Sodio para asegurar la reducción del cobre a ion cuproso.

También se agrega carbonato de sodio para disminuir la concentración de iones hidrógeno. Otro tipo de baño alcalino se prepara con cianuro alcalino y de cobre. A continuación se presenta un ejemplo de formulación para cada tipo de solución:

Solución de cobrizado a base de carbonato de cobre:

Carbonato de cobre	---	40g
Cianuro de sodio	---	80g
Hiposulfito de sodio	---	250g
Agua	---	1L

Solución de cobrizado a base de cianuro de cobre:

Cianuro de cobre	---	25g
Cianuro de sodio	---	30g
Carbonato de sodio	---	15g
Hiposulfito de sodio	---	250mg
Agua	---	1L

Con cualquiera de las 2 soluciones se trabaja a una temperatura entre los 36 y los 44°C. La densidad de corriente del cátodo va de 0.4 a 0.6 Amp/dm² y la tensión de 1.5 a 2 volts.

En los ánodos de cobre rojo electrolítico debe haber una revisión periódica, pues si aumenta la concentración de cianuro libre, puede haber una descamación.

Si los depósitos de cobre presentan agujeros, se tendrá que eliminar algo del carbonato que se encuentra en exceso. Para lograr esto se precipita con ayuda de una solución de cloruro de bario. El carbonato de bario que precipita, va al fondo de la tina, la solución clara se succiona y se pasa a otra tina donde después de corregirla quedará lista para volver a ser utilizada.

Se debe tener cuidado de no eliminar por completo el carbonato de la solución porque se obtendrían depósitos duros.

En los baños alcalinos a base de cianuro en una operación normal, los ánodos presentan una coloración rosada con manchas blanquecinas debido a la acumulación del cianuro cuproso que es blanco.

Un exceso de cianuro alcalino haría desaparecer rápidamente tales depósitos, obteniéndose una deposición irregular del cobre; Por el contrario, si al baño le faltan cianuros, los ánodos se tornarían de una coloración verdosa y el electrolito tomaría un color azul.

El depósito de cobre que se produce sobre el cátodo presenta un color rosado brillante al principio, que se vuelve opaco conforme su espesor aumenta.

Generalmente el contenido de cobre del baño varía entre 6 y 30 g/L con densidades de corriente baja entre 0.3 a 0.8 Amperios.

2.3.2.3 Baños de cianuro adicionados de sal de Rochelle

La sal de Rochelle que es un tartrato doble de sodio y de potasio $\{(CHOH)_2COOK.COONa \cdot 4H_2O\}$, sustancia cristalina de color blanco que da un resultado satisfactorio (actualmente el industrial la utiliza poco debido a su alto costo con respecto al aumento en la calidad del acabado.)

Los baño utilizados contendrán de 30 a 60 g/L de tartrato doble de sodio y potasio y de 15 a 30 g/L de cobre metálico.

Un ejemplo de preparación de este tipo de baño sería:

Cianuro cuproso	---	De 19 a 45 g/L
Cianuro de sodio	---	De 26 a 53 g/L
Carbonato de sodio	---	De 15 a 60 g/L
Sal de Rochelle	---	De 30 a 60 g/L
Cobre	---	De 15 a 30 g/L
Cianuro de sodio libre	---	De 3.8 a 7.5 g/L
Hidróxido de sodio para mantener un pH de 12.2 a 12.8		

El baño anterior posee la ventaja sobre los baños comunes a base de cianuro, de producir depósitos más pesados y satisfactorios a mayores densidades de corriente.

Se trabaja a una densidad de corriente en el cátodo de 7.5 Amp/dm² como máximo.

Es conveniente tener un área de ánodo equivalente por lo menos a 2 veces el área del cátodo y colocar ánodos de hierro que equivalen a un 25% del área total.

Barauskas (1995), aconseja trabajar a temperaturas entre 55 y 70°C manteniendo el baño en agitación, porque al agitar da una eficiencia mayor, una uniformidad en la composición del baño y un desgaste parejo del ánodo, aumentando la brillantez del depósito.

Para purificar este baño contaminado por sustancias orgánicas, se emplea carbón activado.

2.3.3 Niquelado

2.3.3.1 Propiedades del níquel

El níquel es un metal blanco, lustroso que tiene una alta resistencia mecánica, es bastante duro y a temperaturas ordinarias es paramagnético.

Se oxida con dificultad solamente calentando en presencia de aire, sí la superficie del metal está pulida, gradualmente se corroe al exponerse al ambiente.

El níquel es ligeramente soluble en HCl y también en H₂SO₄ diluido. El HNO₃ diluido ataca rápidamente al níquel, pero al sumergir el níquel en H₂SO₄ concentrado le proporciona un estado de pasivación en el cual difícilmente es atacado; (Canning, 1978).

2.3.3.2 Proceso de niquelado

El niquelado produce depósitos duros y poco fáciles de pulir. Para que sea durable es necesario depositar una capa de metal relativamente gruesa, aunque a mayor grosor, mayor tendencia al descascaramiento y más irregular será su superficie.

El niquelado se puede aplicar a metales más baratos para mejorar su aspecto, pero existe la necesidad de recubrir previamente el metal a tratar con una capa de cobre para el caso del hierro y el acero, el níquel se puede aplicar directamente si la superficie del metal está perfectamente pulida y limpia. En el proceso de niquelado ocurre lo siguiente:

Los iones de níquel son reducidos a níquel metálico sobre el cátodo:



Este proceso remueve los iones níquel del electrolito en la solución. Para mantener la concentración de iones níquel constante, ánodos de níquel son usados en el baño. Los ánodos proveen por sí mismos átomos de níquel, los cuales se oxidan de nueva cuenta a iones níquel.



Conforme a Shakashiri (1992), el baño de níquel contiene diversos solutos, cada uno tiene una función específica en el proceso que se explica a continuación:

Sulfato de níquel (Ni₂SO₄.6H₂O).

Se usa como la fuente primaria de iones níquel, porque es de las sales de níquel más solubles y baratas, por lo que se alcanzan altas concentraciones de la sal en el baño. Una alta concentración de iones en el baño reduce su resistencia eléctrica, una baja resistencia permite una alta densidad de corriente que fluye a través de la solución, de esta forma la capa de níquel se forma rápidamente.

Cloruro de níquel (NiCl₂.6H₂O).

Es agregado al baño para mejorar la disolución del ánodo, también disminuir el potencial requerido para reducir los iones níquel en el cátodo.

Ácido bórico (H₃BO₃).

Este ácido promueve un recubrimiento liso, sin él, la capa de níquel podría ser rugosa y picada, también sirve como un buffer o amortiguador para controlar el pH alrededor del cátodo. En el cátodo, el agua puede ser reducida formando iones hidróxido, estos iones

hidróxido pueden precipitar los iones níquel del baño en la forma de hidróxido de níquel $[\text{Ni}(\text{OH})_2]$. El ácido bórico mantiene bajo el pH del baño (menor a 5.8) para prevenir la precipitación mencionada.

2.3.3.3 Estimación del espesor de níquel

La cantidad de níquel que se deposita en el cátodo se determina por la densidad de corriente (Amperios = A) y el tiempo (h). Bajo condiciones ideales (26.8 A) fluyendo durante 1 hora depositarán 29.4 g de níquel (1.095 g/A.h). Si el área a recubrir es conocida, el promedio de espesor de la capa de níquel se puede estimar. Por ejemplo, si 29.4 g de Ni se depositan en un área de 10 dm^2 (1000 cm^2), el grosor del depósito es igual a .00356 cm (el grosor es igual al peso del níquel dividido por el producto del área y la densidad del níquel ($\rho_{\text{Ni}} = 8.9 \text{ g/cm}^3$)).

Debido a que un pequeño porcentaje de la corriente se consume en el cátodo al descargar iones hidrógeno, la eficiencia en la deposición del níquel es aproximadamente de 96.5%, la tabla que se da a continuación relaciona espesor de la capa, peso por unidad de área, densidad de corriente y tiempo de depósito.

Tabla 2.6 Datos sobre depósitos de níquel
(Basado sobre una eficiencia de cátodo del 96.5%)

Espesor (in)	Espesor (mm)	oz/ft ²	g/cm ²	A-h	minutos para obtener la capa de recubrimiento a diferentes densidades de corriente (A/ft ²)			
					10	20	50	100
0.0001	0.00025	0.0721	0.0022	1.99	12	6	2.5	1.2
0.0002	0.00051	0.144	0.00441	3.98	24	12	5	2.4
0.0005	0.00127	0.360	0.0110	9.95	60	30	12	6
0.0008	0.00203	0.578	0.0177	15.9	96	48	19	9.6
0.0010	0.00254	0.721	0.0221	19.9	119	60	24	12
0.0015	0.00381	1.082	0.0332	29.8	179	89	36	18
0.0020	0.00508	1.44	0.0441	39.8	238	119	48	24

Fuente.- Dibrari George A.; Nickel Plating. International Nickel Inc. Special Metal Finishing Guidebook; Saddle Brook, New Jersey; pág. 259-279; 1995.

Los baños más comunes trabajan a densidades de corriente de 3 A/dm^2 (28 A/ft^2) y una tensión de 2 a 3.5 volts. Para depósitos gruesos el contenido de níquel llega a una concentración de 55 g/L y una intensidad de 11 A/dm^2 (102.3 A/ft^2) y de 2 a 3 volts de diferencia de potencial.

La solución más ampliamente utilizada es el baño WATTS, pero se han desarrollado otro tipo de formulaciones, como por ejemplo, las soluciones a base de sulfamatos muy utilizadas para aplicaciones donde se requiere baja tensión; (McGraw-Hill, 1992).

A continuación se dará información sobre los 3 diferentes tipos de baño de niquelado más conocidos:

Tabla 2.7 Soluciones de níquel electrodepositado y propiedades típicas de los depósitos (comp. del electrolito en g/L)

FORMULACIÓN	BAÑO DE NIQUEL WATTS	BAÑO DE SULFAMATO CONVENCIONAL.	BAÑO DE SULFAMATO CONCENTRADO.
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	(225-300)	-----	-----
$\text{Ni}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-----	(315-450)	(500-650)
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	(37-53)	(0-22)	(5-15)
H_3BO_3	(30-45)	(30-45)	(30-45)

Condiciones de operación

TEMPERATURA (°C)	40 - 66	32 - 60	60 - 70
Agitación	mecánica o aire	mecánica o aire	mecánica o aire
Densidad de Corriente (A/dm ²)	3 - 11	0.5 - 32	Arriba de 90
pH	3 - 4.2	3.5 - 4.5	3.5 - 4.5
Ánodos	Ni	Ni	Ni

Propiedades mecánicas

	BAÑO DE NIQUEL WATTS	BAÑO DE SULFAMATO CONVENCIONAL	BAÑO DE SULFAMATO CONCENTRADO
Resistencia. a la tensión Mpa	345 - 485	415 - 620	400 - 600
% de Elongación	15 - 25	10 - 25	10 - 25
Dureza Vickers, 100 g de carga	130 - 200	170 - 230	150 - 250

Fuente.- Ullmans; Encyclopedia of Industrial Chemistry; Vol A-7; 5ta. edición; ed. VCH; pág., 59, 162, 235; Fed. Rep. of Germany; 1986.

2.3.3.4 Soluciones de níquel brillante

Conforme a lo escrito por Dibari (1995), cuando se requiere mayor brillantez en los depósitos se debe de agregar por lo menos un compuesto de cada uno de los 2 grupos llamados clase 1, que son abrillantadores iniciales, pero incapaces de mantener la apariencia de espejo conforme el depósito se vaya incrementando de espesor. A ésta clase pertenece el ácido bencendisulfónico, el ácido bencentrisulfónico, las bencensulfonamidas y otros compuestos que también contienen azufre.

El grupo llamado clase II hacen que la superficie se alise conforme el grosor del depósito se vaya incrementando. Estos compuestos están libres de azufre, contienen grupos insaturados y generalmente introducen pequeñas cantidades de material carbonáceo dentro del depósito. Ejemplos típicos de esta segunda clase de abrillantadores son: formaldehído, cumarina, etilencianohidrina, butinodial, etc.

2.3.4 Cromado

2.3.4.1 Depósitos de cromo

Existe una división en los depósitos de cromo: a) cromo decorativo, el cual está normalmente restringido a depósitos muy delgados con espesores que promediando las bibliografías va de $0.25\mu\text{m}$ (0.00001 pulg.) a $0.8\mu\text{m}$ (0.00003 pulg.). b) cromo duro o funcional que es aplicado en grosores mucho mayores cuyo promedio va de $2.5\mu\text{m}$ (0.001 pulg.) a $500\mu\text{m}$ (0.02 pulg.) ó más; (Kenneth, 1995); (Canning, 1978); (Kirk-Othmer, 1994); (Snyder, 1995).

El cromo se deposita principalmente a partir de baños que contienen ácido crómico (anhídrido crómico CrO_3 que al disolverse en agua se convierte en H_2CrO_4 ya que éste último no se conoce puro) y un catalizador que originalmente fue el ion sulfato (SO_4^{2-}) proporcionado por el ácido sulfúrico (H_2SO_4) agregado al baño en una relación de 75:1 a 125:1 ($\text{CrO}_3 / \text{SO}_4^{2-}$) aunque los expertos mencionan como la relación más idónea 100:1.

Existen en cuanto a concentración 2 clases de solución. a) diluida, aquellas que operan en 250 g/L (33 oz/gal) y b) las concentradas que operan en el rango de 400 g/L (55 oz/gal).

El baño se opera a una temperatura de $32 - 43^\circ\text{C}$ para cromado decorativo y de 37 a 65°C para cromo duro o funcional. La densidad de corriente del cátodo es de $10 - 20 \text{ A/dm}^2$ ($100 - 200 \text{ A/ft}^2$) para trabajo decorativo y de $15 - 35 \text{ A/dm}^2$ ($150 - 350 \text{ A/ft}^2$) para cromo duro, aunque con una buena agitación y un aumento de la temperatura del baño hasta unos 65°C se ha aumentado la densidad de corriente hasta 70 A/dm^2 en baños de alta concentración de cromo duro con el objeto de mejorar la productividad; (Kenneth, 1995); (Mohler, 1986); (Snyder, 1995).

Algo de Cr III debe estar siempre presente y los resultados óptimos se obtienen cuando el Cr III representa aproximadamente el 5% de la concentración del cromo VI.

Conforme a lo expresado por Ullmans (1986), en el pasado se reportó que las impurezas metálicas pueden ser toleradas a un nivel de 20 g/L, calculados como los óxidos de los contaminantes, antes de que el baño se vuelva inestable y difícil de controlar. Reportes más recientes indican que la inestabilidad ocurre en niveles tan bajos como 1.5 g/L de contaminante, en especial en baños que utilizan sistemas de catalizador mezclado.

El proceso de cromado es sensitivo a:

1. Densidad de corriente.- A mayor densidad de corriente, mayor eficiencia del cátodo.
2. Temperatura.- En la práctica, la temperatura óptima está relacionada con la densidad de corriente empleada, y a cualquier temperatura dada, hay un rango de densidad de corriente específica, dentro del cual se obtienen depósitos brillantes.
3. Composición de la solución.- La eficiencia del cátodo también la afectan los óxidos que contienen al cromo trivalente, hierro (Fe) y níquel (Ni). Cuando éstos se acumulan en la solución, hay una caída en eficiencia de la solución. La eficiencia del cátodo es también reducida si la solución está fuera de balance.
4. Cálculo del tiempo de depósito.- Cualquier cambio en la densidad de corriente generalmente involucra un correspondiente ajuste en temperatura para ordenar la solución y se pueda mantener dentro del ámbito de deposición óptimo, y estos cambios también afectarán la eficiencia del cátodo.

Los autores de esta bibliografía han desarrollado una serie de tablas de tiempo de cromado en minutos para un depósito de cromo de espesor promedio, en donde se involucran la densidad de corriente con diversos porcentajes de eficiencia del cátodo, por lo tanto, para determinar el tiempo de cromado óptimo se debe de buscar la eficiencia del cátodo de la solución escogida (para un espesor dado) y la densidad de corriente requerida, para lo anterior existen 2 formas de averiguarlo, por medio de tablas, ó de gráficas.

Según menciona Canning (1978), para el cromo decorativo hay una considerable variación de densidad de corriente sobre la superficie, y por lo tanto, el promedio de espesor de cromo aplicado debe ser considerado en exceso, un tiempo de cromado de 2 a 3 veces lo calculado.

Dentro del proceso de galvanostegia y en particular en el cromado, existen también los siguientes conceptos que ayudan a tener una mejor comprensión del mismo.

2.3.4.2 Ánodo

Para el caso del cromado en base al cromo VI, se utilizan aleaciones de Sn (7%) con plomo, preferidas por 2 propósitos: El primero es el de trabajar como electrodo positivo, y el segundo el de ayudar a mantener la solución en balance satisfactorio, para reoxidar el cromo III a ácido crómico.

La presencia de una capa color café chocolate sobre el ánodo, nos asegura que el cromo trivalente producido por reducción electroquímica del ácido crómico en el cátodo, es reoxidado a Cr VI, evitándose la acumulación de cromo III en la solución.

Sí un ánodo no trabaja adecuadamente por contacto ineficiente, la capa café chocolate gradualmente se convertirá en amarilla por el cromato de plomo ($PbCrO_4$) formado. La presencia de ésta capa amarilla sobre los ánodos, nos indica una conexión eléctrica deficiente.

Bajo ninguna circunstancia deberá colocarse un ánodo sobre la barra del cátodo. Esta práctica puede conducir a la producción y acumulación de cromo trivalente en la solución.

La limpieza del ánodo se logra restregándolo con cepillo de alambre, remojándolo en ácido clorhídrico (HCl) o en una solución especial para limpiar ánodos de cromo.

2.3.4.3 Poder de penetración

De acuerdo a la definición de Kirk-Othmer (1994) y Mohler (1986), es un término utilizado para describir la relativa distribución del grosor del recubrimiento, en otras palabras, es la capacidad para producir depósitos más uniformes, incluso sobre cátodos irregulares.

También existe el término "Poder de micropenetración", el cual denota la capacidad de una solución de recubrimiento de nivelar irregularidades microscópicas.

2.3.4.4 Velocidad o tasa de cromado

Un sistema se opera a una densidad de corriente necesaria para una temperatura de operación en particular, esto fija la velocidad de depósito para condiciones predeterminadas.

Existen gráficas elaboradas a base de datos experimentales que muestran las características del recubrimiento electrolítico con ácido crómico y sulfúrico, solamente referidos a baños concentrados ($[\text{CrO}_3] = 400 \text{ g/L}$, $[\text{SO}_4^{2-}] = 4 \text{ g/L}$) y baños diluidos ($[\text{CrO}_3] = 250 \text{ g/L}$, $[\text{SO}_4^{2-}] = 2.5 \text{ g/L}$).

Los baños concentrados tienen una mayor conductividad que los baños diluidos, por lo tanto se pueden operar a menores voltajes.

Los baños diluidos tienen una eficiencia de cátodo ligeramente mayor, son menos viscosos y por lo tanto tiene menos pérdidas por arrastre al extraer las piezas del baño.

A continuación se observa en la Figura 2.1 una gráfica que muestra la importancia que tiene tanto la temperatura como la intensidad de corriente en la obtención de un buen recubrimiento.

Además este rango de datos nos señala las áreas de quemado, escarchado o deslustrado, luminoso o brillante y opaco lechoso.

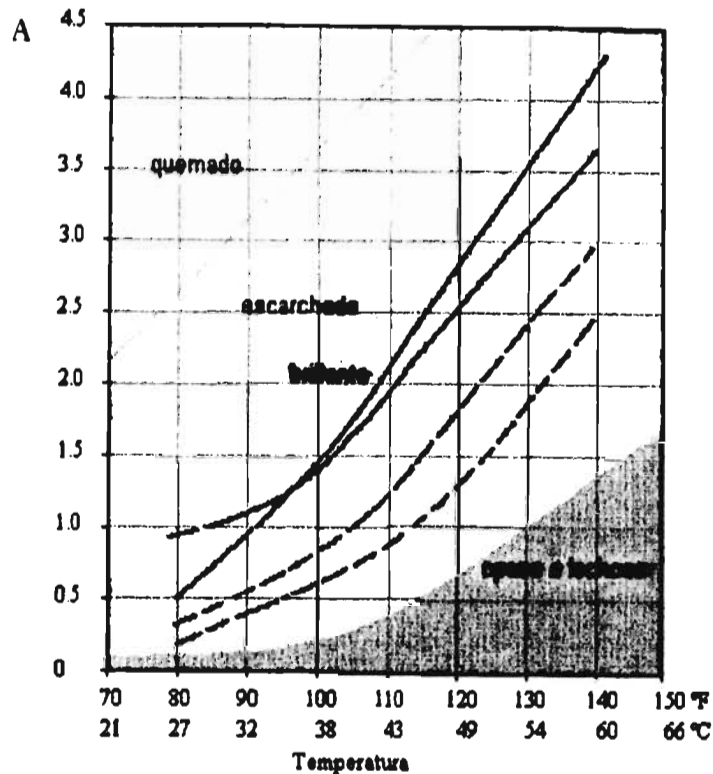


Figura 2.1.- Intensidad de corriente vs temperatura para diferentes tipos de acabado.

Fuente: Mohler J.B.; The Chromium Plating Bath, Finishing Pointer, Metal Finishing; USA; pág. 18, Julio 1986.

2.3.4.5 Cromado brillante o luminoso

Para obtener este tipo de depósito, las 2 líneas curvas sólidas que atraviesan la gráfica son útiles para estimar la densidad de corriente para baños concentrados y diluidos.

Velocidad o tasa de cromado.-

Por ejemplo, a 110°F y a un ámbito de velocidad entre 0.6 y 1.1 milésimos de pulgada por hora el baño más diluido debe operarse a una intensidad de corriente de 2 A/in².

La línea punteada sugiere un ámbito para baños que pueden operarse a bajas densidades de corriente, esto es necesario cuando el trabajo a realizar es irregular. Los baños se operan dentro de los valores que representan estas líneas para evitar fragilidad o depósitos quebradizos que ocurren en altas densidades de carga eléctrica.

2.3.4.6 Potencial de electrodo

De acuerdo a la explicación de Gabe (1978) y Mcketta (1983), cuando un electrodo metálico se sumerge dentro de la solución que contenga iones casi siempre del mismo material, se establece un potencial entre el electrodo y la solución. El metal está disolviéndose formando iones y los iones de la solución están perdiendo su carga y depositándose sobre el metal.



Algunos metales tienen una mayor tendencia a pasar hacia una solución que otros. Se ha establecido una escala relativa asignando un valor de cero al voltaje de una media celda estándar de referencia y expresando todos los potenciales de media celda con relación a este electrodo de referencia.

La media celda de referencia es el electrodo de hidrógeno estándar. Una tabulación del potencial de electrodo estándar (E°) para varios metales, da como resultado la muy conocida serie de fuerza electromotriz, que se muestra en la tabla N° 2.8.

Tabla 2.8 Potenciales de los electrodos estándar a 25°C

Electrodo	E° (Voltios)
$Li^+ + e^- \rightleftharpoons Li$	-3.045
$K^+ + e^- \rightleftharpoons K$	-2.925
$Ca^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Ca$	-2.866
$Na^+ + e^- \rightleftharpoons Na$	-2.714
$Al^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Al$	-1.662
$Zn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Zn$	-0.7628
$Cr^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Cr$	-0.744
$Fe^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Fe$	-0.4402
$Ni^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Ni$	-0.250
$Pb^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Pb$	-0.126
$2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2$	0
$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$	+0.337
$Cu^+ + e^- \rightleftharpoons Cu$	+0.521
$Fe^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+}$	+0.771
$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$	+0.7991
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1.33
$Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	+1.3595
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$	+1.51
$F_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2F^-$	+2.87

Fuente: Mortimer, Charles E.; Química; 1a. edición; ed. Grupo Editorial Iberoamérica; México D.F.; pág. 477; 1983.

El potencial de electrodo estándar de un metal es una indicación de su reactividad.

Metales con valores muy negativos de E° , su reducción no es espontánea y difícilmente se lleva a cabo, por ejemplo, K, Na y Al forman iones metálicos muy estables que no se pueden depositar en solución, en cambio los potenciales de electrodo más positivo son los de mayor tendencia a depositarse al reducirse, como por ejemplo el chromo VI.

En el año de 1975 un electrolito de cromo conteniendo el menos tóxico y peligroso ion chromo trivalente comienza lentamente a reemplazar al cromo VI en instalaciones de cromado. A continuación mencionaremos la química y las diferencias existentes entre ambos procesos.

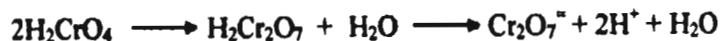
2.3.4.7 Química del cromo VI

El proceso tradicional de formulación contiene cromo VI y radical sulfato (SO_4^-) como único catalizador, o el proceso llamado con cocatalizador o catalizador mezclado, donde se utiliza el ion fluorosilicato, como ejemplo está el fluorosilicato de potasio (K_2SiF_6).

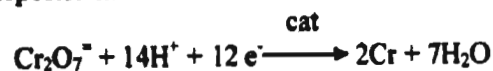
Este proceso de catalizador mezclado presenta las siguientes ventajas:

1. Cromado más rápido
2. Tiene mejor cobertura
3. Un ámbito más amplio de brillantez
4. Mayor tolerancia a las impurezas
5. Menos sensitivo a las interrupciones de corriente
6. Se puede depositar sobre superficies pasivas

El mecanismo de deposición electrolítica del cromo VI sigue las siguientes reacciones múltiples:



Reacción de deposición:



cat = catalizador, por ejemplo, sulfato SO_4^{2-} y/o fluorosilicato (SiF_6^{2-})

Reacciones colaterales:

$2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g) + \text{vapor} (\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}^{\text{VI}} + \text{H}_2\text{O})$. Esta reacción consume aproximadamente el 80 % de la energía disponible.

$2\text{Cr}^{3+} + 3\text{O}_2 + 6\text{e}^- \xrightarrow{\text{PbO}_2} 2\text{CrO}_3$; Esta reacción se cataliza por la capa de óxido de plomo (PbO_2) sobre el ánodo de plomo. Si se agrega como catalizador secundario el fluoruro, la relación en peso de $\text{CrO}_3 / \text{SO}_4^{=}$ que era de 100:1 se modifica requiriéndose de 170:1 a 210:1, con 190:1 como valor más típico.

Como la concentración de cromo se mantiene igual que en los baños convencionales, la concentración de sulfatos se debe de bajar.

2.3.4.8 Química del cromo III

Existe poca información por ser una tecnología relativamente nueva; En México son muy pocas las industrias que han intentado el cambiar de proceso de electrodepositado con base en el Cr III, en lugar del clásico Cr VI, debido a que aún se tienen problemas con el acabado mate que provoca el proceso de cromado que utiliza al cromo III, devaluándose la calidad del acabado en el caso del cromado decorativo.

Reacción de deposición:



Reacciones colaterales:



El cromo III se suministra como sales de cromo en forma de sulfatos o cloruros. Como las reacciones colaterales son perjudiciales a la buena marcha del proceso, existen 2 métodos para poder eliminar las reacciones colaterales y estos son:

1. Proceso de celda sencilla, donde se cuenta con un mecanismo para detener la reacción si llegara a ocurrir, y un aditivo para eliminar el cromo hexavalente.
2. Proceso de doble celda para la reacción colateral por aislamiento de cromo contenido en la solución del ánodo, colocando cada ánodo dentro de una caja con su propio electrolito libre de cromo.

A continuación la tabla 2.9 hace una comparación entre el cromo III y el cromo VI

Tabla 2.9 Comparación entre el cromo III y el cromo VI

	CROMO III	CROMO VI
1.- Poder de penetración	bueno	pobre
2.- Poder de cobertura	bueno	pobre
3.- Interrupciones de corriente	completamente tolerante	intolerante
4.- Facilidad en el enjuague	fácil	moderado
5.- Facilidad en el quemado de las piezas	muy difícil	fácil
6.- Color del depósito	acerado	blanco azulado
7.- Tratamiento de desechos	fácil	moderado
8.- Seguridad relativa	similar al Ni	similar a los cianuros
9.- Formación de neblina	casi eliminada	muy densa
10.- Olores	casi eliminados	fuertes y dañinos
11.- Remoción de impurezas	fácil	difícil

Fuente.- Snyder Donald L.; Decorative Chromium Plating; Atotech U.S.A. Inc.; Cleveland; Metal Finishing Special; Cleveland Ohio; pág. 205-211; June 1995.

En resumen, los baños de cromo III son una buena respuesta para reducir problemas de disposición de sus residuos, menor utilización de amperaje, mayor productividad (debido a que no quema, mayor poder de penetración, mejor cobertura, las partes a cromar se pueden colocar más juntas).

Según nos refieren Ullmans (1986) y Snyder (1995), uno de los problemas ya mencionados del cromo III es el color oscuro del depósito sobre la pieza de trabajo, comparado con el blanco azulado del proceso de cromo VI, aunque recientemente se ha desarrollado y patentado un proceso que produce depósitos de color muy parecido al del cromo hexavalente.

CAPITULO III

RECUPERACIÓN DE EFLUENTES EN PLANTAS DE CROMADO

3.1. INTRODUCCIÓN.-

La industria de la galvanostegia (nombre correcto pero poco utilizado, como se comentó en el capítulo II), comienza su gran auge en la década de los años cincuenta; desde entonces y hasta la década de los años setenta, el manejo de desechos de este tipo de industria, se enfocó principalmente sobre técnicas para remover los contaminantes más tóxicos de las aguas residuales. Los productos de estos procesos eran sales solubles en el efluente y lodos formados principalmente de compuestos metálicos y aguas duras.

A nivel internacional hubo un cambio fundamental iniciado por la aparición en los Estados Unidos de Norteamérica de leyes ambientales, como por ejemplo: La ley de recuperación y conservación de recursos (Resource Conservation Recovery Act) creada en 1976, en donde se legisló con especial énfasis en evitar la colocación de metales pesados y residuos de operaciones industriales en los sitios de disposición de desechos, esto se tradujo en una fuerte presión para los industriales del ramo por minimizar el entierro de lodos metálicos.

La ley de prevención contra la contaminación (Pollution Prevention Act) de 1990, establece la reducción de fuentes contaminantes como una prioridad, con el reciclado como una segunda alternativa proporcionando las bases legislativas para implementar esta política.

El interés sobre las sustancias tóxicas se ha incrementado desde la aparición de la ley de enmiendas y reautorización del superfondo (Superfund Ammendments and Reauthorization Act = SARA), reportando un inventario de la cantidad y localización de sustancias peligrosas que se utilicen.

El público ha sido sensibilizado con relación a los compuestos tóxicos y la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (Environmental Protection Agency) ha enfocado su investigación sobre la reducción en la liberación de tóxicos al medio.

Existe un proyecto sobre compuestos tóxicos industriales (Industrial Toxics Project) el cual tiene como punto principal, la reducción en la liberación de 17 productos químicos incluidos en el Inventario de Liberación de sustancias Tóxicas (Toxics Release Inventory = TRI). Esta reducción ha sido del 33% en 1992 y un 50% en 1995. Entre estos 17 compuestos tóxicos están los cianuros (CN⁻) y 5 metales pesados cadmio, cromo, plomo, mercurio y níquel.

En México ya existe una serie de normas y proyectos de norma (de las que se hablará en el siguiente capítulo).

Adicionalmente las pruebas de toxicidad de efluentes se utilizan más a menudo, como un indicador de la adecuación de las aguas residuales industriales para descarga.

La presión para minimizar los residuos que se depositan en los rellenos sanitarios y el incremento en la preocupación sobre las sales solubles, dan por resultado que las principales prioridades según Steward (1995), sean:

- 1.- La reducción del consumo de productos químicos en cada operación de recubrimiento o acabado metálico.
- 2.- Sustitución de baños electrolíticos por procesos más eficientes.
- 3.- Reducción de las pérdidas por arrastre de los productos químicos en los enjuagues.
- 4.- Procesos de control más severos.
- 5.- Minimizar los desperdicios en los procesos de recubrimiento.
- 6.- Reducir en lo posible los derrames en el piso.

Las tecnologías de recuperación que se tratarán en este capítulo están enfocadas sobre las aguas de enjuague, debido a que son las que en primer lugar salen del flujo de operación y necesitan tratamientos de desecho más caros y sofisticados.

Los sistemas de suministro de circulación de agua en plantas de cromado requieren de constante remoción de sales, localizadas en los efluentes del cobrizado, niquelado y cromado.

Las alternativas de procesos de desalinización incluyen: intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, evaporación y electrólisis las que se tratarán más adelante.

Los efluentes del cromado se clasifican normalmente en 3 grupos, estos son:

- a) Efluentes de cromo, pasivación y baños similares que contengan de 120 a 180 mg/l de cromatos (CrO_4^{2-}) equivalentes a Cr^{6+} a un pH entre 2 y 6.
- b) Efluentes de cianuros alcalinos, provenientes del baño de cianuro de cobre en donde los enjuagues contienen de 5 - 30 mg/l de CN^- a un pH entre 7 y 9.
- c) Enjuagues ácidos y alcalinos de todos los baños del proceso (Ni, Cu, desengrase, decapado) combinados.

Según Grebenyuk (1989), estos enjuagues contienen iones metálicos pesados, junto con ácidos, álcalis, sales de metales pesados, surfactantes (sustancia química que disminuye la tensión superficial, por ej. jabón o detergente) aminoras y aditivos abrillantadores, estos últimos constituyen del 80 - 90% del volumen total de los efluentes de las plantas de cromado con un pH de 10 - 12 para los alcalinos, o un pH = 2 - 5 para los ácidos.

Aunque es muy relativa una clasificación de los procesos de purificación de los efluentes, (considerando por ejemplo al intercambio iónico como tratamiento químico o físico al ajustarse a los siguientes criterios) se pueden clasificar como:

I.- Químicos.- En donde existen reacciones visibles a simple vista entre subproductos o entre materias primas específicas para este tipo de tratamientos y los subproductos del proceso, siendo éstos:

- Oxidación-reducción
- Precipitación
- Proceso de reducción electroquímica.

II.- Físicos.- En los que no se agregan sustancias específicas para remoción en cantidades apreciables y éstos se dividen en:

- Electrodiálisis
- Electrólisis
- Evaporadores atmosféricos y al vacío.
- Ósmosis inversa
- Intercambio iónico.

A continuación se mencionan las características de los procesos más importantes.

3.2.-TRATAMIENTOS QUÍMICOS. OXIDACIÓN/REDUCCIÓN - PRECIPITACIÓN.

Los procesos de purificación que más se utilizan son los de tipo reactivo que se agregan al efluente (hidróxidos, agentes oxidantes y/o reductores) produciendo compuestos de baja solubilidad, fáciles de remover de la fase líquida.

Como Tharp (1989) nos refiere, de acuerdo al grado de peligrosidad que presentan los efluentes y comenzando por el de menor grado se menciona en primer lugar el tratamiento de las aguas residuales del niquelado.

3.2.1.- Niquelado.- Sus enjuagues que contienen gran cantidad de materia orgánica, se concentran y mezclan con carbonato de sodio (Na_2CO_3) en solución acuosa o sosa cáustica (NaOH) para dar un $\text{pH} = 8 - 9$. La suspensión resultante se calienta a 40°C y se agita, el sedimento se lava con agua caliente y se deseca a un porcentaje menor al 35% de agua y se disuelve con ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluido.

El producto es una solución que contiene de 65 -75 g/l de Ni^{2+} y menos de 4×10^{-3} de materia orgánica el cual se recicla a través de las instalaciones de niquelado.

También se han trabajado otras posibilidades como son: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO , MgO , Al_2O_3 , y/o Na_2CO_3 , Na_2S , así como oxidar el níquel mediante KMnO_4 .

3.2.2.- Cromado.- Las sustancias que contienen cromo, se deben tratar antes de disponerlos. Según Mcketta (1983) y Tharp (1989), el Cr^{6+} se reduce a Cr^{3+} de las siguientes formas:

Tratamientos Químicos Convencionales

- 1.- Reducción de Cr^{6+} mediante la adición de Bisulfito de Sodio (NaHSO_3)
 $6 \text{NaHSO}_3 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 + 4 \text{H}_2\text{CrO}_4 \longrightarrow 2 \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3 \text{Na}_2\text{SO}_4 + 10 \text{H}_2\text{O}$
- 2.- Reducción de Cr^{6+} mediante la adición de Sulfito de Sodio (Na_2SO_3)
 $3 \text{Na}_2\text{SO}_3 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{CrO}_4 \longrightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3 \text{Na}_2\text{SO}_4 + 5 \text{H}_2\text{O}$
- 3.- Reducción de Cr^{6+} agregando sales de Hierro Ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
 $6 \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + 6 \text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{CrO}_4 \longrightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 50 \text{H}_2\text{O}$
- 4.- Reducción de Cr^{6+} mediante la adición de Dióxido de Azufre gaseoso (SO_2)
 $3 \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{CrO}_4 \longrightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- 5.- Precipitación de Cr III utilizando sosa cáustica (NaOH)
 $6 \text{NaOH} + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \longrightarrow 2 \text{Cr}(\text{OH})_3 + 3 \text{Na}_2\text{SO}_4$
- 6.- Precipitación de Cr III utilizando cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
 $3 \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \longrightarrow 2 \text{Cr}(\text{OH})_3 + 3 \text{CaSO}_4$

En las primeras 4 ecuaciones se muestran los métodos para reducir el Cr^{6+} y las últimas 2 muestran como se precipita el Cr III en la forma de hidróxido. Las fórmulas permiten determinar estequiométricamente la cantidad de lodos que produce cada tratamiento.

Con pruebas de tratabilidad se determina la combinación de productos químicos que permite cumplir con la normatividad oficial respecto a los efluentes y además cual produce la menor cantidad de desechos peligrosos, según se observa en la tabla número 3.1.

Tabla N° 3.1 Productos químicos utilizados y lodos producidos en libras (Kg) al tratar 100 lb (45.4 Kg) de H_2CrO_4

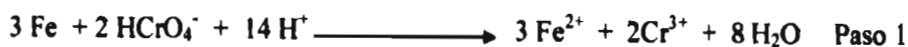
REDUCCION DE CROMO :	META BISULFITO DE SODIO	BISULFITO DE SODIO	SULFITO DE SODIO	HIDRO SULFITO DE SODIO *	DIÓXIDO DE AZUFRE *	SULFATO FERROSO
Agentes reduc.	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (97%)	NaHSO_3	Na_2SO_3	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	SO_2	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
	147 (67)	156 (71)	189 (86)	261 (118)	96 (44)	834 (379)
H_2SO_4	80 (36)	80 (36)	160 (72)	-----	-----	316 (143)
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	111 (50)	111 (50)	111 (50)	-----	111 (50)	444 (200)
Na_2CO_3	159 (72)	159 (72)	159 (72)	-----	159 (72)	631 (286)
NaOH	120 (54)	120 (54)	120 (54)	120 (54)	120 (54)	480 (216)
Lodos Formado:						
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	307 (139)	307 (139)	307 (139)	-----	307 (139)	1346 (611)
NaOH	103 (47)	103 (47)	103 (47)	103 (47)	103 (47)	423 (192)
Na_2CO_3	103 (47)	103 (47)	103 (47)	-----	103 (47)	423 (192)

* = no requieren de H_2SO_4 para reducir al H_2CrO_4 .

Fuente: Philipp C.T. "Wastewater Treatment". Enviroscience Inc. Metal Finish special; Hot Springs, Arizona; pag. 736; 1995.

3.2.3.- Tratamientos de reducción de innovación.- A continuación de acuerdo a Bowers (1992), se mencionan una selección de los tratamientos, que se han experimentado con éxito en Estados Unidos de Norteamérica.

3.2.3.1 .- Reducción de Cr⁶⁺ mediante limadura de hierro.- La limadura de hierro ha sido exitosamente utilizada como agente reductor del Cr⁶⁺ en solución ácida, según las reacciones:



El costo de las materias primas utilizando este proceso es sustancialmente menor, que con los agentes convencionales de reducción como se puede observar en la tabla 3.2.

Tabla N° 3.2 Características pertinentes de varios esquemas de Reducción - Precipitación para el Cr⁶⁺

AGENTE REDUCTOR	PRODUCCIÓN EXCESIVA DE LODOS	CONDICIONES BENÉFICAS	MANEJO PELIGROSO	
FeS	si	si	1	Escala de 0 a 3 de acuerdo con la escala de peligros tóxicos agudos, donde 0 = no peligroso 3 = altamente peligroso
FeSO ₄ ·7H ₂ O	si	si	1	
NaHSO ₃	no	no	2	
SO ₂	no	no	3	
Fe	si ^a	si	0	

^a = produce menos lodos que el FeSO₄·7H₂O

Fuente: Bowers Alan R. et al. "Iron process for treatment of Cr⁶⁺ Wastewaters". Metal Finishing; Nashville Tennessee; pag. 41 Nov. 1992.

Este proceso es benéfico cuando el exceso en la producción de lodos, no contribuye significativamente en el costo total en el costo de disposición de lodos.

Investigaciones llevadas a cabo por la compañía Sulzer (de origen suizo) nos muestran que utilizando sales de Fe III como floculante en una concentración de 5 g/m³ a un valor de pH = 6.5 - 7 se obtiene una precipitación de 90% o más de Cr³⁺ y Pb mientras que pocos cambios se obtuvieron en la concentración de Cr⁶⁺ y Ba.

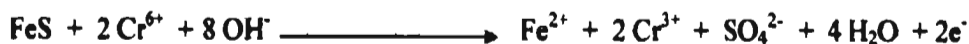
Modificando el pH de 7.5- 8.5 y volviendo a agregar 5 g/m³ de Fe³⁺ mejoró la precipitación de otros metales como Ag, Cd y Hg pero no de Cr⁶⁺.

Como menciona Ginocchio (1992), cuando se utilizan las propiedades reductoras del FeSO₄, en donde de nuevo la concentración es de 5 g/m³, a este mismo pH se logra una precipitación de más del 95% de Cr⁶⁺.

3.2.3.2.- Precipitación de Cr⁶⁺ mediante una mezcla de FeSO₄ (90%) y Na₂S (10%).- De acuerdo con Aldrich (1994), en esta reacción conocida como "al 10 %" (de Na₂S) es una reacción alcalina en la que se produce el sulfuro ferroso inmediatamente.



y su reacción frente al cromo sería:



En esta reacción se liberan 8 electrones (e⁻) de cada ion sulfuro, se reduce el volumen de lodos por encima del 75%, comparado con otras reacciones donde interviene el ion ferroso, trabajando a un pH = 8. Además se economiza también, porque la adición de bases y ácidos para ajustar el pH están casi eliminadas.

Esto podría significar un 90% de ahorros en el costo de tratamiento químico, comparado con la continua disminución de corriente de desechos a niveles ácidos de pH para reducir al cromo y el aumento de pH para poder precipitarlo. Este es un tratamiento adecuado para un pulido final, más que para remoción total.

3.2.3.3.- Precipitación de Cr⁶⁺ con (NH₄)₂SO₄.- Otro ejemplo de reducción de Cr⁶⁺ a Cr³⁺ nos lo muestra Jacobs (1992), mediante el uso de sulfato de amonio, teniendo la ventaja de trabajar a un pH = 11 con este (NH₄)₂SO₄, aún con materiales contaminados hasta con 6000 mg/kg de Cr⁶⁺ evitando también la neutralización por exceso de acidez que ocurre con otras materias primas.

En adición a los anteriores existen otros tratamientos o procesos disponibles que pueden presentar beneficios como por ejemplo:

3.2.3.4.- Precipitación de Cr⁶⁺ con bario.- Como desventajas se observa, que es un proceso patentado, altos costos del Ba, lodos tóxicos que pueden presentarse con el Ba en el efluente final.

3.2.3.5.- Proceso electroquímico.- Consume electrodos de hierro que generan iones ferrosos los que causan la reducción de Cr⁶⁺ a Cr³⁺.

El proceso es efectivo pero los costos de instalación son mayores que en los tratamientos clásicos cuando las concentraciones de cromo se exceden de 5 ppm.

3.2.4.- Oxidación de cianuros (CN⁻)

3.2.4.1.- Oxidación electrolítica.- Adecuada para efluentes con concentraciones por arriba de 500 ppm. lográndose reducir por ejemplo para el caso de los cianuros por debajo de 1 ppm

3.2.4.2.- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)/formaldehído (HCHO).- Costo competitivo con la clásica cloración alcalina. La solución debe ser calentada a 54 °C produciendo amoníaco.

3.2.4.3.- Ozono (O₃)- Costos de capital por la compra del equipo de ozonación. Los daños potenciales ocasionados por compuestos de cloro se eliminan.

La solución debe ventilarse para liberar los gases, que de otra forma causarían problemas de sedimentación en el clarificador.

3.2.4.4.- Acidificación directa.- Tanto los ácidos gastados como los ácidos frescos se utilizan en un recipiente de reacción cerrado para producir cianuro de hidrógeno (gas).

El gas se colecta en un sistema separador de gases cáusticos para producir cianuro de sodio (NaCN), por lo que es un proceso peligroso.

3.2.4.5.- Neutralización.- Sosa cáustica (NaOH), cal apagada = Ca(OH)₂, carbonato de sodio (Na₂CO₃), hidróxido de magnesio = Mg(OH)₂, son agentes alcalinos adecuados para controlar el pH.

De acuerdo a Mcketta (1983), la selección de los reactivos químicos para tratamiento debe basarse en los costos, requerimientos de uso, facilidad de manejo y producción de lodos.

Los sulfuros son ventajosos para la remoción de cromo, debido a que el precipitado tiene una baja solubilidad y la operación adicional de reducción de Cr⁶⁺ a Cr³⁺, no es necesaria (debido a que el sulfuro ferroso reduce al cromo), el costo de los reactivos es más alto y con mayor producción de lodos.

A continuación en la tabla 3.3 se dan una serie de parámetros importantes para tratamientos químicos convencionales, o clásicos que apropiadamente manejados son adecuados para enfrentar las regulaciones federales.

Tabla N° 3.3 Tratamientos químicos clásicos

MÉTODO DE TRATAMIENTO	PRODUCTO QUÍMICO	POT. H	TIEMPO DE REACCIÓN (MIN)	RELACIÓN DE USO 1 = H ₂ CrO ₄	COMENTARIOS
I.- Reducción de Cr ⁶⁺	Na ₂ S ₂ O ₄	3-3.5	30	1.5:1	tiempo de reac. depende del pH
(método ácido)	SO ₂	3-3.5	30	1:1	"
	FeSO ₄ ·7H ₂ O	3-3.5	30	8:1	"
II.- Oxidación de Cianuros					
A.- de CN ⁻ a CON ⁻	gas Cloro	>11	60	3.5:1	pH>11 crítico para prevenir gas tóxico
	NaClO al 15 %	>11	60	3.5:1	"
	Ca(ClO) ₂	8.5	60	3.5:1	"
B.- de CON ⁻ a CO ₂ y N ₂	gas Cloro	8.5	60	5:1	Tiempo de reacción depende del pH
	NaClO al 15 %	8.5	60	5:1	"
	Ca(ClO) ₂	8.5	60	5:1	"
III.- Precip. de metales					
A.-Hidróxidos	Ca(OH) ₂	7-10	30	variable	pH depende del metal a remover
	NaOH	7-10	30	"	"
B.- Sulfuros	FeS/Na ₂ S	8-9	20	5:1	pulido después de pp. con OH ⁻
C.- Carbonatos	Na ₂ CO ₃	varía	30	varía	útil para remover Pb, Cd y Ni
D.- Xantato	R-O-CS ₂ -Na	> 7	rápido	5-10 :1	pulido después de pp. con OH ⁻

Fuente: Philipp C.T.; "Wastewater Treatment" Metal Finishing Special; Hot Springs, Arizona; pag 738; 1995.

3.3.- MÉTODOS FÍSICOS

3.3.1.- Electrodialisis

3.3.1.1.- Principio de operación.- Esta tecnología se aplica al mantenimiento de soluciones de ácido crómico, tanto de procesos de Cr decorativo como de Cr duro y compete con el sistema de intercambio iónico, también se le conoce como electrólisis de membrana.

Se utiliza una membrana específica para iones, una corriente eléctrica se pasa a través de electrolitos separados por la membrana específica de iones, ocurriendo 2 tipos de reacciones:

- a) Los iones de una especie dada se manejan eléctricamente a través de una membrana selectiva.
- b) Ocurren cambios químicos en los electrodos.

Su función principal cuando se aplica como una tecnología para mantener los baños, es disminuir o mantener en un nivel aceptable la concentración de impurezas metálicas, en soluciones de recubrimiento electrolítico.

Esto se alcanza a través del uso de una membrana de intercambio iónico y un potencial eléctrico aplicado a la membrana, la cual es permeable y selectiva a iones de carga eléctrica determinada, permitiendo que la atraviesen.

Las membranas catiónicas permiten solo el paso de cationes como: Cu, Ni, o Al pasar de un electrolito a otro, mientras la membrana aniónica solo permite el que aniones como SO_4^{2-} , CrO_4^{2-} , Cl^- o CN^- la atraviesen.

Durante el recubrimiento el Cr^{6+} , se reduce a cromo metálico, sobre la superficie del cátodo, sin embargo algo de Cr^{6+} se reduce de manera incompleta a Cr^{3+} , simultáneamente Cr^{3+} se oxida en el ánodo a Cr^{6+} .

3.3.1.2.- Antecedentes.- De acuerdo con Cushnie (1994), la electrodiálisis es la más reciente tecnología aplicada al mantenimiento o purificación de las tinas de proceso de recubrimiento electrolítico.

Aunque el fenómeno de electrotransporte a través de la membrana fue observado hacia el final del siglo pasado, no alcanzó ninguna aplicación comercial, hasta que una membrana más durable, se desarrolló por el año de 1950, después a mediados de la década de los 70's se hizo un primer intento para recuperar reactivos químicos a partir de enjuagues, lográndose el primer éxito comercial en la recuperación de níquel.

El uso de electrodiálisis para mantenimiento de baños de recubrimiento se aceleró a mediados de los 80's, al aparecer la membrana Nafion (marca registrada) para la purificación de baños de cromo duro.

3.3.1.3.- Características de operación.- La electrodiálisis utiliza una pila de membranas de intercambio iónico a través de las cuales, el material iónico se transporta selectivamente con la conducción de la fuerza proporcionada por un voltaje impuesto sobre los electrodos en los 2 extremos de la pila, mediante un rectificador, por ejemplo debido al potencial eléctrico aplicado a través de la pila de membranas, los cationes (Ni^{2+}) en solución migran hacia el cátodo y los aniones (SO_4^{2-} o Cl^-) hacia el ánodo.

Cuando un catión encuentra una membrana catiónica selectiva, pasa a través de ella y continúa su migración, deteniendo su viaje cuando encuentran una membrana aniónica selectiva al no poderla atravesar, permanecerán en este compartimento.

El material iónico se saca fuera de una corriente relativamente diluida (como por ejemplo el enjuague de recuperación) y se acumula en una corriente muy concentrada, la cual se puede retomar al proceso o también recuperarla como se puede observar en la figura 3.1.

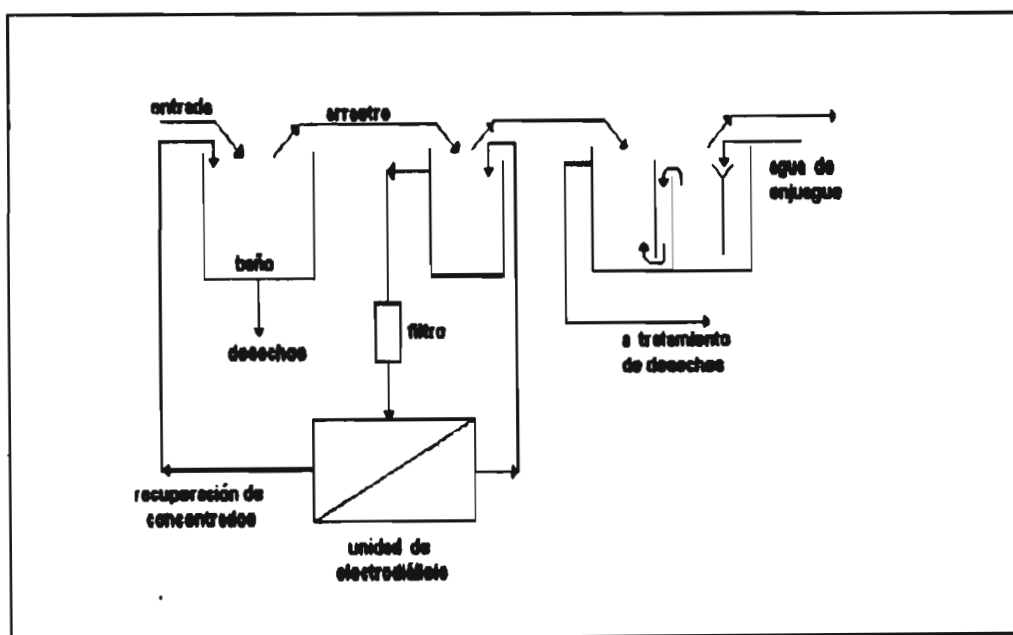


Fig. 3.1 Esquema de un proceso que incluye electrodiálisis

Fuente: Cushnie George C. "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations"; ed. National Center for Manufacturing Sciences; Ann Arbor, Michigan; pag. 138; 1994.

3.3.1.4.- Aspectos Positivos.- Bajo consumo de energía, la habilidad para producir una corriente altamente concentrada de recuperación y el hecho de que únicamente materiales iónicos se recuperen, así que muchas impurezas indeseables se retardan y rechazan, además el consumo de energía por unidad de volumen de agua purificada es menor al 10% que el asociado con el uso de métodos químicos.

3.3.1.5.- Aspectos negativos.- Es un proceso de membrana que requiere de cuidados en la operación y mantenimiento periódicos para evitar daños en la pila de membranas, la cual es generalmente reacondicionada por el fabricante.

Las unidades de electrodiálisis como la que se observa en la fig 3.2 están recuperando exitosamente níquel donde compite, con tecnologías como las de evaporación y la de intercambio iónico.

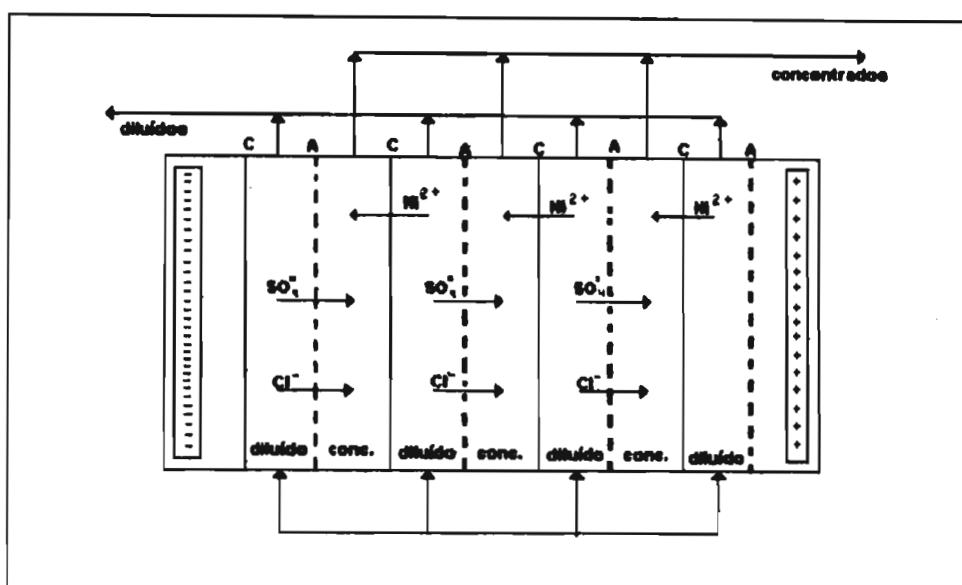


Fig. 3.2 Diagrama de un proceso de electrodiálisis para recuperación de níquel.

Fuente: Cushnie Gorgede N^o "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations"; ed. National Center for Manufacturing Science; Ann Arbor, Michigan; pág.138; 1994.

Haciendo referencia a Grebenyuk (1989), la efectividad de la electrodiálisis depende de la densidad de corriente, la naturaleza y concentración de los solutos, el diseño de equipo y la posibilidad de formar compuestos de baja solubilidad depositados sobre la superficie de la membrana.

3.3.1.6. Costos.- Los costos de una unidad de electrodiálisis están relacionados principalmente con las dimensiones de la pila de membranas.

La siguiente gráfica muestra áreas de membrana típicas para diferentes aplicaciones, en términos de los galones por hora arrastrados en los enjuagues.

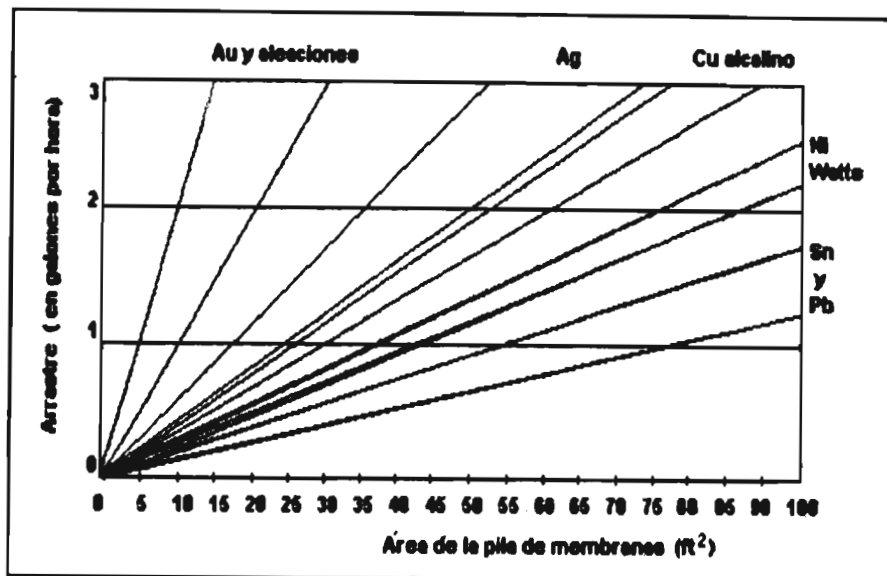


Fig. 3.3 Requerimientos de membrana para electrodiálisis basados sobre la velocidad de arrastre para los recubrimientos electrolíticos más comunes

Fuente: Cushnie George C. "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations"; ed. Nat. Center for Manufacturing Sciences; Ann Arbor, Michigan; Pág. 141; 1994.

Con respecto a los costos de capital basados en una corriente de alimentación que contiene niveles típicos de concentración de unos 225 g/l de metal disuelto.

Los costos de operación que incluyen mano de obra de operación y mantenimiento, energía eléctrica más el costo por el reemplazo de membrana, se ha calculado entre un 15 % - 30 % de los costos de inversión, como se podrá observar en la figura 3.4.

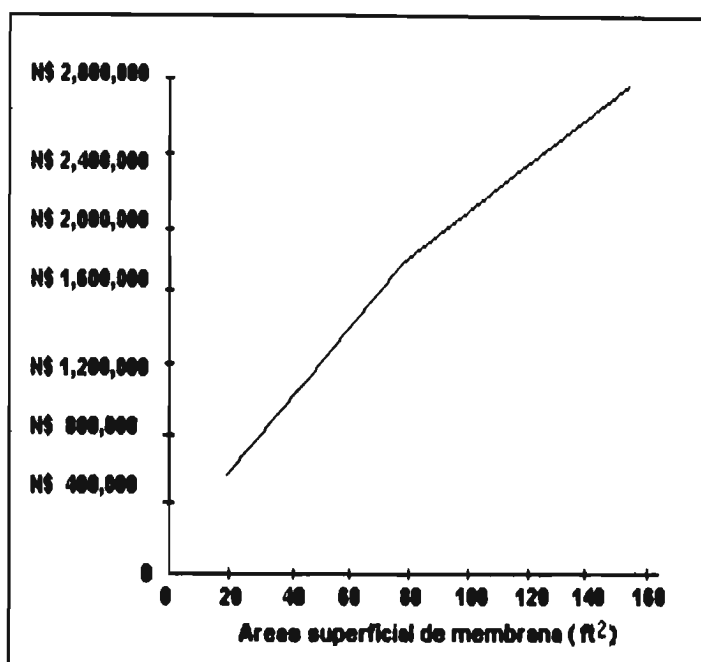


Fig 3.4. Costos de capital para unidades de recuperación por electrodiálisis aplicadas a la recuperación de metales provenientes de las tinas de enjuague.

Fuente: Cushnie George; "Pollution Prevention and Control Technology"; ed. National Center for Manufacturing Sciences; Ann Arbor, Michigan; pág. 142, 1994.

3.3.1.7.- Generación de Residuos.- Cuando se aplica la electrodiálisis como una tecnología de recuperación, en los enjuagues de recubrimiento electrolítico se producen 2 efluentes de la unidad: una corriente concentrada que se recicla al baño y una corriente diluida que se reusa como enjuague o se descarga para tratamiento. Se recupera un 95% en promedio de los reactivos químicos arrastrados a los enjuagues.

3.3.2.- Electrólisis

La electrólisis y la evaporación atmosférica, son los dos métodos más utilizados para la recuperación de metales en la industria del recubrimiento.

Existen muchos incentivos para recuperar metales de las soluciones de desecho y para alcanzar estos incentivos, se han establecido muchos métodos de recuperación, siendo el valor intrínseco de cada metal, la razón más importante para su recuperación.

Los grandes ahorros en los costos por la compra inicial de muchos metales deberían ser razón suficiente para garantizar un sistema de recuperación.

3.3.2.1.- Principio de Operación.- La unidad básica de la tecnología de la electrólisis, es la celda electrolítica, formada por 2 electrodos, colocados en una solución que contiene iones, donde ocurre un movimiento de los mismos hacia los electrodos cargados.

Los metales disueltos en el electrolito se reducen y depositan sobre el cátodo. El metal depositado se remueve por raspado mecánico o por medios químicos.

La electrólisis es la técnica electroquímica más simple dirigida a los 2 criterios de reciclado y concentración de desechos.

La principal ventaja de ésta técnica es la remoción del metal, de su fuente en la forma más concentrada.

3.3.2.2.- Antecedentes.- La electrólisis se presume que es uno de los primeros métodos de recuperación, de metales utilizados en la industria del recubrimiento y su uso es anterior a la década de los 60's.

3.3.2.3.- Características de operación.- Las reacciones químicas que ocurren en el ánodo, son oxidaciones y consecuentemente en el cátodo se dan reducciones.

La solución se conoce como electrolito.

Cuando una corriente directa se aplica a la celda, los aniones presentes en el electrolito migran hacia el ánodo y los cationes hacia el electrodo negativo.

Las condiciones de operación de la electrólisis permiten, tratar a los aditivos orgánicos en el ánodo mientras ocurre la recuperación metálica en el cátodo.

Para destruir cianuros (CN⁻), se realiza mediante la oxidación de agentes acomplejantes metálicos, (tipo de compuesto que forma enlace covalente coordinado con el metal), por ejemplo:



Una primera aplicación de la electrólisis como un complemento a las técnicas de tratamiento de aguas, sería en estaciones de neutralización, como se observa en la figura 3.5.

El lodo de los hidróxidos metálicos se disuelve en H₂SO₄ antes de la electrólisis, la recuperación metálica se puede reciclar y la descarga de productos tóxicos se elimina.

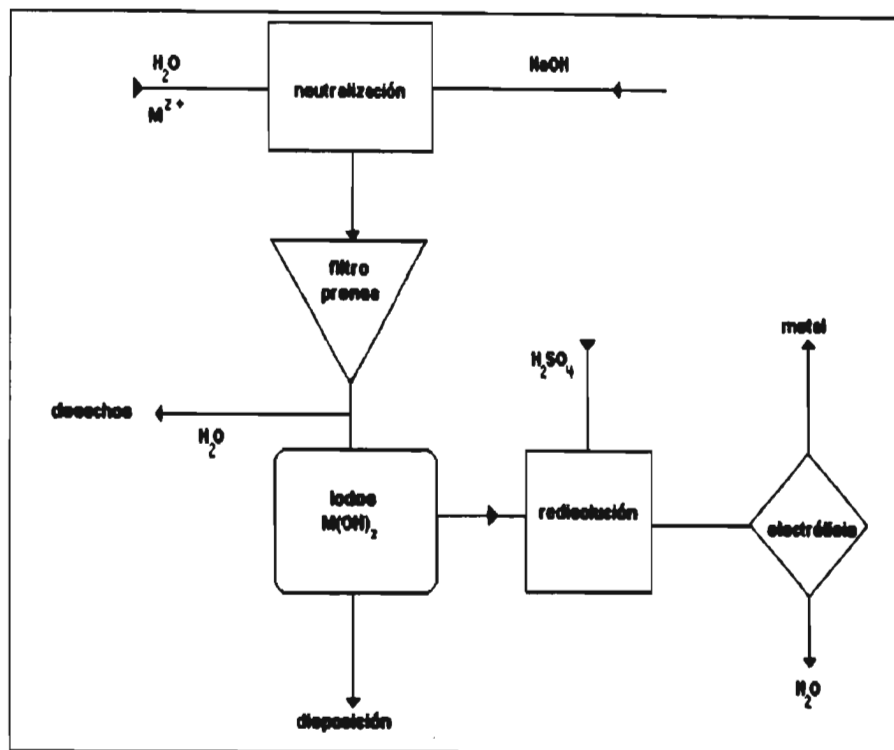


Fig.3.5 Esquema de pretratamiento para neutralización

Fuente: Wiaux J.P. and Nguyen T. "Recovered value from Electroplating Industry". Metal Finishing pág. 86; Switzerland; Jun. 1990.

Cuando la estación de pretratamiento está equipada con una resina de intercambio iónico, la producción de lodos es inevitable, pero existe la ventaja de combinar con el intercambio iónico ya que se trata el efluente para recuperar el metal y para evitar la producción de hidróxidos de metales pesados.

Cuando una solución de Ni se electroliza en una celda, el rendimiento de la electrólisis disminuye conforme la concentración decrece por debajo de 500 ppm, por ésta razón los sistemas de electrólisis más avanzados contienen una gran área superficial, o cátodos reticulados que ofrecen la ventaja de incrementar el rendimiento electrolítico, aún en bajas concentraciones de metal.

A mayor concentración existe una mayor eficiencia de remoción, por ejemplo:
 Ni = [20 g/l] Eficiencia = 60 %; Ni = [15 g/l] Eficiencia = 50 %; Ni = [10 g/l] Ef. = 30 %.

La electrólisis se puede aplicar en las proximidades de la fuente de emisión de metales.

A continuación en la tabla N° 3.4 se mencionan las ventajas más importantes al utilizar la electrólisis.

Tabla 3.4 Efectos de la recuperación electrolítica

OPERACIÓN	IMPACTO
Primer enjuague estático	1.- Recuperación electrolítica de los metales en su fuente.
	2.- Mejoría en la calidad y duración del enjuague.
	3.- Reducción en el uso del agua y mantenimiento.
Enjuagues en cascada	1.- Mejoría en la eficiencia
	2.- Reducción en la cantidad de resina de int. iónico.
	3.- Regeneración menos frecuente.
	4.- Reducción de agentes químicos y costos laborales.
Estación de pretratamiento	1.- Reducción en el manejo y transportación.
	2.- Reducción en los costos asociados.
	3.- Reducción en el volumen de los lodos.

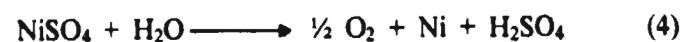
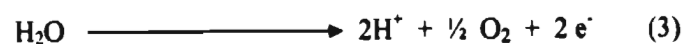
Fuente: Wiaux and T: Nguyen "Recovered value from Electroplating Industry Waste". Metal Finishing pág. 90 Switzerland , June 1990.

Todo lo anterior se observará en forma esquemática en la figura 3.6.

En el ejemplo de recuperación de níquel, las reacciones que gobiernan las etapas de disolución son:



electrólisis



Según Philipp (1995), el tratamiento de efluentes deberá analizarse en el futuro, con el objeto de maximizar el reciclado en la forma más aceptable, no solo desde el punto de vista

económico sino desde la perspectiva de manejar la minimización, almacenamiento, producción y transporte de la menor cantidad de desechos tóxicos.

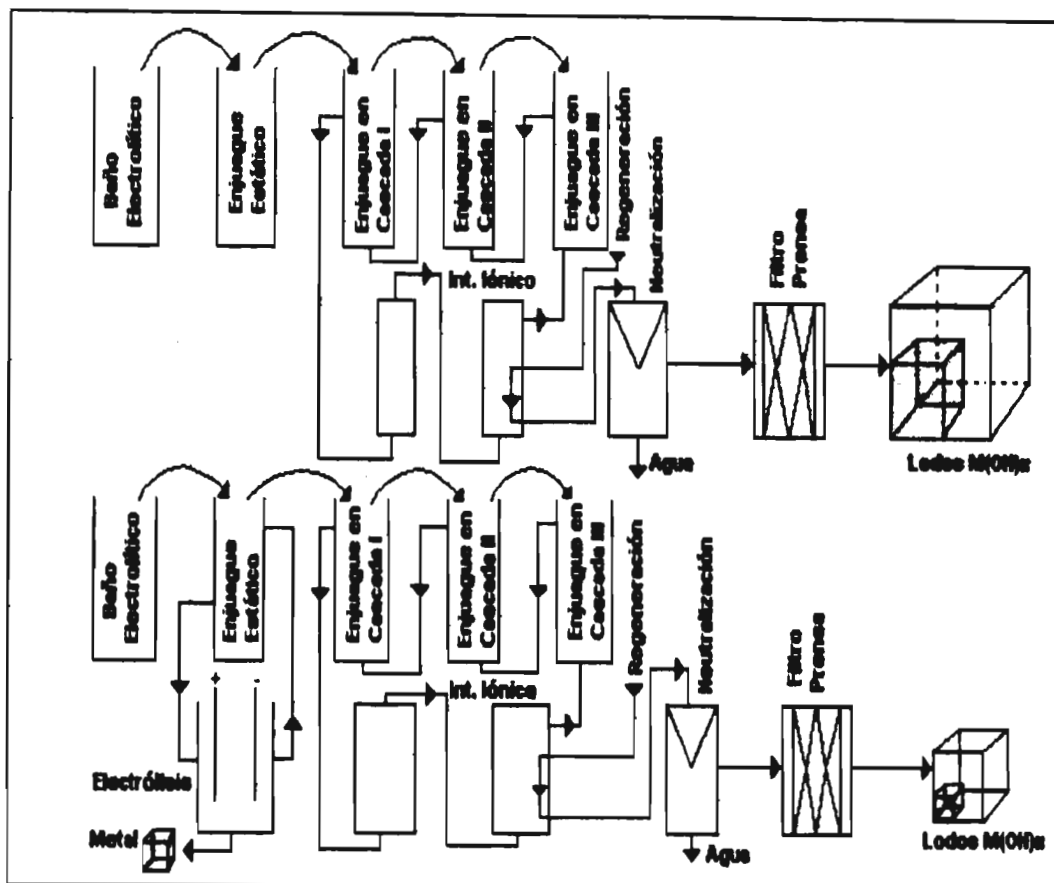


Figura 3.6 Esquema que ilustra la influencia de la electrólisis sobre la producción de lodos.

Fuente: Wiaux J.P. and Nguyen T. "Recovered Value from Electroplating Industry Waste" Metal Finishing pág. 88 Switzerland, 1992.

3.3.2.4.- Costos.- Con referencia a Cushnie (1994), los requerimientos de capacidad para un equipo de electrólisis convencional, depende principalmente de la cantidad de metal a recuperarse y la velocidad de deposición del metal.

Los factores que influyen en la velocidad de deposición del metal son:

a) Tipo y área de electrodo.

- b) Velocidad de agitación
- c) Química de la solución
- d) Variables eléctricas
- e) Temperatura

La construcción del ánodo y del cátodo impactarán significativamente el costo de una unidad de electrólisis.

A continuación se observa en la figura 3.7, los costos de capital del equipo de acuerdo a su capacidad eléctrica en Amperios.

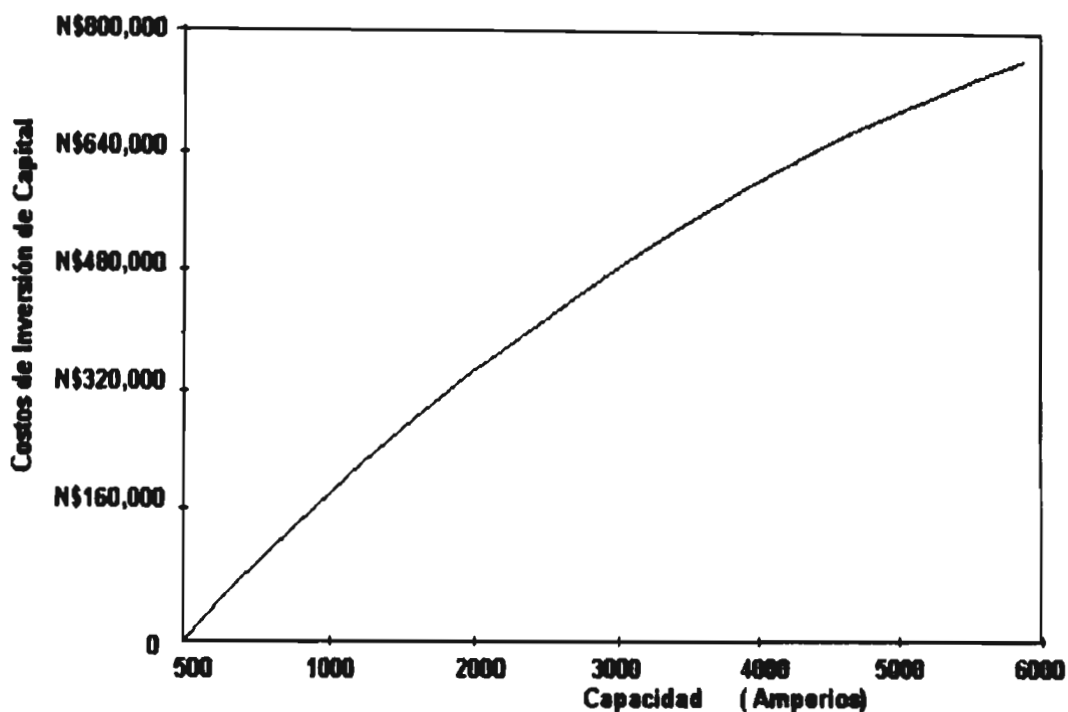


Figura 3.7 Costos de capital de inversión para unidades de electrólisis

Fuente: Cushnie George C: "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations. De. National Center for Manufacturing Sciences . pág. 131; Ann Arbor Michigan, 1994.

Además, los costos para ésta tecnología como se muestran en la figura 3.8, se observa que ésta, no requiere de mucha mano de obra.

Otros establecimientos describen su depósito, como un metal esponjoso en lugar de láminas, el cual se vende como pedacería metálica al 50% del valor promedio del metal puro.

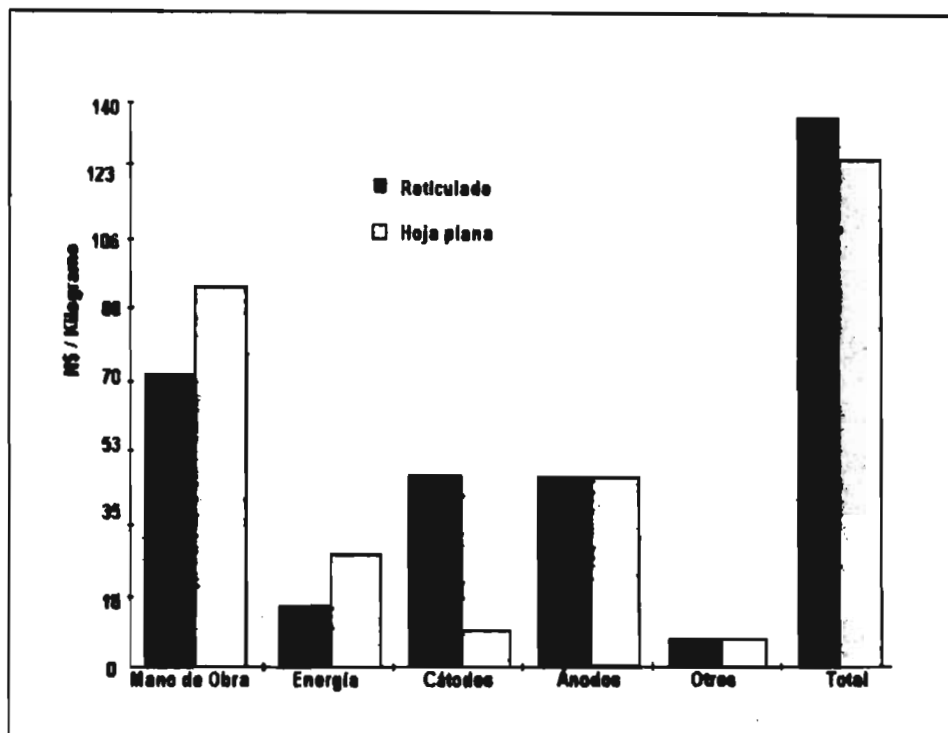


Figura 3.8.- Costos de operación y mantenimiento para equipo de electrólisis.

Fuente: Cushnie George C. "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations"; pág. 132; Ann Arbor, Michigan, 1994.

3.3.3.- Evaporadores atmosféricos

3.3.3.1.- Principio de operación.- Un evaporador atmosférico es un aparato que evapora agua a la atmósfera, es el método más antiguo para la recuperación de reactivos químicos de los enjuagues de recubrimientos electrolíticos.

La mayoría de los evaporadores comerciales, para alcanzar una recuperación química, trabajan sobre las soluciones que provienen de un tanque de recubrimiento calentado, las que se alimentan a un evaporador para que se concentren y retornen al tanque de recubrimiento electrolítico.

Como comenta Sawyer (1992), a menudo se utilizan más de un evaporador, manejándose como estaciones de recuperación de enjuagues, para incrementar la velocidad de recuperación de los reactivos químicos.

3.3.3.2.- Antecedentes.- El uso de recuperadores de enjuagues (evaporadores) en la industria de la galvanostegia, fue documentado hace más de 50 años.

La mayoría de los primeros evaporadores eran del tipo de operación al vacío.

Con relación a lo comentado por Cushnie (1994), existían grandes unidades con capacidades de 400 a 600 gph (1500 a 2300 lph), debido a que la conservación del agua y el control de la contaminación eran menos importantes en aquel tiempo, dando como resultado altas velocidades de flujo, además el costo de la energía era menor y por lo tanto había menos incentivos para minimizar flujos previos a la evaporación.

En 1974 con el rápido incremento de los costos de energía, comenzó un movimiento para disminuir las dimensiones de los sistemas de recuperación.

A la par con los controles gubernamentales para disminuir la contaminación promulgados en los Estados Unidos de Norteamérica en 1979, los establecimientos de recubrimiento electrolítico cambiaron a los pequeños y baratos evaporadores atmosféricos, para recuperar reactivos químicos y ha continuado su compra hasta nuestros días.

3.3.3.3.- Características de operación.- Los evaporadores atmosféricos comerciales, utilizados para recuperación en la galvanostegia, consisten de una bomba para mover la solución, un ventilador, una fuente de calor, una cámara de evaporación en la cual la solución y el aire se mezclan y un eliminador de neblina para remover cualquier líquido que esté aún presente a la salida de la corriente de aire.

La cámara de evaporación se rellena normalmente con material de empaque o con paneles finos para incrementar el contacto del aire con el agua.

En operación, la temperatura de la solución que será evaporada se eleva y la solución ya calentada se introduce dentro de la sección de evaporación. El aire del cuarto de recubrimiento se sopla a través del compartimento donde lo contacta con el vapor de agua y después se ventea fuera de la cámara.

Las unidades comerciales manejan velocidades de evaporación de 10 a 90 gph, (38 a 341 lph) dependiendo del tamaño de la unidad y condiciones de operación.

Por comentarios de Wiaux y Nguyen (1990), la evaporación se recomienda en particular para cuando la temperatura de trabajo está por encima de 50 °C, también se aplica para efluentes con concentración de metales de la resina de intercambio iónico.

Los procesos se clasifican de acuerdo a su temperatura de trabajo en:

- a) Procesos a temperatura elevada > 120 °C (mayores a 49 °C).
- b) Procesos a temperatura moderada 100 a 120 °F (38 - 49 °C).
- c) Procesos a temperatura ambiente o baja <100 °F (25 - 38 °C)

Los atributos clave de los evaporadores atmosféricos son:

Tabla N° 3.5 Aspectos importantes de los evaporadores atmosféricos

ASPECTOS POSITIVOS	ASPECTOS NEGATIVOS
1- Bajos costos de capital	1- Altos consumos de energía
2- Se alcanzan muy altas velocidades de recuperación (mayores al 90%).	2- El aire venteadado puede ser una fuente de aire contaminado.
3- Operación simple y bajo mantenimiento.	3- La humedad se escapa a la atmósfera por lo que no se puede reutilizar en enjuagues.
4- No son necesarios los reactivos adicionales	4.- Los evaporadores retornan los contaminantes al proceso, reduciendo la vida del mismo.
5- No genera lodos y si se le utiliza en aplicaciones de recuperación genera muy pocos.	5.- Enjuagues de neblina espreada en el baño, no son compatibles con evaporadores atmosféricos al reducir la altura libre de trabajo y limitar el retorno del agua de enjuague por arrastre.

Fuente: Resumen adaptado de Sawyer (1992) y Cushnie (1994).

3.3.3.4.- Costos.- El equipo básico es relativamente de bajo costo, pero se requiere pensar en los costos de instalación y equipo auxiliar.

El costo de instalación más significativo es debido a los ductos que conducen los gases de escape a la salida del evaporador.

Los costos de inversión de capital, se presentan como una función de la capacidad de evaporación (galones por hora), sobre un rango de temperaturas de la solución del proceso, ya sea del tanque del proceso, o del tanque de transferencia.

En la figura N° 3.9 se muestra el costo del equipo básico promediando los precios de 3 diferentes compañías fabricantes de este equipo.

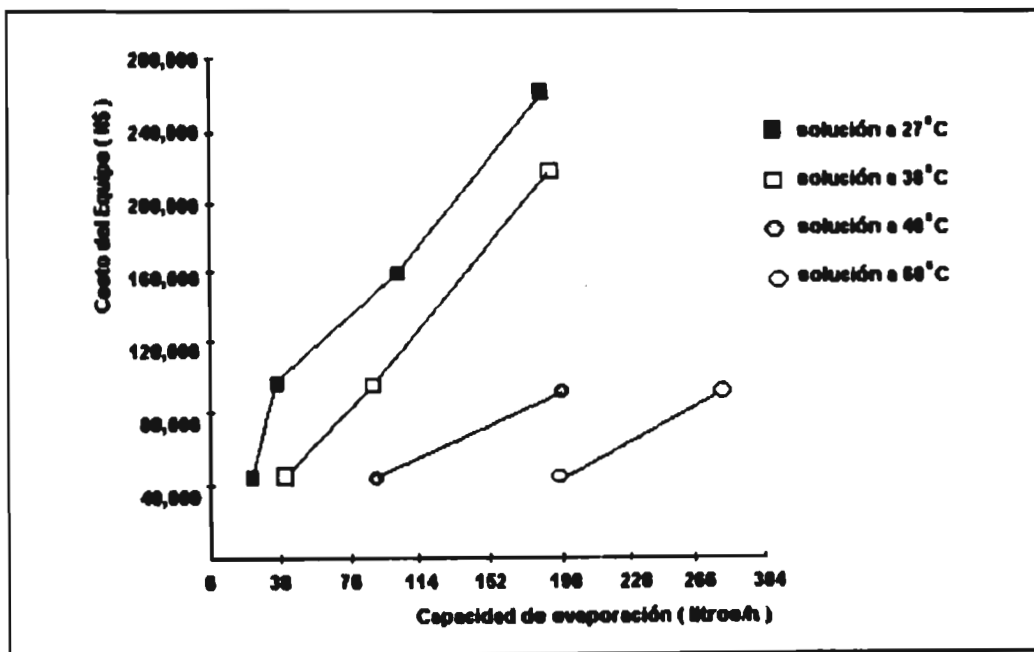


Figura 3.9.- Costos del equipo de evaporación atmosférica como una función de la temperatura de la solución.

Fuente: Cushnie George C. "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations"; pág. 75; Ann Arbor, Michigan, 1994.

3.3.3.5.- Generación de Residuos.- Wiaux y Nguyen (1990) refieren que no se reportan generación de residuos, se presume que la mayoría de los residuos que se forman en el evaporador (por ejemplo CO_3^{2-}), por acción de la gravedad regresan al tanque de proceso.

3.3.4.- Evaporadores al vacío

3.3.4.1.- Principios de operación.- Debido a que en promedio cuestan 10 veces más que los evaporadores atmosféricos, así también las unidades al vacío tienen más caros y sofisticados requerimientos de mantenimiento y operación.

Según Fabro (1992), un operador al vacío es un equipo de destilación que vaporiza el agua a bajas temperaturas al trabajar en condiciones de vacío, por ejemplo en vez de entrar en ebullición a 100 °C al nivel del mar, ebullición a 25 °C, si la presión se reduce a 20.5 mm de Hg (0.4 psia).

Si la unidad opera a una presión de 40 mm de Hg (0.77 psia), las soluciones ebullición a una temperatura de 35 °C.

3.3.4.2.- Aspectos Positivos.- 1) Son esencialmente independientes de los requerimientos, tanto de calor, como de mover grandes volúmenes de aire, de ésta forma se reducen los problemas de contaminación del aire.

2) Útiles para manejar productos sensibles a cambios bruscos de temperatura, al ser operados a una relativa baja temperatura.

3) Son ventajosos con soluciones de CN^- alcalinos, ya que con evaporadores atmosféricos se producen carbonatos más rápidamente, debido a que en éstos últimos se aerea la solución.

4) Útiles cuando se necesitan altas velocidades de evaporación (por ejemplo 40 gph), para alcanzar la recuperación y es aquí donde los evaporadores atmosféricos, resultan demasiado caros, por los altos costos de energía necesaria para operarlos.

3.3.4.3.- Aspectos Negativos.- Aunque los evaporadores de vacío pueden proveer ahorros de energía, sobre los evaporadores atmosféricos, ninguno de los 2 son económicamente prácticos comprar u operar, donde grandes volúmenes de soluciones de baja concentración están involucrados.

En estos casos el intercambio iónico u ósmosis inversa son los métodos más efectivos para recuperación.

3.3.4.4.- Aplicaciones.- Si la solución de cromado contiene de 240 - 300 g/l de CrO_3 , 1% de H_2SO_4 , los enjuagues son tratados con la destilación al vacío construida de material especial anticorrosivo para recuperar el Cr^{6+} .

El agua destilada puede ser reciclada durante el concentrado, después un tratamiento de intercambio iónico puede ser agregado al baño de cromado.

Es importante que el concentrado no contenga más de 40 ppm de Cl, 0.9 - 1.0 g/l de SO_4^{2-} , 2 - 3 g/l de Ni, o 50 g/l de F.

De acuerdo a Mcketta (1983), la destilación al vacío es una alternativa al tradicional sistema de floculación, ya que los reactivos químicos no son necesarios, no se producen olores o vapores y con el reciclado no se envían desechos peligrosos a los rellenos sanitarios.

3.3.4.5.- Sistemas de Recuperación de Aguas de Enjuague.

- 1) Eliminación de CN^- .- Los tradicionales tratamientos de cianuros a base de reactivos oxidantes tiene desventajas incluyendo:
 - a) Lenta velocidad de reacción sobre todo si están presentes Ni o Cu.
 - b) Se requieren grandes tanques para recompensar la lenta velocidad de reacción.

La evaporación al vacío minimiza el volumen de los desechos en solución por concentración de los iones CN^- .

- 2) Cobre.- El cobre se considera tóxico y al ajustar el pH con NaOH y cal, no siempre alcanza los valores de las regulaciones de aguas residuales, esto se evita con la destilación al vacío permitiendo reciclar el Cu.
- 3) Níquel.- El tratamiento tradicional es la precipitación con NaOH y cal. Un posible problema es la formación de complejos estables que forma el Ni con NH_3 , citratos y otros compuestos orgánicos, éstos son muy solubles y difíciles de precipitar. El intercambio iónico es el método más efectivo para separarlo de las aguas residuales, pero si una alta concentración de Ni está presente, el tratamiento de evaporación al vacío es más eficiente debido a que permite la recuperación de las sales de Ni y no utiliza reactivos caros.

3.3.4.6.- Recuperación de soluciones de recubrimiento electrolítico.

Fabro (1992) nos refiere que el tratamiento más avanzado en minimización de desechos, es la recuperación de soluciones de recubrimiento a través de la concentración de aguas de enjuague.

El sistema de evaporación al vacío colecta todas las aguas de enjuague, después del baño de recubrimiento y lo evapora como se observa en la Figura 3.10.

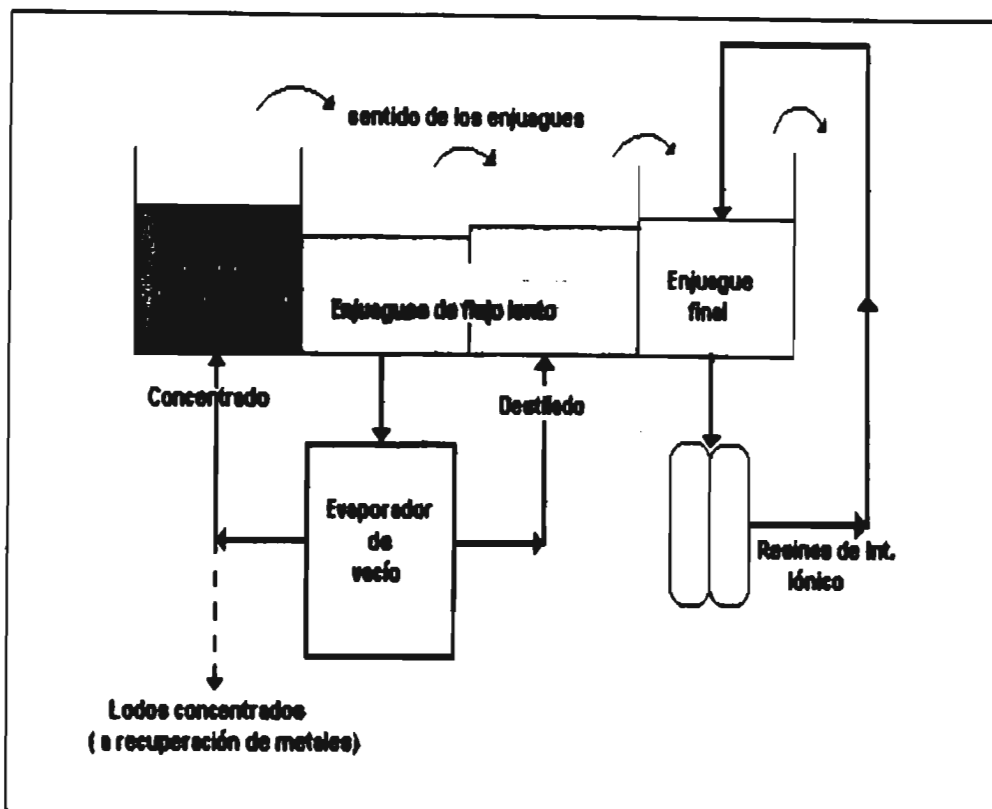


Figura 3.10.- Sistema de recuperación de aguas de enjuague, mediante destilación al vacío

Fuente: Fabro Mario "Vacuum Distillation for the Recovery of Rinse and Concentrated Solutions in the Electroplating Process"; Metal Finishing; Berkeley, California; pág. 46; Noviembre, 1992.

Ambos el destilado y el concentrado se pueden reciclar. El agua destilada se reusa en el ciclo de enjuague.

El concentrado tiene casi las mismas características que el baño de recubrimiento y puede por lo tanto, reciclarse ya que los CO_3^{2-} y otros subproductos se pueden producir en la operación de reciclado.

Según Fabro (1992), éstos se deben separar y se pueden de nuevo reducir en volumen mediante un cristizador.

3.3.5 Ósmosis inversa

3.3.5.1.- Principio de operación.- Ósmosis es la difusión de un solvente a través de una membrana semipermeable, desde una solución de menor concentración a una de mayor concentración; esta transferencia de líquidos de un lado de la membrana semipermeable al otro lado continúa hasta que la presión es lo bastante grande, como para prevenir cualquier nueva transferencia de agua a la solución más concentrada.

De acuerdo con Schoeman (1992), en ósmosis inversa la presión es aplicada a la solución más concentrada, de la membrana semipermeable ocasionando que el permeado se difunda a través de la membrana en la dirección opuesta a la de la presión osmótica.

3.3.5.2.- Antecedentes.- La primera aplicación de ésta tecnología tuvo lugar a finales de los 50's y principios de los 60's, enfocada en la desalinización de agua para utilizarla como agua potable. La primera aplicación industrial del proceso de ósmosis inversa ocurrió en 1970, cuando se puso en operación un sistema para purificar 100,000 gpd (378,500 lpd), de aguas municipales y así poder utilizarla en procesos de manufactura.

Según Cushnie (1994), la primera aplicación del proceso de ósmosis inversa (también conocido como proceso de filtración de flujo cruzado) en la recuperación de productos químicos derivados de procesos de recubrimiento electrolíticos ocurrió en 1974, aplicándose al cianuro de cobre.

Se emplea también para purificar aguas de enjuague y acabar de afinar los efluentes de aguas tratadas para reutilizarlos en los enjuagues.

La presión requerida para manejar el proceso se determina por la naturaleza específica de la solución alimentada y el tamaño de poro de la membrana.

En teoría la ósmosis inversa está basada en 2 procesos físicos: ósmosis (la cual está relacionada con la difusión o tendencia de las moléculas en solución a moverse hasta estar completamente distribuidas) y la repulsión iónica.

3.3.5.3.- Características de Operación.- El proceso de ósmosis inversa está diseñado para operar en forma continua, en donde la membrana está dentro de un recipiente a presión y la corriente de alimentación se bombea a través de un recipiente, con una presión entre 400 - 800 psig (29 - 58 kg/cm²).

Esta corriente concentrada se separa en un flujo de agua limpia permeada y una corriente de productos químicos llamada salmuera, como se observa en la figura 3.11.

Crampton (1982), nos refiere que tres importantes parámetros describen el comportamiento de un proceso de ósmosis inversa: 1) recuperación, 2) flujo y 3) rechazo.

- 1) **Recuperación.**- Es definida como el porcentaje de la alimentación, que se logra filtrar o permear y se expresa regularmente en porcentaje.
- 2) **Flujo.**- Es la velocidad a la cual el permeado pasa a través de la membrana por unidad de área superficial, de la misma membrana.
- 3) **Rechazo.**- Es la capacidad de la membrana para restringir el paso de sales disueltas, hacia el permeado y está relacionado con especies de sales en particular. Una membrana delgada da un flujo o tasa de producción, mejor que una membrana gruesa sin sacrificio en el rechazo.

La mayoría de las membranas actuales están formadas de polímeros orgánicos no iónicos, como el acetato de celulosa o las poliamidas.

De acuerdo a Crampton (1982) y Kirk-Othmer (1985), comercialmente se ofrecen 4 configuraciones: armazón recubierto, tubular, espiral devanado y tipo fibra.

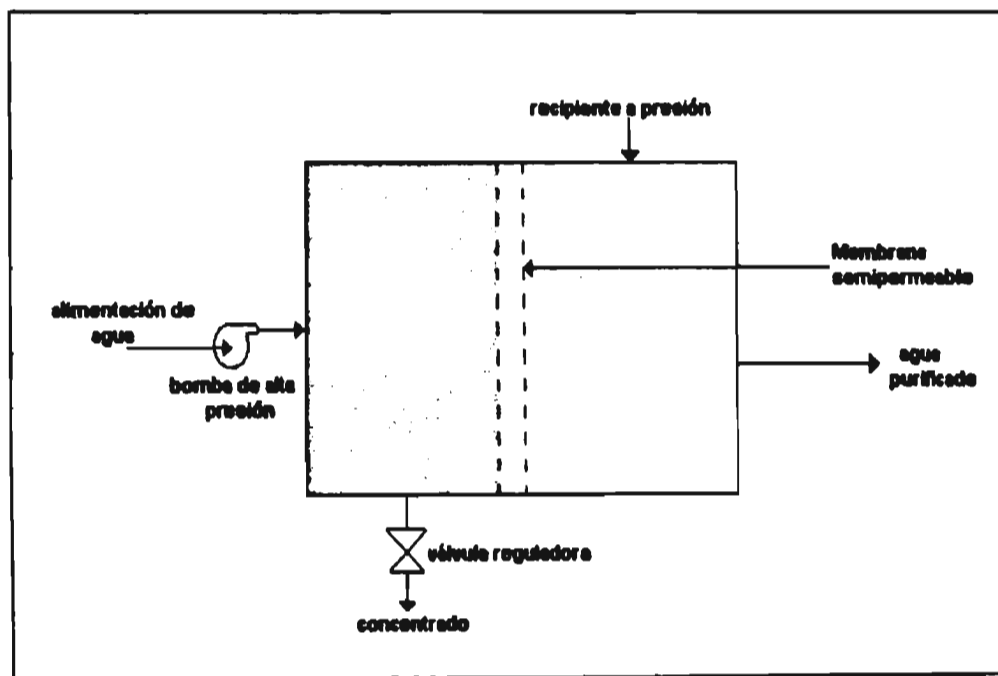


Figura 3.11.- Diagrama de flujo de ósmosis inversa simplificado

Fuente: Crampton Peter; "Reverse Ósmosis in the Metal Finishing Industry"; Metal Finishing; Fort Lauderdale, Florida; pág. 21; March 1982.

3.3.5.4.- Aplicaciones.- 1) La industria del acabado metálico emplea el sistema de ósmosis inversa en 3 distintas aplicaciones:

- a) Purificación del agua suministrada para necesidades del proceso.
- b) Recuperación y reuso de los concentrados químicos, extraídos de los baños en los enjuagues y purificación del agua de enjuague.
- c) Purificación de desechos combinados, para permitir el reciclado del agua ya purificada y reducir el volumen de desechos que requieren tratamiento.

2) Los sistemas de ósmosis inversa desarrollados con membrana de acetato de celulosa, son muy utilizados en el proceso de niquelado, para recuperar Ni a pH ligeros y agua para su posterior reuso, lográndose recuperar hasta un 92% de ésta agua de enjuague.

El volumen de la salmuera se comprime aproximadamente en un 8% del volumen de alimentación inicial, la calidad de ésta salmuera es tal que el níquel de la salmuera puede ser reusado en el proceso de niquelado.

Cushnie (1994) reporta que nuevas tecnologías de ósmosis inversa incluyen sistemas multietapas y altas presiones de operación (800-1000 psig). Con este diseño de multietapas, la corriente concentrada de la primera etapa se pasa a través de una segunda etapa para concentrar de nuevo los reactivos químicos. Esto permite el reuso directo de algunas soluciones, que podrían no ser directamente recuperadas con una unidad de una sola etapa.

Tipos de membranas disponibles: Se encuentran comercialmente 3 tipos de membranas semipermeables disponibles, las que difieren principalmente en su resistencia química. La tabla siguiente reúne las características de algunas membranas disponibles.

Tabla N° 3.6 Materiales de membrana comercialmente disponibles.

TIPO	DESCRIPCIÓN	RANGO de pH	Presión de op. Kg/cm ² (PSI)	Tasa de flujo 25°C L/m ² .D a 400 PSI
Fibra hueca	Membrana de poliamida aromática	4-11	29-58, (400-800)	73
Espiral devanado	Membrana Comp.de acetato de celulosa.	2.5-7	“	1140
tubular	Membrana de polieter amida	1-12	“	530

Fuente: Crampton Peter; “Reverse Osmosis in the Metal Finishing Industry”; Metal Finishing; Fort Lauderdale, Florida; pág. 22; Mars 1982.

Uno de los más significativos problemas de operación comunes a todas las membranas, es la gradual reducción en rendimiento, debido al taponamiento por sólidos suspendidos, por lo que es necesario pretratar los sistemas de alimentación de ósmosis inversa mediante:

- a) Filtros de cartucho instalados corriente arriba de la membrana, para remover sólidos suspendidos tan pequeños como 1 micrometro.
- b) Unidades de ultrafiltración capaces de separar pequeños sólidos.
- c) Adición de un compuesto solubilizante a la solución de alimentación, para prevenir precipitaciones durante la concentración.

A continuación en la tabla N° 3.5 se resumen las principales ventajas, desventajas y la justificación para usar en el tratamiento de efluentes, el proceso de ósmosis inversa.

Tabla N° 3.7. Ventajas, desventajas y justificación para el uso de ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes

VENTAJAS	DESVENTAJAS	JUSTIFICACIÓN
1- Proceso que ocupa poca energía por realizarse a la temperatura ambiente	1- La membrana de ósmosis inversa puede ensuciarse por la precipitación de sólidos suspendidos	1- Reducción de costos en el tratamiento de efluentes y reducción de volumen de residuos para disposición.
2- Permeado con suficiente calidad para reutilizarse como agua de enjuague.	2- Para algunas aplicaciones no se logran concentrar los compuestos químicos suficientemente.	2- Recuperación de la inversión inicial antes de 3 años, cuando los arrastres de Ni son de 4 l/h o más.
3- Para algunas aplicaciones, se tienen bajos costos de capital y operación comparado con otras tecnologías de recuperación	3- En algunos procesos como por ejemplo el <u>cromado</u> , se tienen tiempos de vida limitados para la membrana, máximo de un año.	3- Reducción de costos en la compra de reactivos, al recuperarlos (por ej. el Ni de los enjuagues), por lo que es más económico el tratamiento al final del proceso.

Fuente: Resumen y adaptación de Schoeman (1992), Crampton (1982) y Cushnie (1994).

Pruebas de Campo y de Laboratorio.-

En la siguiente tabla se resumen, evaluaciones de laboratorio a escala piloto de sistemas de ósmosis inversa, realizadas con muestras diluidas de soluciones de recubrimiento como alimentación.

Tabla N° 3.8 Evaluación de las pruebas de Ósmosis Inversa financiadas por la EPA y compañías privadas.

MATERIAL DE MEMBRANA	TIPO DE BAÑO QUÍMICO	LIMITACIONES	DETALLES	RENDIMIENTO TOTAL
Polieter Amida (PA-3000)	Cianuro de cobre	-----	Rend. de lab. y prueba de vida (500 H)	Bueno
	Cobre ácido	pH debe ser >1.0	"	Aceptable
	Ácido crómico	pH debe ser >1.0	"	Bueno
Poliamida (B-9)	Cianuro de cobre	pH debe ser <11	Rend. en campo (100 h)	Aceptable
	Sulfamato de níquel	pH debe ser >2.5	Rend. en corto en laboratorio	Bueno
	Cianuro de cobre	pH debe ser < 11	"	Bueno
	Níquel Watts	H ₃ BO ₃ permea la membrana	"	Bueno
	Cianuro de cobre	pH debe ser <11	Prueba en campo (1130 h)	Bueno
Acetato de celulosa (tubular)	Cobre ácido	pH debe ser >2.5	Rend. de lab. y prueba de vida (500 H)	Inaceptable
	Ácido crómico	pH debe ser >2.5	"	Inaceptable
Espiral Devanado	Sulfamato de níquel	H ₃ BO ₃ permea la membrana	Prueba de rend. corto de lab.	Bueno
	Fluoroborato de níquel	"	"	Bueno

Fuente: Adaptada de Crampton Peter; "Reverse Osmosis in the Metal Finishing Industry"; Metal Finishing; Fort Lauderdale, Florida; pág. 23; March 1982.

3.3.5.5.- Costos.- Los costos de capital de las unidades de ósmosis inversa, se expresan mejor en términos del área superficial de la membrana, donde el área requerida para una aplicación de recuperación química dependerá de la velocidad de flujo y el % de rechazo.

El flujo es el volumen de flujo de permeado por unidad de área de membrana, normalmente expresado como: gal/ ft² / día, o también como l/ m²/ día.

El porcentaje de rechazo se define así:

$$\% \text{ rechazo} = \frac{[\text{concentración de la alimentación} - \text{concentración del permeado}]}{\text{concentración de la alimentación}}$$

De acuerdo con Schoeman (1992), los altos porcentajes de rechazo darán por resultado una mejor calidad (alta pureza) del permeado y una mayor concentración de las sustancias químicas, que participan en la electrodeposición.

El agua permeada se reusa en enjuagues y los reactivos químicos concentrados se retoman al baño electrolítico.

Estos 2 factores son afectados por el diseño del equipo de ósmosis inversa y las condiciones de operación del sistema.

Esto en forma más específica incluye:

- a) El tipo de membrana utilizada.
- b) La presión aplicada a la unidad de ósmosis inversa.
- c) El número de etapas de ósmosis inversa.
- d) La velocidad de flujo de la corriente de alimentación.
- e) La concentración de los reactivos químicos de la corriente de alimentación.
- f) La concentración requerida del producto retornado al baño.

Los datos para el sistema de multietapas incluyen velocidad de la corriente de alimentación de 5 y 10 gpm (19 y 38 lpm) y el área superficial de las membranas correspondientes a 597 ft² y 1194 ft² (55.5 m² y 111 m²).

El sistema de ósmosis inversa de una sola etapa incluye a su vez sistemas con flujos de 5 a 200 gpm (19 a 757 lpm), de la corriente de alimentación.

Los costos de operación más significativos incluyen labores de operación y mantenimiento, energía, reactivos químicos (limpios) y reemplazo de la membrana.

El tiempo de vida de la membrana reportado como máximo es de 5 años y como promedio 18 meses.

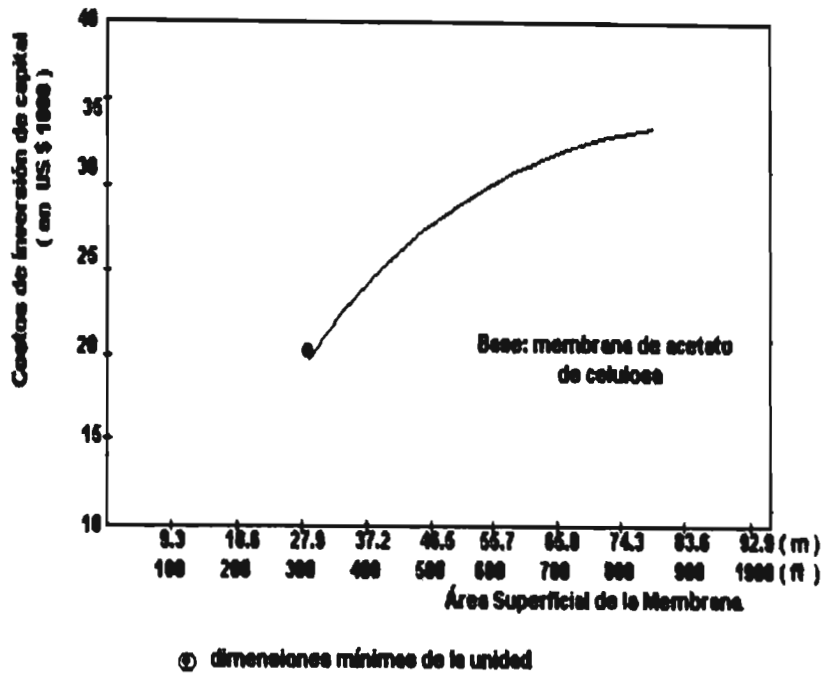


Figura 3.12.- Costos de inversión de capital en un sistema de ósmosis inversa, contra el área superficial

Fuente: Crampton Peter "Reverse Osmosis in the Metal Finishing Industry"; Metal Finishing; Fort Lauderdale, Florida; pág. 24; March 1982.

Los costos de operación de un sistema de ósmosis inversa observados en la fig. 3.13, es una de las características más atractivas de la tecnología, la única instalación necesaria para energizar el sistema, es la electricidad y las bombas de alimentación son de menos de 1 Kw de potencia.

El tiempo en el que se recupera la inversión, para flujos de a) 5 m³/h, b) 5 m³/d y c) 15 m³/d, de las plantas de ósmosis inversa con membrana de acetato de celulosa, utilizada para tratar los enjuagues provenientes del niquelado, conteniendo aproximadamente 2000 mg/l de Ni se calculó en: a) 1.3 años b) 2.1 años y c) 1.7 años respectivamente.

También parece posible tratar aguas de cromo por medio del proceso de ósmosis inversa, la recuperación de agua se determinó en un 91%.

Ambos, el permeado de la ósmosis inversa y la salmuera, son de adecuada calidad para el reuso en el proceso de cromado.

Según estudios de Schoeman (1992), el tiempo de recuperación económica para: a) 5 m³/h, b) 5 m³/d, c) 15 m³/d, de recuperación Cr/agua en la planta de ósmosis inversa, tratándose de enjuagues de cromo conteniendo 1840 mg/l es de: a) 7 años, b) no hay ahorros netos y c) 9.9 años respectivamente.

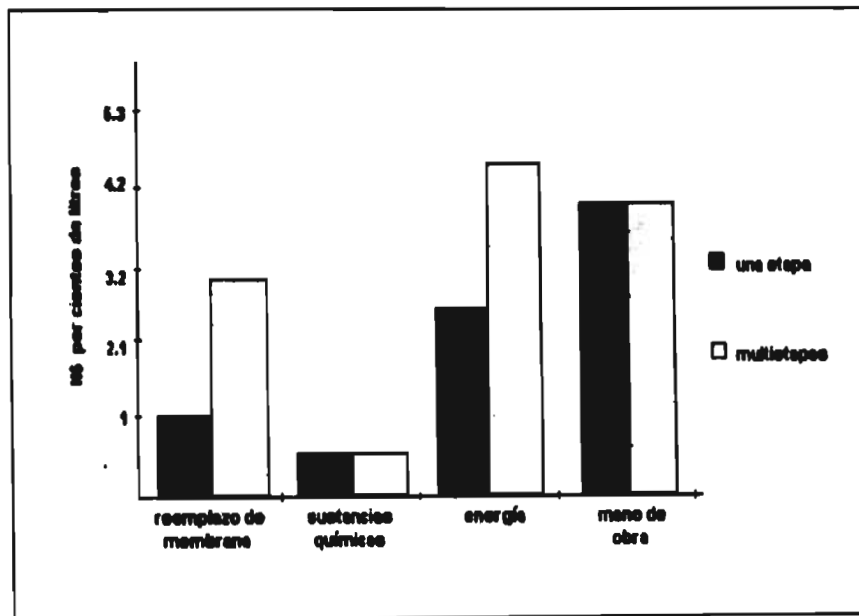


Figura 3.13 Costos de operación y mantenimiento para un equipo de ósmosis inversa.

Fuente: Cushnie George C. "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations"; Pág. 153; Ann Arbor, Michigan, 1994.

Cushnie (1994) hace referencia que por lo que se observa, no es económico este tratamiento para el caso del cromo como si lo fue para el níquel/agua, sin embargo la carga de contaminación del Cr tóxico sobre el ambiente se ve significativamente reducido con una planta de ósmosis inversa.

3.3.5.6.- Generación de Residuos.- El sistema de ósmosis inversa separa la corriente de alimentación en 2 componentes:

- 1) El permeado que pasa a través de la membrana.
- 2) El concentrado que retiene a los sólidos suspendidos.

En aplicaciones de recuperación química típica, el permeado es utilizado como agua de enjuague y el concentrado se ocupa en las tinajas de proceso generándose una pequeñísima cantidad de residuos.

3.3.6.- Intercambio iónico

3.3.6.1.- Principio de Operación.- El intercambio iónico, es una reacción química en la que un ión de la solución es intercambiado, por un ion similarmente cargado, unido a una partícula sólida inmóvil, por ejemplo una resina en donde las reacciones son estequiométricas y reversibles.

La estrategia empleada es intercambiar algunos iones inocuos, por ejemplo el ion hidrógeno o el ión hidroxilo, localizados sobre la resina por iones de mayor interés presentes en la solución.

Se dividen en resinas de intercambio catiónico, las que intercambian iones hidrógeno, por iones cargados positivamente, tales como: Ni, Cu y Na.

Además tenemos las resinas de intercambio aniónico, que intercambian iones oxhidrilo (OH⁻) por iones con carga negativa como por ejemplo: iones CrO₄²⁻, SO₄²⁻, y CN⁻.

De acuerdo a Cushnie (1994), el sistema opera en ciclos que constan de los siguientes pasos:

- 1.- Servicio (Saturación).- Una solución de agua con iones, se pasa de una columna de intercambio o lecho, hasta que el sitio de intercambio quede saturado por los iones.
- 2.- Retrolavado.- El lecho se lava en dirección inversa al ciclo de servicio para expandir y restablecer el lecho de la resina.
- 3.- Regeneración.- La resina de intercambio se regenera, pasando una solución concentrada del ion originalmente asociado con ella, a través del lecho de la resina, utilizando normalmente un ácido mineral fuerte o una base fuerte.
- 4.- Enjuague.- El exceso de regenerante se remueve del intercambiador, pasando agua a través de él.

3.3.6.2.- Antecedentes.- Aunque el proceso de intercambio iónico se reconoció por primera vez en el año de 1850 y se definió como proceso reversible en 1858, la primera aplicación práctica ocurrió en 1905, para ablandar aguas duras.

En 1935 se utilizaron por primera vez polímeros condensados, como sustrato para diversos grupos funcionales, creándose los materiales para producir el intercambio aniónico y catiónico.

Según cita Cushnie (1994), una de las primeras aplicaciones del intercambio iónico en galvanostegia fue para dar mantenimiento a un sistema de cromo duro en 1952. A finales de los 70's y principios de los 80's, se incrementó su uso rápidamente con la implementación de nuevas normas y reglamentos federales aplicados a efluentes industriales.

3.3.6.3.- Características de Operación.- El intercambio iónico tiene como principal utilidad, la capacidad para purificar sales metálicas y efluentes, reduciendo las obligaciones para el generador de residuos, así como la reducción o eliminación de los costos de disposición.

De acuerdo a los trabajos de Ragosta (1991) y Opaskar (1991), como fruto de su experiencia es importante hacer los siguientes comentarios en relación a las características de operación:

- Son necesarias de 3 a 4 horas de regeneración convenientemente programadas fuera de las horas de trabajo.
- Si el flujo de salida del int. iónico alcanza el 50% del nivel de contaminación del baño, la columna comienza a ser menos efectiva en remover los contaminantes.
- Una regla de dedo generalizada es que 1 ft³ (28.3 dm³) de resina retendrá 1 Kg de carga metálica a un 100% de saturación de la resina.
- Pansini y colaboradores (1994), descubrieron que las zeolitas naturales cumplen los requerimientos de una buena selectividad, capacidad aceptable, bajo costo, como intercambiadores de cationes disponibles, aunque las zeolitas podrían servir solamente para almacenar permanentemente el contaminante debido a que cuando el catión es forzado a entrar en la estructura, permanece fuertemente unida a ella, lo que explica su irreversibilidad, pero por su bajo costo sigue siendo muy interesante su aplicación.
- Otra regla de dedo es que la velocidad de flujo a través de la columna de 1 gal/min por ft³ (3.785 l/min por cada 28.3 dm³) de resina, permitirá a la columna operar a una máxima eficiencia.
- Un ft³ de resina es adecuado para procesar 1000 galones (3785 litros) del volumen del tanque, con relación a la velocidad de flujo, con tal que la cantidad de contaminación admitida sea menor a 2 g/h.
- Se ha determinado también que 0.5 ft³ (14.16 dm³) de resina, son suficientes para unidades que operan 20 h/d con una velocidad de flujo de 0.5 gpm (1.9 lpm).

Según Eason (1990), el sistema de intercambio iónico se comenzó a utilizar en este giro industrial, al final del proceso, para tratar los desechos de los recubrimientos electrolíticos, actualmente se utiliza principalmente el sistema en la fuente debido a las ventajas que se comentan más adelante.

Sistema en la fuente.- El tipo más común de intercambio iónico en la fuente, es un sistema que consiste de recipientes metálicos, que contienen aproximadamente 0.5 ft³ (14.16 dm³) de resina absorbente catiónica o aniónica que permite un fácil manejo al momento de regenerarlos.

Se pueden acomodar varios de éstos recipientes metálicos (a los que también se les conoce como "canister") en serie, lo que permite que aunque el primer canister esté completamente saturado, los siguientes canisters remuevan el remanente de contaminación, reduciéndose los costos de operación.

A continuación en la tabla N° 3.7 se muestran las principales ventajas que presenta este sistema en la fuente sobre el sistema al final del proceso, donde se utilizan grandes columnas de intercambio iónico, las cuales pueden ser por pares (catiónica y aniónica), para la recuperación de agua, o solamente catiónica para remoción metálica previa a la descarga.

Tabla N° 3.9 Comparación de los 2 principales sistemas de intercambio iónico.

CARACTERÍSTICA	SISTEMA EN LA FUENTE	SISTEMA AL FINAL DEL PROCESO
Tamaño	Pequeñas dimensiones	Grandes dimensiones
Contaminación	No hay ya que cada enjuague, se agrega con su propio canister	Si existe, pues se mezclan corrientes ácidas y alcalinas.
Tiempo	Se eliminan tiempos fuera por simple sustitución del canister	Se tienen que trabajar de tres a cuatro horas fuera del proceso para regenerar.
Adaptabilidad	Fácil de adaptar; si hay problemas se aísla y se sustituye el canister	Difíciles de adaptar por sus grandes dimensiones.
Ajuste de pH	Sensible	Sensible
Segregación	Existe evitando problemas por precipitación de metales.	No existe provocando daños a la resina.
Durabilidad	Mayores ciclos de corrida	Menores ciclos de corrida
Costos de Regeneración	Se reducen al apilar en serie los canister, permitiendo cargar totalmente de resina	Al no poder apilarse en serie, se requiere reacondicionar antes de llegar a la saturación

Fuente: Adaptación de: Eason (1990) y Ragosta (1991).

3.3.6.4.- Condiciones más apropiadas de Operación.- A continuación se describen algunas consideraciones hechas para operar apropiadamente en un sistema de intercambio iónico.

- A
P
R
O
C
O
N
D
I
A
C
S
I
O
N
E
S
O
P
M
E
Á
R
S
A
C
I
Ó
N**
- 1- Reducción del Arrastre = Reduce costos de Operación y mejora el rendimiento del sistema de intercambio iónico.
 - 2- Segregación de corrientes = Evita la mezcla de corrientes que pudieran provocar la precipitación de subproductos que ensucian la resina.
 - 3- Ajuste del pH = Depende de a) metal a recuperar; b) tipo de reactivos químicos del efluente a tratar; c) naturaleza de la resina de intercambio iónico (las que utilizan resinas con ácidos o bases débiles son sensitivas a cambios en el pH del agua de alimentación).
 - 4- Utilización de agua blanda o desionizada = Proporciona las siguientes ventajas: a) mejora en la calidad de los enjuagues; b) menor número de reemplazo de baños; c) menos problemas de recubrimiento y d) ahorros sustanciales en el costo de tratamiento de desechos.
 - 5- Cambios en los productos químicos = Se deben de evitar cambios en los productos químicos que puedan afectar el rendimiento del sistema de i.i.
 - 6- Velocidades de flujo = Si el sistema está próximo a su límite, se gana en rendimiento al reducir la velocidad de flujo, aunque flujos menores a $\frac{1}{2}$ gal/min por ft^2 (1.9 l/min por 28.3 dm^2) de resina, ocasionan problemas.
 - 7- Detector de iones metálicos = monitorea continuamente la concentración de iones metálicos críticos en el efluente de la columna, para poder establecer un programa de regeneración de resina.
 - 8- Filtración = Una filtración apropiada evita: taponamientos en el lecho de la resina que implica un reemplazo frecuente de la misma y una reducción en el flujo a través del mismo lecho de resina.
 - 9- Oxidación = Se deben de remover materiales oxidantes que puedan destruir la resina.
 - 10- Operación de adelanto y retraso = Para regenerar la columna de i.i., la mayoría de los sistemas incorporan un arreglo de columnas dual, en donde una columna trabaja, mientras la otra se regenera o está en alerta.

El resultado neto es, ya sea una pérdida de eficiencia de operación debido a la temprana regeneración, o pérdidas de ion metálico en el efluente del sistema.

Para evitar los problemas anteriormente mencionados, a continuación en la figura 3.14 se presenta una alternativa de arreglo en donde:

A = La columna "1" es primaria y la "2" es secundaria.

B = La columna "1" recibe tratamiento de regeneración, mientras la columna "2" procesa la corriente de tratamiento.

C = La columna "2" es ahora la primaria y la columna "1" (recientemente regenerada) es ahora la secundaria. La regeneración de nuevo se muestra con línea punteada a contraflujo.

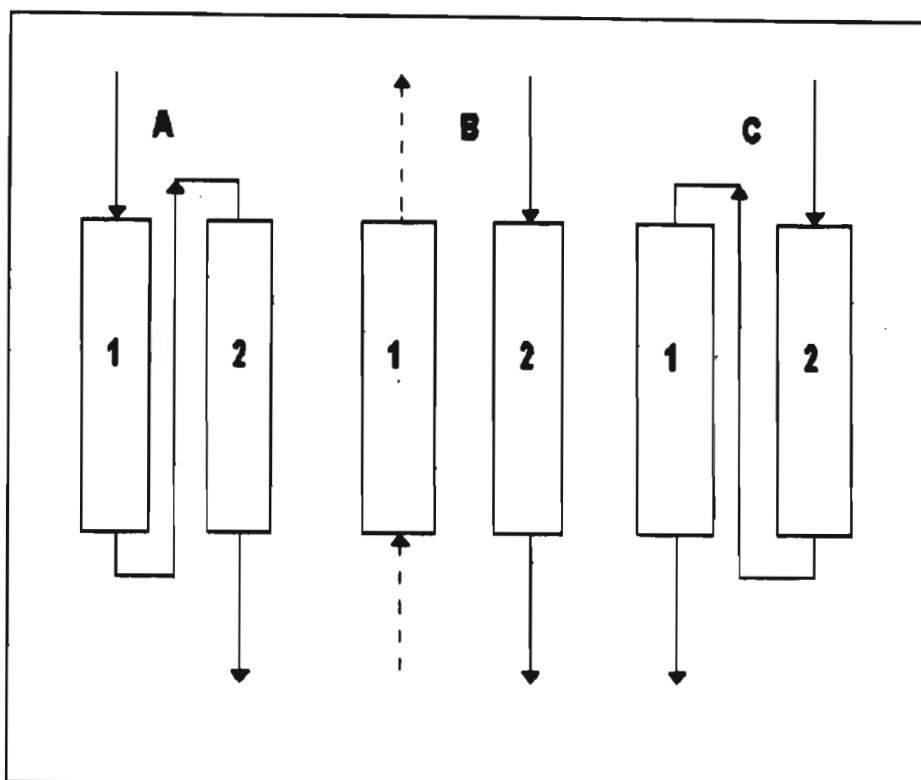


Figura 3.14 Operación adelantado - retraso de intercambio iónico

Fuente: Hosea Michael J. et al; "Metal Recovery by Ion Exchange Five Crucial Issues"; Metal Finishing; pág. 69; October, 1988.

Este método de operación provee 3 ventajas importantes, sobre la tradicional columna dual y estas son:

a).- La corriente de desecho recibe doble tratamiento, de tal forma que el efluente del sistema al final es extremadamente bajo en contenido de iones metálicos.

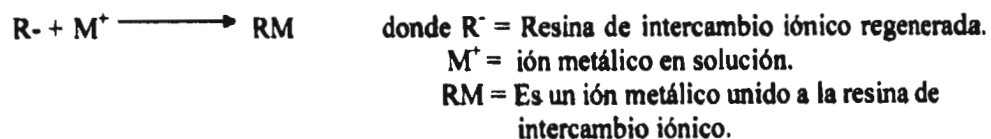
b).- La columna primaria se regenera solamente cuando se satura completamente con metal, de tal forma que se obtiene la máxima eficiencia de operación.

c).- Los iones metálicos no escapan del sistema durante la recuperación de la columna primaria, ya que la columna secundaria está procesando el efluente de la columna primaria.

De acuerdo con Hosea (1988) y Ragosta (1991), se puede o no incluir un paso de retrolavado en la secuencia de regeneración a contraflujo, además con la aplicación de esta técnica, se obtienen 2 ventajas en el tratamiento:

- La concentración de metal en el efluente tratado se deberá minimizar.
- El volumen del agua tratada antes de alcanzar la columna de saturación se maximizará, así grandes cantidades de agua se pueden tratar, lográndose menores concentraciones de metal en el efluente utilizando la regeneración a contraflujo.

Cuando la corriente de tratamiento contiene iones metálicos que entran en contacto con la resina, iones metálicos en solución se unirán a la resina de acuerdo a la reacción:



Por lo tanto se observarán menores fugas metálicas, cuando la mayor parte de la resina regenerada, esté a la salida de la columna del intercambio iónico.

La regeneración de la resina (asumiendo regeneración ácida), procede de acuerdo a la reacción:



Las resinas expuestas a mayor concentración ácida (H^+) serán mejor regeneradas.

Una adicional ventaja se logra con la regeneración a contraflujo, al incrementarse la concentración metálica en la regeneración de soluciones gastadas.

A continuación se muestran dos diferentes tipos de aplicaciones del proceso de intercambio iónico en la recuperación de metales, agua desionizada y cromatos.

Para la Figura 3.15 cabe aclarar que es necesaria la columna aniónica, para obtener agua desionizada y reciclarla, de lo contrario se tiene que suministrar agua del grifo.

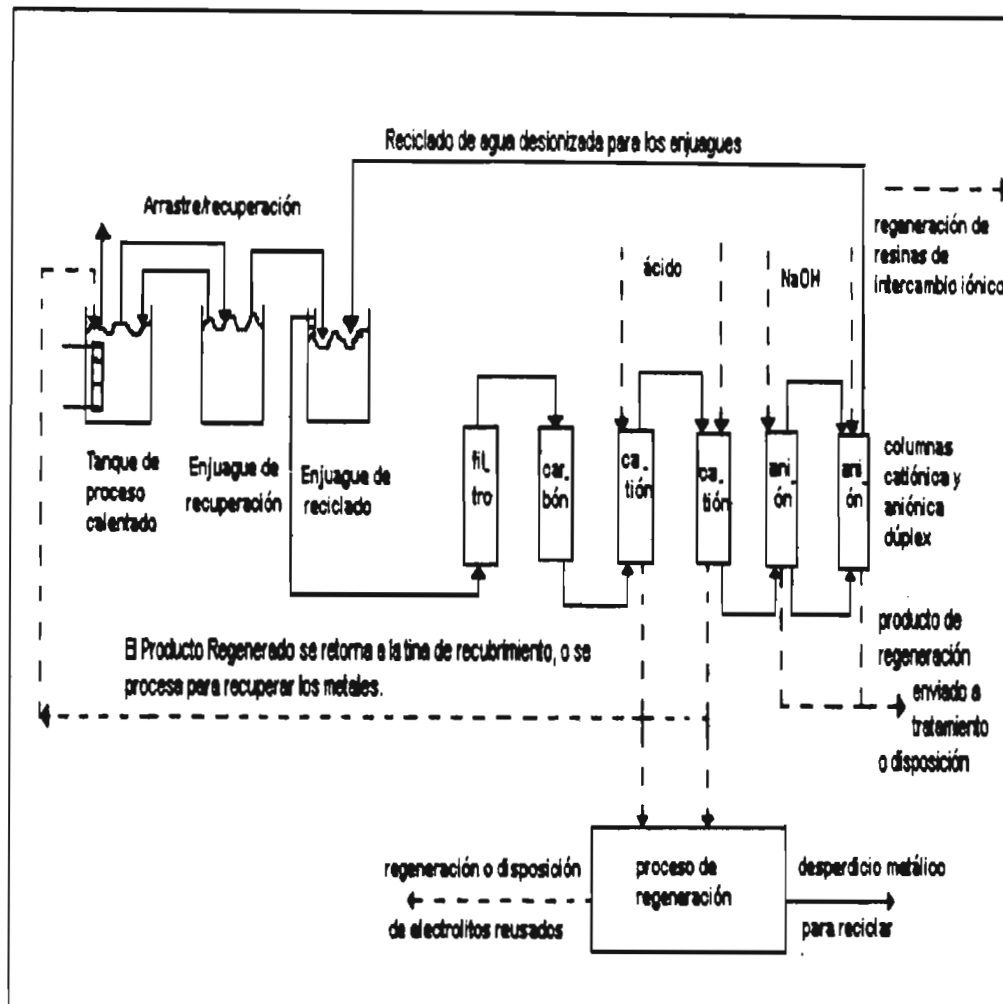


Figura 3.15.- Proceso de recuperación por intercambio iónico - recuperación metálica/recirculación de agua desionizada.

Fuente: Cushnie George C.; "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations"; pág. 100; Ann Arbor, Michigan, 1994.

3.3.6.5.- Costos.- Para pequeños sistemas de aplicación manual, (no automatizado) la capacidad se expresa generalmente en términos de volumen de resina, la cual está directamente relacionada con los costos de capital, mientras que en sistemas de gran capacidad, se expresan más a menudo en términos de velocidad de flujo.

Las gráficas que se dan a continuación están basadas en las especificaciones para velocidad de flujo de 4 diferentes marcas de equipo.

Sin tomar en cuenta diversos factores como serían los niveles intermedios de automatización, el tipo y la calidad de medidores e instrumentos de monitoreo.

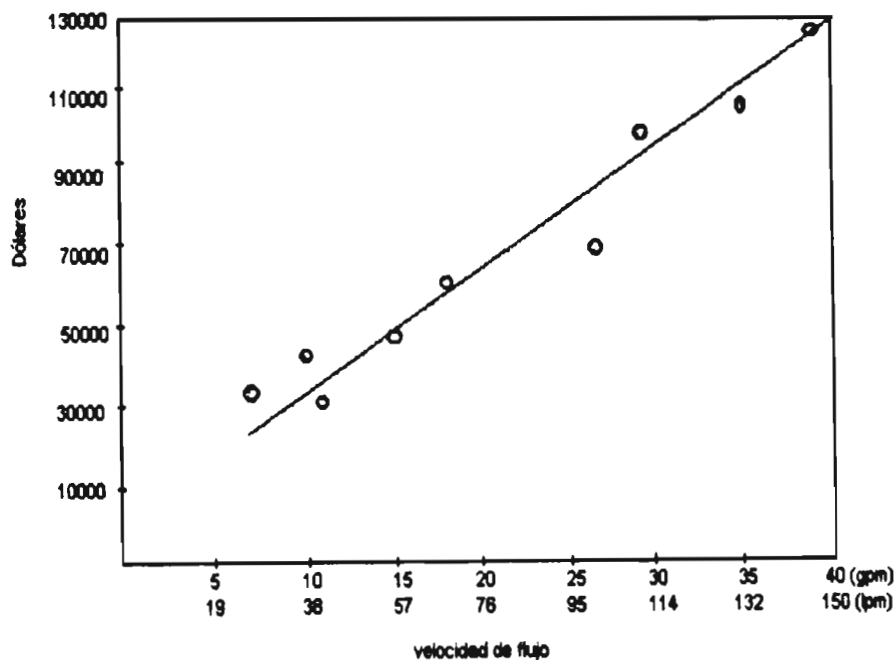


Figura 3.16.- Costos de inversión de capital, para un equipo completamente automatizado de recirculación de agua por intercambio iónico.

Fuente : Cushnie George C.; "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations"; pág. 109; Ann Arbor, Michigan, 1994.

Costos de operación.- La mano de obra, la regeneración de sustancias químicas, reemplazo de resinas y uso de energía son las principales categorías en que se subdividen los costos de operación.

El tiempo de vida útil de la resina se mide en años, pero se puede acortar por el mal uso o aplicaciones inapropiadas

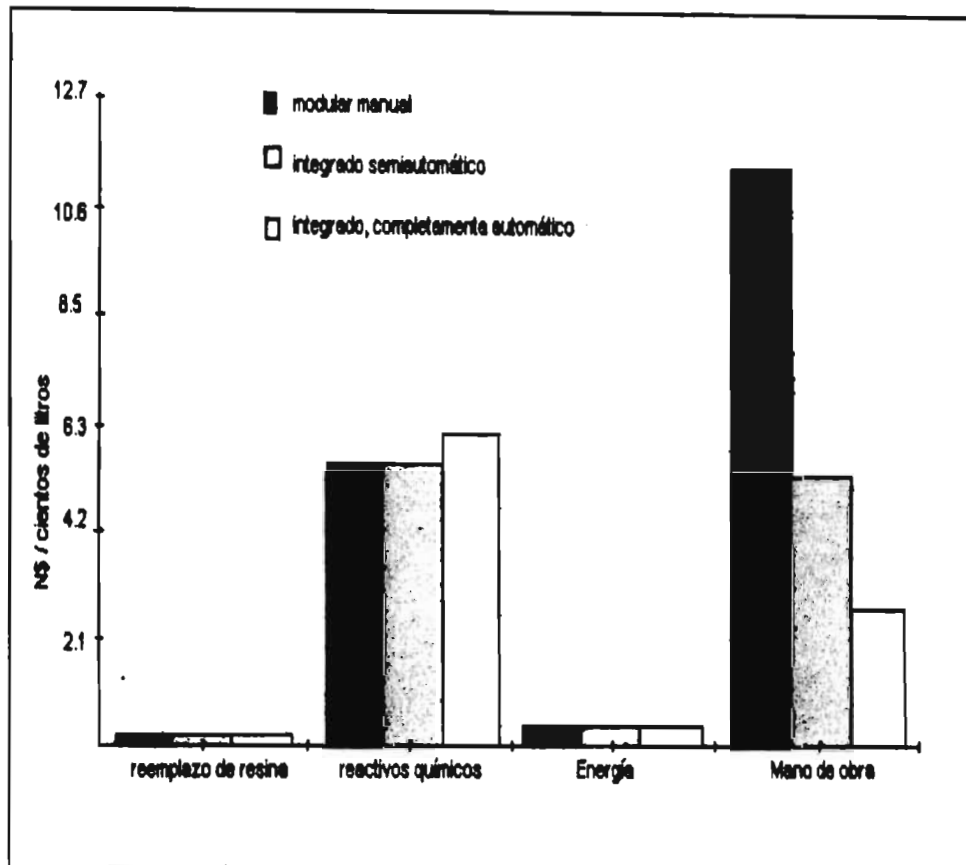


Figura 3.17.- Costos de mantenimiento y operación para un sistema de intercambio iónico.

Fuente: Cushnie George C.; "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations"; pág 110; Ann Arbor, Michigan, 1994.

3.3.6.6.- Generación de residuos - Según Cushnie (1994), los residuos primarios de un proceso de recuperación de intercambio iónico son los productos químicos que sirven como regenerantes, quedando los desechos concentrados y el retrolavado que es diluido. Ambas soluciones son ácidas o cáusticas, dependiendo de la resina y la aplicación.

3.4.- SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA REDUCCIÓN DE DESECHOS.

Un dato importante en el inicio de la investigación, para la más apropiada y aplicable tecnología en relación al costo - beneficio es cuantificar la cantidad de contaminantes que se deben remover (lb/día o Kg/día), teniendo ésta información se empiezan a desechar ciertas tecnologías por inadecuadas.

Por ejemplo se ha observado que el método de precipitación es ventajoso cuando grandes masas de metales se remueven, en cambio los métodos de electrodeposición serían inadecuados para este caso específico.

Una revisión general y evaluación de métodos y tecnologías utilizadas se observa a continuación.

Tabla N° 3.10 Evaluación de tecnologías de remoción de contaminantes

TECNOLOGÍA	PRINC. DE REMOCIÓN	COSTO DE ENERGÍA	COSTO POR LB REMOV.	VOL. DE SUBPRODUCTOS	COSTO DE CAP. POR INV	CUANDO UTILIZAR
1) Precip. Como OH ⁻	Precip. selectiva	Alto	Medio	Muy alto con Ca(OH) ₂	Muy alto	Concentración alta y gran volumen
2) Precip. como Sulfuros	Precip. selectiva	Alto	Alto	Vol. alto de lodos: FeS, CaS	Muy alto	Concentración baja y gran volumen
3) Precip. como Xantatos	"	Medio	Muy alto	Gran volumen de lodos.	Medio	Concentración muy baja de metal
4) Precip. como Tiocarbonatos	"	Medio	Muy alto	Altos vol. de lodos	Medio	Muy baja conc de metales (3 a 4 ppm)
5) Electro diálisis	Recuperación parcial de metal y quím.	Bajo	Medio	Muy bajo a veces cero	Medio	Metal de alto valor comercial
6) Intercambio iónico	Int. quím. efectivo	Bajo	Alto	Muy grande	Medio	Gran vol. baja conc de metal

Fuente: Ramírez Ernest. A: "Design and Engineering of a Wastewater Pretreatment Facility"; Metal Finishing; pág. 16; November, 1984.

Diversos factores se deben evaluar para determinar el mejor proceso de recuperación para una situación específica. Estos factores incluyen:

- a) El tipo de metal que se quiere recuperar.
- b) La velocidad de arrastre de productos químicos del proceso por las piezas de trabajo.
- c) Las concentraciones de los flujos y enjuagues, requerimientos de espacio, requerimientos de empleados debidamente capacitados técnicamente.
- d) Disponibilidad de instalaciones (como sería vapor y electricidad).
- e) Costos por agua, tratamiento de efluentes y disposición de lodos.

La siguiente tabla muestra las tecnologías típicas de recuperación, relacionadas a los tipos específicos de baños de recubrimiento.

Tabla N° 3.11. Sumario de aplicaciones de tecnologías de recuperación

TIPO DE PROCESO DE RECUBRIMIENTO	T E	C N	O L	O G	I A S
	Evaporación	Ósmosis inv.	Int. iónico	Electrólisis	Electrodialisis
Cr decorativo	X	-----	X	-----	-----
Niquelado	X	X	X	-----	X
Cadmizado	X	-----	-----	X	X
Zincado (CN⁻)	X	X	-----	X	X
Zincado (Cl⁻)	X	-----	-----	X	X
Cobrizado (CN⁻)	X	X	-----	X	X
Plateado	X	-----	X	X	X

Fuente: Modificada de Sawyer D.T. and Martell A.E. "Industrial Environmental Chemistry"; pág. 79; editorial Plenum Press, New York; USA, 1992.

Junto con la evaporación, la electrodiálisis tiene el más rápido periodo de reembolso para un proceso de recuperación metálica.

La siguiente tabla enlista algunos costos típicos de aplicación a las tecnologías descritas para recuperar metales específicos de un efluente de aguas residuales simple de procesos de galvanostegia.

Tabla N° 3.12. Costos de algunas tecnologías de recuperación de materiales

TECNOLOGÍA	CAPACIDAD APROX.	MATERIAL	COSTO DEL EQUIPO
U. de evaporación	20 gph (76 lph)	Agua de enjuagues y H_2CrO_4	US \$ 47000
U. de ósm. inv.	100 gph (378 lph)	Prod. quím. del niquelado	US \$ 27000
U. de int. iónico.	20 gph (76 lph)	Agua de enjuague y H_2CrO_4	US \$ 38000
U. electrolítica.	15 gph (57 lph)	Agua de enjuague y cobre	US \$ 25000

Fuente: Sawyer D.T. and Martell A.E. "Industrial Environmental Chemistry"; pág. 79; editorial Plenum Press, New York; USA, 1992.

Para alcanzar ahorros que justifiquen la compra de tecnologías de recuperación, se requiere que las corrientes de desecho, estén bastante concentradas y sean continuas.

La información necesaria para determinar la factibilidad económica incluye:

- a) Velocidad de las corrientes generadoras de desechos.
- b) La concentración de productos químicos.
- c) El valor económico de los materiales que se intenta recuperar.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RIESGOS

4.1 INTRODUCCIÓN.- En los últimos 30 años, la problemática ambiental preocupa cada vez más a la sociedad en general, debido a los accidentes ocurridos, relacionados con la industria química.

A la vista de lo anterior, no es de extrañar el creciente esfuerzo que los industriales en general y la química en particular, le dedican a la prevención de accidentes, con base en las catástrofes mencionadas a continuación:

Tabla N° 4.1 Accidentes industriales notables ocurridos a partir de 1974

ACCIDENTE	CONSECUENCIA
1. Flixborough (Inglaterra, 1 de Junio de 1974). En una planta de Nypro, la rotura de una tubería, provoca la descarga de 80 ton. de ciclohexano (C ₆ H ₁₂), líquido y caliente, formándose una nube que explota, con gran poder destructivo.	28 muertos, cientos de heridos y destrucción completa de las instalaciones.
2. Seveso (Italia, 9 de Julio de 1976). En una planta de Icmesa (Hoffman-Laroche), se liberan 2 ton. de productos químicos a la atmósfera, entre ellos 0.5-2 Kg de dioxina, cuya dosis letal para una persona de sensibilidad promedio es inferior a 0.1 mg.	Se evacuaron más de 1000 gentes, sin muertes, pero la dioxina afectó a las personas, causando cloroacné, abortos espontáneos y suelo contaminado
3.- Cubatao (Brasil, 25 de Febrero de 1974). Un oleoducto se daña y la gasolina que escapa se evapora, se inflama y se origina una gran esfera de fuego.	Por lo menos existieron 500 muertes.
4. México D.F. (México, 19 de Noviembre de 1984). Hacen explosión varios contenedores con GLP (gas licuado de petróleo), en San Juan Ixhuatepec.	452 muertes, más de 4200 heridos y alrededor de 1000 desaparecidos.
5. Bhopal (India, 17 de Diciembre de 1984). Se produce un escape de gas venenoso (isocianato de metilo) en una planta que producía una sustancia insecticida, esparcida en una superficie de 40 Km ² .	2500 muertes directas por envenenamiento y aprox. 3000 en condiciones críticas .150,000 requirieron tratamiento médico.
6. Guadalajara (México, 23 de Abril de 1992). Se producen una serie de explosiones en cadena a lo largo de una red de alcantarillado de 13 Km. de longitud debido a vapores de combustibles.	200 muertos, 1500 heridos, 1200 viviendas y 450 inmuebles comerciales destruidos y daños por 56000 millones de pesos.

Fuente: Santamaría Ramiro J.M. y Braña Aísa P.A.; "Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química"; Ed. MAPFRE Esp. Pág. 522; Madrid España 1994.

También el aumento de accidentes industriales que se han producido en el mundo, a partir de sustancias peligrosas, (Cromatos de México investigado en 1977 en Cuautitlán, edo. de México por ejemplo) dio lugar a la formación de diferentes tipos de organizaciones y programas, para su prevención y control de las mismas, así como un creciente número de normas legales, destinadas a regular aspectos del ambiente y de seguridad en la industria que se mencionarán a continuación.

4.2. LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD

A continuación se mencionan lo más importante de la legislación ambiental en la Comunidad Económica Europea, en los Estados Unidos de Norteamérica y en México. (La legislación ambiental canadiense se comenta en el anexo N° 4).

4.2.1. Legislación en la comunidad económica europea.

La comunidad está formada por las 15 economías más poderosas de Europa (Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Grecia, Finlandia, Holanda, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Portugal, Reino Unido y Suecia).

De acuerdo con Santamaría y colaboradores (1994), a raíz del accidente de Seveso anteriormente comentado, la CCE (comunidad económica europea), elaboró su propia normatividad, formada por directivas entre las que destacan:

- Directiva 82/501/CEE. del 24 de Junio de 1982.- Relativa a los riesgos de accidentes graves o mayores en determinadas actividades industriales, siendo ésta la primera en su género y sufriendo modificaciones posteriores por las directivas 87/ 216/CEE y la 88/610/CEE (modificaciones de los anexos que definen las cantidades mínimas para la aplicación de la directiva). Otras modificaciones han sido: 90/656/CEE (medidas transitorias en la antigua RDA) y la 91/692/CEE (normalización y racionalización de informes).
- Directiva 80/1.107/CEE, del 27 de Noviembre de 1980. Relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes químicos, físicos y biológicos durante el trabajo.
- Directiva 89/656/CEE del 30 de Noviembre de 1989. Relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relacionadas con la utilización de equipos de protección individual dentro de las instalaciones por parte de los trabajadores.
- Directiva 91/332/CEE del 29 de Mayo de 1991. Ésta directiva viene siendo un complemento de la directiva 80/1.107/CCE, relativa al establecimiento de valores límite de carácter indicativo sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes químicos, físicos y biológicos durante el trabajo.

Además se tiene el artículo 5 que constituye, una de las disposiciones más importantes, ya que obliga a los países miembros a contar con una legislación que requiera a los industriales estudiar los peligros que presentan sus actividades, sometiendo los resultados de sus estudios en un documento síntesis para notificar a la autoridad competente.

México el 5 de Abril de 1994 firmó un documento de adhesión a la OCDE (organización de cooperación y desarrollo económico) con otros 24 países entre los que destacan por su influencia, los 15 países europeos ya mencionados como integrantes de la CCE, junto con Australia, Canadá, Estados Unidos de Norteamérica, Islandia, Japón, Noruega, Nueva Zelanda, Suiza y Turquía, además del "Tratado de Libre Comercio" signado con Canadá y los EEUU, donde se espera que México tome en consideración recomendaciones al elaborar políticas, legislaciones, planes y programas ambientales.

Por lo que es importante conocer, según nos muestran tanto Lagrega y colaboradores (1994), como Murphy (1995), lo más relevante de la legislación ambiental de nuestros vecinos del norte, como se verá a continuación.

4.2.2. Legislación en los Estados Unidos de Norteamérica.

- Hazardous Waste Operations and Emergency Response (OSHA 29 CFR 1910.120). Cubre principalmente las acciones de emergencia frente a emisiones de sustancias tóxicas y las acciones de limpieza, así como la eliminación de productos tóxicos.
- Process Safety Management of Hazardous Chemicals (OSHA 29, CFR 1910.119). Regula los requisitos mínimos a cumplir por los sistemas de gestión de la seguridad en plantas que manejen cantidades de algunos productos químicos peligrosos por encima de ciertos límites.
- Extremely Hazardous Substances List and Threshold Planning Quantities (EPA, 40 CFR, 300; 1987). Lista de sustancias extremadamente tóxicas y cantidades límite, para establecer planes de emergencia.
- Emergency Planning and Release Notification Requirements (EPA, 40, CFR, Part. 355, 1987). Define requisitos que deben cumplirse en cuanto a planificación de acciones en caso de emergencias y notificación a autoridades, en caso de emisiones.
- Toxic Chemical Release Reporting: Community Right - to - Know (EPA,40, CFR, part 372, 1987). Define el derecho de la comunidad a estar informada en relación a los peligros que la acechan por sustancias tóxicas, así como las características del reporte de emisiones de productos químicos tóxicos.
- Title III "Emergency Planning and Community Right - to - Know" de la "Superfund Ammendments and Reauthorization Act" de 1988, más conocido como SARA III.

- Continúa el programa “Superfund” establecido en la “Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act” (CERCLA, de 1980). Se establece la obligación para las industrias de cooperar con las comunidades locales para desarrollar planes de emergencia exteriores a través de comités locales de planificación. Bajo ésta forma, las industrias deben de informar a las autoridades acerca de la cantidad y localización de las sustancias peligrosas que se utilicen, siempre y cuando se encuentren en cantidades superiores a los 227 Kg.

4.2.3. Marco jurídico y normatividad vigente en México.

4.2.3.1.- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos.- (LGEEPA). Es la que señala el marco jurídico que define las regulaciones en materia de residuos peligrosos que entró en vigor en Marzo de 1988.

4.2.3.2.- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos.- Es el que continúa en el orden descendente de jerarquía de la legislación, el cual plantea la necesidad de que todo sujeto o entidad responsable de la generación de este tipo de desechos, se registre e informe obligatoriamente a las autoridades competentes en la materia.

(Residuo Peligroso = Se denomina a todo aquel que por sus altos índices de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, corrosividad o acción biológica, conocida como clave CRETIB, puede ocasionar una acción significativa al ambiente, a la población y a sus bienes. Diario Oficial de la Federación, del 28 de Marzo de 1990; primer listado de actividades altamente riesgosas).

4.2.3.3.- Normas Oficiales Mexicanas en materia de residuos peligrosos.- (NOM). Se encuentran en el siguiente nivel del marco jurídico; aquí se mencionan las que tienen más relación con el ramo de la galvanoplastia, como por ejemplo:

I.- Norma Oficial Mexicana NOM 009 STPS/1993.- Relativa a las condiciones de seguridad para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias corrosivas, irritantes y tóxicas en los centros de trabajo.

II.- Norma Oficial Mexicana NOM 071 STPS/1993 de higiene industrial.- Medio ambiente laboral: Relacionada con la determinación en aire de cromo metálico y sus compuestos insolubles. Método espectrofotométrico de absorción atómica.

III.- NOM-CRP-001-ECOL/93.- Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Aunque se han elaborado nuevas normas (de las que se hablarán más adelante) que modifican los límites mencionados anteriormente, es importante ésta por sus definiciones sobre el tipo de residuos, así como la incompatibilidad de sustancias que intervienen en la galvanoplastia.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Los residuos provenientes de la galvanoplastia están clasificados como residuos peligrosos y de su producción general se enlistan 19 residuos por su toxicidad y en 13 casos por su corrosividad, destacando en forma más específica para el cromado de piezas, los siguientes residuos peligrosos.

Clave CRETIB = tóxicos (T).-

- 1) Lodos de tratamiento de las aguas residuales provenientes del lavado de metales para remover soluciones concentradas.
- 2) Lodos provenientes de las operaciones del desengrasado.
- 3) Sales precipitadas de los baños de regeneración de níquel.

Clave CRETIB = tóxicos y corrosivos (T, C).

- 4) Soluciones gastadas y residuos provenientes del cromado.
- 5) Soluciones gastadas y residuos provenientes del cobrizado.
- 6) Soluciones gastadas y residuos provenientes del niquelado.
- 7) Soluciones gastadas y sedimentos de los baños de cianuro de las operaciones de galvanoplastia. (DOF 3ª sección págs. 7 y 8, viernes 22 de octubre de 1993).

IV.- NOM-CRP-002-ECOL/93.- Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

V.- NOM-CRP-003-ECOL/93.- Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre 2 o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-001-ECOL/93.

A continuación, mediante la tabla 4.2 se ilustra la utilización de la norma anterior.

Tabla 4.2. de incompatibilidad de sustancias comunes en el ramo de la galvanoplastia

	AMNO	AMO	BASES	CN ⁻	COH	MYCMT	AOF	AYMCA
Ac. Min no oxid.	—	X	H,F	gt, gf	H, F, gt	S	H, gt	H
Ac. Min oxid.	—	X	H, F	gt, gf	H, F, gt	S	—	H
BASES	H, F	H, F	X	--	H	S	--	--
CN ⁻	gt, gf	gt, gf	--	X	H	--	H, E, gt	--
C. O.H.	H, gt	H,F,gt	H, gf	H	X	--	H, gt	H, G
MyCMT	S	S	S	--	--	X	--	H, gf
AOF	H, gt	--	--	H, E, gt	H, gt	--	X	--
AyMcA	H	H	--	--	H, G	H, gf	--	X

Fuente: Modificada del Diario Oficial de la Federación; 3ª sección, págs. 65 y 66 Viernes 22 de Octubre de 1993.

Simbología utilizada en la tabla 4.2

AMNO = ácidos minerales no oxidantes. (Ej. ácido bórico)

AMO = ácidos minerales oxidantes. (Ej. ácido sulfúrico).

CN⁻ = cianuros. (Por ejemplo: NaCN = cianuro de sodio).

COH = compuestos orgánicos halogenados. (Ej. percloroetileno).

MyCMT = metales y compuestos metálicos tóxicos. (Ej. sulfato de níquel).

AOF = agentes oxidantes fuertes. (ej. los cromatos).

AyMcA = agua y mezclas conteniendo agua. (Ej. los enjuagues).

Código de Reactividad

Código de
Reactividad

Consecuencias de la reacción

H -----Genera calor por reacción química.

F -----Produce fuego por reacción exotérmica violenta y por ignición de mezclas o productos de la reacción

G -----Genera gases en grandes cantidades y puede producir presión y ruptura de los recipientes cerrados.

gt -----Genera gases tóxicos.

gf -----Genera gases inflamables.

E -----Produce explosión por reacciones muy violentas, tan exotérmicas que detonan compuestos inestables

P -----Produce polimerización violenta, generando calor, así como gases tóxicos e inflamables.

S -----Solubilización de metales y compuestos metálicos tóxicos.

D -----Produce reacción desconocida. Sin embargo, debe considerarse como incompatible, la mezcla de los residuos correspondientes a este código, hasta que se determine la reacción específica.

Los valores límite para cada uno de los parámetros manejados en la Norma mencionada, se encuentran en la tabla número 4.3 que se tiene a continuación.

VI.- NOM 001 ECOL/1996.- Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar su uso, en donde los responsables de dichas descargas la tienen que cumplir obligatoriamente.

Se realizan tomas de muestras de los procesos más representativos como mínimo 2 si el generador opera menos de 4 h/d; 4 muestras para empresas que laboren de 4 a 12 h/d y 6 muestras para empresas que laboren más de 12 h/d.

A continuación se muestra una modificación a la tabla del Diario Oficial de la Federación para los contaminantes más importantes en el cromado:

Tabla N° 4.3. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros.

Parámetros (mg/l totales)	Ríos				Embalses nat. y art.				Suelos			
	Riego agrícola		Uso público urbano		Protecc. de vida acuática		Riego agrícola		Uso público urbano		Riego agrícola	
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D.	P.M	P.D
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0
Níquel	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0

P.M. = Promedio mensual

P.D.= Promedio diario

Fuente modificada del Diario Oficial de la Federación pág. 74; 6 de Enero de 1997.

Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales cuya concentración de metales pesados y cianuros rebasen los límites máximos permisibles multiplicados por 5 para cuerpos receptores como ríos o de uso público urbano, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, a partir del 6 de Julio de 1997.

Además, el responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas residuales para determinar el promedio diario y mensual y a mantener los registros del monitoreo para su consulta, por un periodo de 3 años posteriores a su realización.

Es importante mencionar que el responsable de la descarga de aguas residuales que como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente norma, tendrá que solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

Con la aparición de la NOM 001 ECOL/1996 se abrogan las normas oficiales mexicanas que se indican a continuación:

NOM 017 ECOL 1993.- La que establecía los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de acabados metálicos.

NOM 066 ECOL 1994.- Esta norma establecía los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la galvanoplastia.

NOM 071 ECOL 1994.- Establecía los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de productos químicos inorgánicos (ácidos, bases y sales).

Se menciona también que al entrar en vigor la NOM 001 ECOL 1996, el responsable que cuente con planta de tratamiento de aguas residuales, está obligado a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles de esta norma.

Además todo aquel responsable que incremente su capacidad o amplíe sus instalaciones productivas, con fecha posterior al 6 de enero de 1997, éstas nuevas descargas no podrán acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas de acuerdo al rango de población siendo:

1 de enero del año 2000 -----	poblaciones de más de 50,000 habitantes
1 de enero del año 2005 -----	“ “ 20,001 a 50,000 “
1 de enero del año 2010 -----	“ “ 2,501 a 20,000 “

debiendo cumplir con los límites máximos permisibles para estos 90 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador debiendo notificar a la CNA dicha fecha.

VII.- Proyecto de Norma NOM 002 ECOL/1996.- Por último en el Diario Oficial de la Federación, se muestra el proyecto de NOM-002-ECOL-1996, que apareció el Jueves 9 de Enero de 1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, la cual tiene como objetivo el de prevenir y controlar la contaminación de las aguas, siendo de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

Al aplicar la norma NOM-031-ECOL-1993, se presentaron obstáculos de carácter técnico, por lo que fue necesario reorientar la norma, dando lugar a este nuevo proyecto de norma, el cual ya toma en cuenta puntos de vista socioeconómicos, la infraestructura de los sistemas de alcantarillado existentes, determinación de parámetros prioritarios, el tamaño de las poblaciones y la compatibilidad con otras normas en la materia, con el objeto de que las

disposiciones establecidas en este proyecto de norma sean operativas y su cumplimiento sea gradual y progresivo (para poblaciones de 50,000 habitantes o más se aplicará a partir del 1° de Enero de 1999; para poblaciones de 20,000 a 49,999, se aplicará a partir del 1° de Enero del año 2004 y para poblaciones de 2,500 a 19,999 habitantes tendrá aplicación a partir del 1° de Enero del año 2009).

Este proyecto de norma considera que en la mezcla de diferentes fuentes de aguas residuales, existe una disolución de los contaminantes, razón por la que los valores de los límites máximos permisibles van de 2 a 10 veces mayores que las de las normas referentes a las descargas directas a cuerpos receptores, además como novedad se presenta el parámetro de cromo, en lugar de la división que se hacía de cromo hexavalente y cromo total, y también se han reducido los parámetros de 15 que contenía la norma 031 a únicamente 8 parámetros considerados como prioritarios que maneja el proyecto de norma NOM-002-ECOL-1996, como se observa en la tabla 4.4.

Tabla N° 4.4 Límites que establece el proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 a las descargas a sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

PARÁMETROS (mg/l, excepto cuando se especifique otra)	CONCENTRACIONES PROMEDIO MENSUAL	CONCENTRACIONES PROMEDIO DIARIO
Grasas y aceites	50	100
Sólidos sedimentables (ml/l)	5.0	10.0
Arsénico	0.5	1.0
Cadmio	0.5	1.0
Cianuro	1.0	2.0
Cobre	10.0	20.0
Cromo	2.5	5.0
Mercurio	0.01	0.02

Fuente: Diario Oficial de la Federación; primera sección; pág. N° 13 del Jueves 9 de Enero de 1997.

4.3. Peligrosidad de las sustancias químicas que intervienen en la galvanoplastia.

Para disminuir la peligrosidad en cualquier giro industrial, es necesario entender bien el proceso, después es fundamental conocer las propiedades fisicoquímicas de las sustancias químicas que intervienen en el proceso, así como el tipo de peligro que entrañan, medidas de prevención de accidentes y primeros auxilios etc.

A reserva de que en la sección de anexos se adjunten las fichas internacionales de Seguridad Química de las sustancias más peligrosas a la salud y el ambiente que intervienen en la galvanoplastia, a continuación se muestra en la tabla N° 4.5, en forma resumida, los peligros más comunes y el equipo de protección más adecuado.

Tabla N° 4.5 Sustancias químicas peligrosas utilizadas en galvanoplastia

NOMBRE QUÍMICO (PRESENTACIÓN)	USOS O FUNCIONES	PELIGROS FISIOLÓGICOS	AVÍOS Y ACCIONES DE PROTECCIÓN PERSONAL.
Ácido bórico (polvo)	Niquelado	Irritación de ojos y nariz	mcf, cp, Ext g.
Ácido crómico (sales y neblina)	Cromo duro y decorativo	Necrosis nasal, irritación de ojos y vías respiratorias	en, Ext g, ah, gn, dp, cp, gp, bi.
Ácido clorhídrico (neblina)	Activación para recubrir	Erosión dental, tejido quemado, irritación ocular	gp, dp, cp, bi, ah.
Ácido nítrico (neblina)	Pasivación de acero, remojo ácido	Decoloración de piel, edema pulmonar	gn, dp, cp, bi, separar de ClO_4^- , MnO_4^- .
Ácido sulfúrico (neblina)	Activación, desoxidante, etc.	Tejido quemado, edema pulmonar	gn, dp, cp, bi, separar de NO_2^- , NO_3^- .
Ácido sulfamílico (neblina)	Niquelado	Irritación de ojos y tracto respiratorio.	gn, dp, cp, bi.
Peróxido de hidrógeno (neblina)	Tratamiento de desechos, oxidante.	Decoloración de piel, irritación de ojos	dp, cp, bi, guantes de hule butilo.
Hidróxido de amonio (vapor)	Recubrimiento, grabado.	Edema pulmonar, irritación de ojos	gn, dp, cp, bi, separar de Cu, latón, solvente
Cianuros	Recubrimiento, cobrizado	Asfixia química, úlcera nasal, quemado de córnea	gn, dp, cp, bi, almacenarse lejos de los ácidos.
Hidróxidos de Na y K (neblina)	Limpiadores, trat. de desechos	Lesiones nasales, irritación respiratoria	gn, dp, cp, bi cuidado al agregar agua.
Formaldehído	Cobrizado sin electricidad	Cancerígeno, dermatitis	gn, dp, cp, bi, (reacción explosiva con peróxidos)
Cloro (gas)	Grabado	Muy tóxico, ampollas en la piel, corrosión dental	gn, dp, cp, bi, equipo de detección de fugas.
Percloroetileno, tricloroetileno (vapor)	Agentes desengrasantes y desoxidantes	Depresor del sist. nerv. central, dermatitis.	Dp, cp, bi, gPVC excluir gente con problemas respiratorios.
1,1,1 Tricloroetano (vapor)	Desengrase	Irritación de ojos, somnolencia, vértigo	gPVC, dp, cp, bi, examen físico anual.

Fuente: Piplani Paul D. "Recognition and Control of Chemical Hazards in Plating Operations"; Metal Finishing, edit. Elsevier; Tulsa, Oklahoma; págs 43; Noviembre 1993.

Simbología utilizada en la tabla 4.5

gp = goggles (o lentes) protectores
 bi = botas impermeables
 Ext g = Extractor de gases
 ah = agentes humectantes
 dp = delantal de plástico ahulado

gn = guantes de Neopreno
 en = eliminador de neblina
 cp = careta protectora
 gPVC = guantes de cloruro de polivinilo
 mcf = máscara con filtro.

4.4. GENERALIDADES RELACIONADAS CON ANÁLISIS DE RIESGOS

En el análisis de riesgos, están involucradas estrategias de medición de seguridad, basadas en modelos de sistemas de producción y accidentes en procesos.

Un sistema de producción está descrito en este contexto por 4 subsistemas que son:

- a) Físico, b) Humano, c) Información y d) Administrativo o directivo.
- a) El subsistema físico incluye objetos inanimados, por ejemplo: equipos, instalaciones y materiales que están involucrados en el sistema de producción.
- b) El subsistema humano le da vida al subsistema físico.
- c) El subsistema de información provee el flujo e intercambio de datos que se da en una organización, autoriza actividad, guía esfuerzos y evalúa rendimientos.
- d) El subsistema de administración y dirección organizacional, involucra el establecimiento de metas y objetivos para la organización de sus partes funcionales, la repartición de autoridad y responsabilidad, además de la guía general de actividades para la total organización de sus partes.

El proceso de ocurrencia de un accidente, está dividido en 3 fases, comenzando desde un peligro, el cual es un constituyente necesario de la siguiente fase; exposición y finalmente el resultado de un accidente es expresado como las consecuencias.

Para continuar en forma más clara con el estudio del análisis de riesgos, se incluyen algunas de las definiciones que maneja la Organización Mundial de la Salud (1990), encontradas para los principales términos que se manejarán más adelante.

Peligro.- Es una fuente de daño: término cuantitativo que expresa el potencial de un agente ambiental para causar un perjuicio a la salud.

También se define como el potencial para una transferencia de energía no controlada, ya sea química o radiante, teniendo la capacidad para resultar en efectos indeseables como daños o muerte.

Identificación del Peligro.- Identificación de la sustancia de interés, sus efectos adversos, poblaciones blanco y condiciones de operación.

Riesgo.- Es una medida de pérdidas económicas, o daño a humanos en términos de los incidentes probables y la magnitud de la pérdida o daño. También se le maneja como la probabilidad de que ocurra un evento o una serie de medidas de probabilidades de que un resultado generalmente desfavorable se presente.

Toxicidad.- Es la capacidad que tiene una sustancia para causar daño a un organismo vivo

Una sustancia altamente tóxica causará lesión a un organismo si se le administra en cantidades muy pequeñas y una sustancia de baja toxicidad no producirá efecto a menos que la cantidad administrada sea muy grande.

Sin embargo, no es posible definir la toxicidad en términos cuantitativos sin referirse a la cantidad de sustancia administrada o absorbida, la vía por la cual se administra esta cantidad (inhalación, ingestión, inyección); y la distribución en el tiempo (dosis única o repetida), el tipo y gravedad del daño y el tiempo necesario para causarlo.

Caracterización del riesgo.- Es el resultado de la identificación de los peligros y la estimación del riesgo, aplicada a un uso específico u ocurrencia del peligro.

Valuación del riesgo.- Combinación de identificación de peligros, estimación del riesgo, exposición y caracterización del riesgo.

Exposición.- Fase que se presenta cuando un flujo de energía es inadvertidamente liberado y un individuo o grupo de individuos está expuesto a ella.

Consecuencias. - Expresa el alcance del daño humano y daño material.

Desviaciones. - Es un evento o condición en el proceso de producción que se contraponen con los procesos planeados y sin fallas.

Factor determinante.- Son propiedades relativamente estables de los sistemas de producción que afectan la ocurrencia de un peligro.

Los factores determinantes presentan el mayor o menor peligro latente en la seguridad en los parámetros deseados de un sistema de producción.

Para que suceda un peligro es necesario la ocurrencia de una desviación o de un factor determinante o a la combinación de ambos.

A continuación se concentran en la tabla 4.6 los términos que describen los factores relacionados con los 4 subsistemas mencionados anteriormente y que son considerados como relevantes por su contribución en la generación de accidentes.

Tabla 4.6 La operacionalización del concepto: desviación y factor determinante

SUBSISTEMA	EJEMPLOS DE POSIBLES DESVIACIONES	EJEMPLOS DE POSIBLES FACTORES DETERMINANTES
FÍSICO	material/flujo de energía	procesos unitarios/recursos
	unidades de proceso/recursos	sistemas de control/alarma
	sistemas de control/alarma	plataformas y escalones
	plataformas y escalones	recursos, seguridad
	recursos de seguridad	equipo auxiliar
	Ambiental	Ambiente
	HUMANO	Instalación
	Inspección	métodos de operación y trabajo
	operación	
	prueba y calibración	
	mantenimiento	
INFORMACIÓN	coordinación entre actividades	entrenamiento
	flujo de información	instrucciones de operación y trabajo
	dibujo	proceso y almacenamiento de información.
ADMINISTRACIÓN (DIRECCIÓN)	definición de responsabilidad	definición e integración de metas de seguridad
	autorización de una actividad	definición de responsabilidad
	programa de trabajo y priorización	programa de trabajo y priorización
	definición de tareas	distribución de recursos
	contenidos y límites de trabajo	

Fuente: Suokas Jouko; "Evaluation of the Quality of Safety and Risk Analysis in the Chemical Industry"; Risk Analysis, Vol 8, N° 4, pág. 583, 1988.

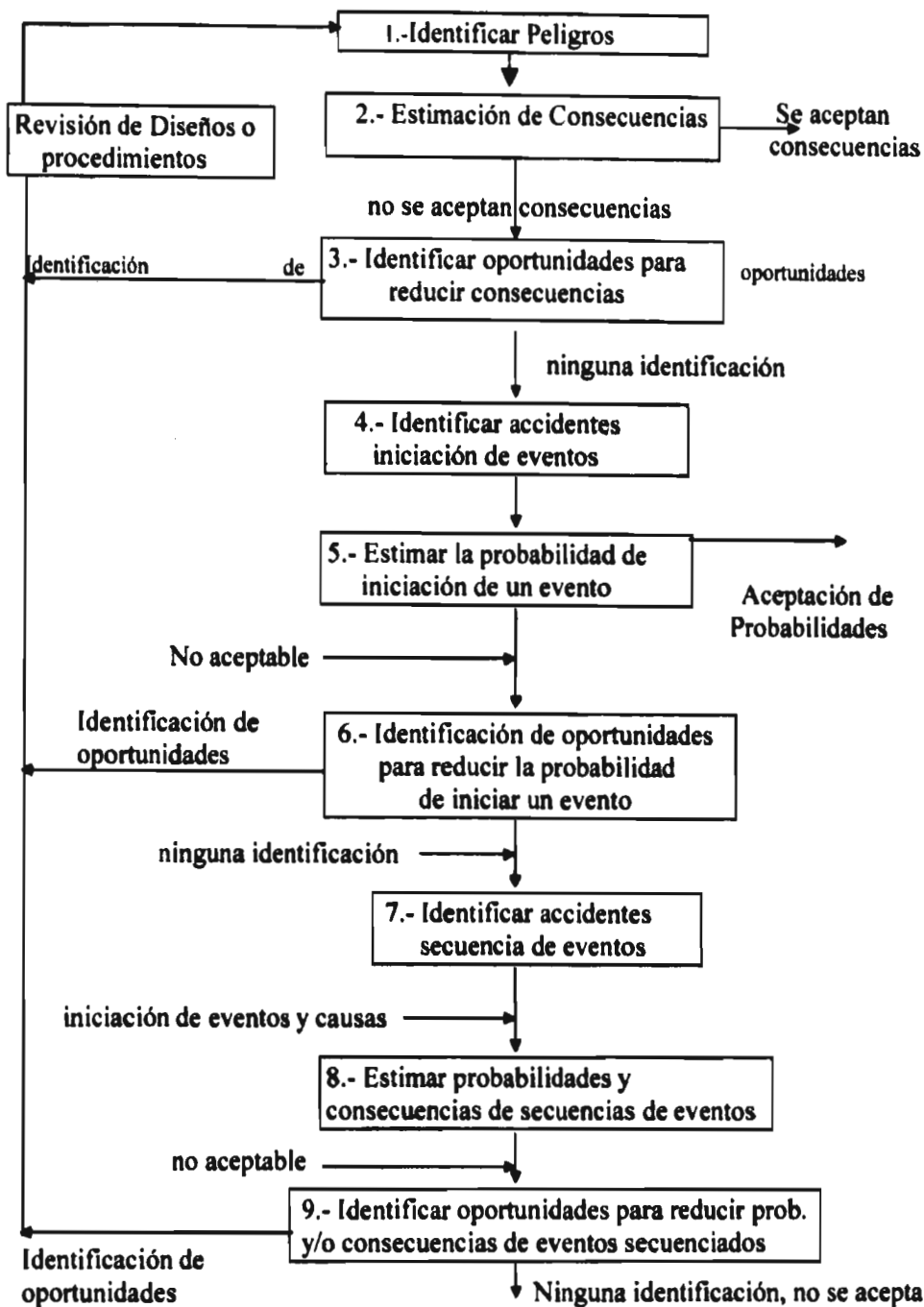


Figura N° 4.1 Pasos a seguir en la predicción de evaluación de riesgos.

Fuente: Freeman Raymond A. "CCPS Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis" Plant Op. Progress; Vol 9, N° 4; pág. 232, Oct. 1990.

4.5.- TECNOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.

Para poder decidir si un riesgo es o no aceptable, se requiere estimar de alguna forma su magnitud, lo que implica un estudio previo.

Analizar riesgos significa desarrollar una estimación cualitativa o cuantitativa del nivel de peligro potencial de una actividad, referido tanto a personas como a bienes materiales, en términos de la magnitud del daño y la probabilidad de que tenga lugar.

Los resultados del análisis mencionado se utiliza para la toma de decisiones (gerencia o administración de riesgos), ya sea mediante la jerarquización de las estrategias de reducción de la probabilidad de que ocurra un evento, mediante la comparación con los niveles de riesgos fijados como objetivo en una determinada actividad.

De acuerdo con Montague (1990), se ha determinado una serie de factores que influyen en la selección de una técnica apropiada de análisis de riesgos como son:

- 1) Objetivo de estudio (se escoge el peor caso).
- 2) La complejidad del proceso químico.
- 3) La edad de la planta o proceso.
- 4) Los datos requeridos en el estudio.
- 5) Las fuentes disponibles para el estudio.
- 6) El nivel de experiencia (o pericia) requerido en el uso de la técnica.
- 7) Consecuencias potenciales de accidentes.

Para reducir los riesgos industriales, se hace un diagnóstico de seguridad a la planta de procesos involucrada, respondiendo a una serie de preguntas como por ejemplo:

¿Existen riesgos reales y potenciales? Si es así,

¿Cuáles son? ¿De qué magnitud son?, ¿Son aceptables?, si no es así,

¿Cómo se pueden eliminar o reducir?

Las respuestas a estas exigencias pueden obtenerse a través del análisis de riesgos.

Butrón (1996), precisa que este proceso requiere de cubrir las siguientes etapas generales:

Primera: Conocer a detalle las características de los procesos, los materiales utilizados y su entorno para la identificación primaria de la existencia de posibles riesgos reales y potenciales.

Segunda: Identificar los riesgos específicos existentes.

Tercera: Evaluar la magnitud del evento y cuantificar sus consecuencias posibles, y si fuese necesario, evaluar la probabilidad de ocurrencia.

Cuarta: Establecer las medidas preventivas necesarias para eliminar o minimizar el riesgo hasta el grado de aceptación del mismo.

Las técnicas específicas a aplicar en cada una de las etapas, dependerán en cada caso en particular, del grado de profundidad requerido y de la cantidad y tipo de información recabada.

Aún cuando no existen evidencias precisas, la aparición de las primeras metodologías para el análisis de riesgos en operaciones industriales, tienen su origen entre 1910 y 1920.

Estas metodologías fueron producto de la experiencia adquirida a través de los accidentes ocurridos. A continuación se dará una breve semblanza de cada técnica.

4.5.1.- Investigación de accidentes

A través de esta metodología se definen las causas básicas que produjeron el accidente y se establecen las medidas correctivas y preventivas.

La ventaja de esta técnica es que se refiere a accidentes ya ocurridos, por lo que los peligros identificados con su uso son indudablemente reales.

Por otra parte, ahí reside su principal limitación, ya que el análisis solo se refiere a accidentes que han tenido lugar y de los cuales se posee información, que puede ser limitada o sesgada, ya que muchos accidentes se registran en forma restringida o no se registran.

A pesar de lo anterior, el análisis sobre investigación de accidentes es una técnica útil, que permite la identificación de riesgos concretos.

La investigación sobre accidentes ocurridos en el pasado puede proceder de fuentes muy diversas, como los propios datos de la compañía, noticias de prensa, entrevistas con testigos del accidente e informes de las comisiones de investigación.

Las limitaciones propias de la tecnología y las enseñanzas producto de ella, dio como resultado la generación de códigos y estándares, en donde se establecen parámetros generalmente aceptados para riesgos reconocidos. (Santamaría, 1994; Butrón, 1996).

4.5.2.- Listas de comprobación o verificación de seguridad (safety checklists).

Se utilizan para comprobar el cumplimiento de las revisiones que pueden detectar los puntos críticos en donde se pueden presentar fallas o peligros, dentro de pequeñas empresas con tecnología muy conocida, mediante procedimientos estándar.

Son de fácil utilización y pueden ser manejadas en cualquier etapa de diseño o construcción de la planta o negocio industrial, particularmente útil para la aplicación por ingenieros no expertos, si bien la preparación de la lista de chequeo (checklist) deberá realizarla un ingeniero experto y familiarizado con el funcionamiento de la planta o del proceso y sea conocedor de los procedimientos.

Una vez realizadas las listas de chequeo, deberán auditarse (enriqueciéndolas con comentarios) y actualizarse.

Objetivo.- Identificar riesgos simples y asegurar el cumplimiento con las normativas y los estándares.

Tiempo de aplicación.- En todas las etapas del proceso o de la planta.

Diseño.- Rápida y simple identificación de los riesgos involucrados y medidas apropiadas respecto a los mismos.

Resultados.- Identificación de riesgos simples o que requieren de una evaluación detallada y cumplimiento con el estándar del proceso (SI/NO).

Naturaleza de los resultados.- Cualitativos, decisiones tipo si/no. Cumplimiento.

Información necesaria.- Lista de chequeo, normativas y estándar, conocimiento de la planta/sistema.

Recursos humanos.- Verificación realizada por expertos. El cumplimiento del mismo puede realizarse por cualquier ingeniero.

Posteriormente un técnico experto revisará resultados y decidirá próximas acciones.

Tiempo/Costo.- Dada la facilidad de utilización de la técnica, es relativamente rápida y barata la utilización de este método de evaluación de riesgos.

A continuación se presenta un ejemplo de utilización de la lista de verificación (Checklist).

Ejemplo de lista de verificación para la fase final del diseño de un proceso.

Inflamabilidad.

- Temperatura de autoignición.
- Temperatura de inflamación
- Agentes extintores.
- Otros.

Explosividad

- Límite inferior de explosividad (LIE).
- Límite superior de explosividad (LSE).

Toxicidad

- Valor Umbral Límite (TLV). (Threshold limit value)
- Concentración máxima permisible (MAC). (Maximum allowable concentration)
- Límite de Exposición a corto plazo (STEL). (Short term exposure limit)
- Protecciones personales.

Corrosión/compatibilidad

- Sustancias fuertemente ácidas/básicas
- Compatibilidades de materiales de contención.
- Equipos de protección personal necesarios.

Residuos

- Posibilidad de descarga de gases
- Descarga de líquidos.
- Disponibilidad de suministro de gas inerte.
- Detección de fugas.

Almacenamiento

- Contención de vertidos.
- Compatibilidad de materiales.
- Estabilidad del almacenamiento.

Electricidad estática

- Puesto a tierra.
- Conductividad de materiales.

Reactividad.-

- Temperaturas críticas.
- Efectos de impurezas.

4.5.3.- Revisión de seguridad o auditorías de seguridad.**Descripción.-**

Conforme a ITSEMAP, 1995 (Instituto de seguridad MAPFRE) una revisión de seguridad es un examen periódico (cada 2/3 años para plantas de alto riesgo y cada 5 a 10 años para las empresas con procesos de bajo riesgo) con los objetivos de identificar condiciones de planta y procedimientos de operación que pudieran provocar un accidente.

Estas revisiones se realizan por un personal profesional con experiencia y responsabilidad que visitan a la planta y repasan los procedimientos y entrevistan a determinados integrantes, por lo que la colaboración con el grupo es esencial (los operarios pueden ser reacios a colaborar, al menos que se les concientice).

Objetivo.-

Evaluar los procedimientos de operación y condiciones de planta con el objetivo de asegurar que son compatibles con la filosofía del diseño y las normas, mantener al personal de planta concientizado de los riesgos del proceso, identificar cambios en los procesos y en los equipos físicos de proceso, que pudieran haber introducido nuevos riesgos desde la última revisión de seguridad e implementar, nuevas tecnologías y normas de seguridad.

Temporalidad.-

Como criterio cada 2 o 3 años en plantas de alto riesgo y cada 5 a 10 años en plantas de bajo riesgo.

Resultados.-

El equipo de inspectores reporta un informe en el que aparecen desviaciones al diseño, deficiencias en operación, puntos nuevos de riesgo, y recomendaciones específicas.

Naturaleza de resultados.-

Cualitativos.

Información necesaria.-

El personal técnico asignado deberá estar familiarizado con procedimientos de seguridad.

Tiempo/costos.-

Normalmente entre 2 y 5 personas durante un tiempo mínimo de una semana.

En menor tiempo no es posible la evaluación con el suficiente rigor.

4.5.4.- Análisis ¿Qué pasa si? (WHAT-IF).

Empezó a utilizarse frecuentemente por estos grupos de revisión los cuales, en base a su experiencia, aplican la pregunta ¿qué sucede si? (What-if?), en cada etapa del proceso, determinando el efecto de las fallas de los equipos o errores de operación.

Esta metodología puede ser utilizada para revisar un proceso completo o parte de él, dependiendo de su complejidad.

El grupo enfatiza en la revisión de factores **no detectables** a través de las revisiones visuales, con el fin de identificar los **riesgos potenciales** con base en sus conocimientos y experiencias, así como establecer las medidas de control más apropiadas.

Desafortunadamente las metodologías basadas únicamente en la experiencia no garantizan el haber encontrado todas las posibles fallas y el resultado es que las medidas de prevención, frecuentemente se tomen después de ocurrido el evento.

A pesar de ser un método más bien de tipo artesanal, los especialistas con más experiencia en la aplicación de esta técnica, consideran que es una herramienta fácil de emplear y menos tediosa que las otras.

El método puede aplicarse para examinar posibles desviaciones en el diseño, construcción, operación o modificaciones de la planta.

Es importante destacar que suele ser un método apropiado únicamente si el equipo humano asignado es experimentado.

Objetivo.-

Identifica posibles accidentes, o sea, riesgos, consecuencias y posibles métodos y/o formas de minimizarlos.

Temporalidad.-

Puede usarse en plantas ya existentes, en el proceso de diseño en fases de arranque. Es especialmente útil para verificar cambios propuestos en una instalación.

Resultados.-

Lista de escenarios de accidentes potenciales y formas de reducir las consecuencias de los mismos.

Naturaleza de los resultados.-

Es de tipo cualitativo. No existe una escala cuantitativa para ellos.

Información necesaria.-

Documentación detallada de la planta, los procesos, procedimientos de operación y a veces entrevistas con el personal de la planta.

Recursos humanos.-

De 2 a 3 expertos por cada área de investigación.

Tiempo/costo.-

De acuerdo con Santamaría (1994), depende del tamaño de la planta industrial a analizar y el número de áreas de investigación. Además no es efectiva la aplicación de ésta técnica si el personal no tiene la instrucción adecuada en la utilización del método.

4.5.5.- Análisis de la forma de fallar y sus efectos. (FMEA).

A principios de la década de los 60's se desarrolló una metodología conocida como análisis de las modalidades o formas de fallo y sus efectos (Failure Mode and Effects Analysis = FMEA), la cual es una formalización del método What-if? , lo que significa que es una metodología que se puede aplicar a procesos y sistemas complejos.

Descripción.-

El análisis FMEA es una tabulación de los equipos de la planta o sistema, sus formas o maneras de fallar y efecto que acompaña a cada forma de descompostura.

La forma de fallar es una descripción de como se descompone un equipo. El efecto de la forma de fallar es la respuesta del sistema o el accidente resultante del deterioro.

En este método no se determina el posible error humano, sin embargo los efectos de una operación incorrecta son habitualmente descritos como una forma de fallar de la maquinaria o equipo industrial, sin ser efectivo para identificar combinaciones de descomposturas que den lugar al accidente.

Objetivo.-

Identificar las formas de fallar de los equipos/sistemas y los efectos potenciales de cada uno de ellos.

Temporalidad.-

En el diseño: El análisis FMEA es válido para identificar medidas de protección adicionales que pueden ser incorporadas al diseño.

En la construcción: El análisis FMEA puede ser utilizado para evaluar cambios de equipos resultantes de modificaciones en campo.

En la operación: Se puede identificar la existencia de simples fallas que puedan generar accidentes.

Tipo de resultados.-

Lista de equipos de planta/sistema, formas de fallar y sus efectos. Esta lista se actualiza fácilmente por modificaciones en procesos o por cambios de diseño.

Naturaleza de los resultados.-

Cualitativos. Escala relativa de fallas de maquinarias o equipos industriales basados en frecuencias de fallas estimadas y/o severidad de los riesgos.

Información necesaria.-

Lista de equipos industriales y/o componentes.
Manuales de equipos industriales en cuanto a su funcionamiento.
Manuales de operación de la planta o proceso.

Recursos humanos.-

Depende fuertemente del tamaño del sistema, pero para una evaluación lo ideal es disponer de 2 analistas experimentados.

Tiempo/Costo.-

De acuerdo con ITSEMAP (1995), de media hora a una hora es un tiempo suficiente para realizar entre 2 y 4 evaluaciones por analista.

Para la estimación de tiempos es importante conocer las similitudes entre los distintos sistemas ya que lógicamente se reduce el trabajo.

4.5.6.- Análisis de árbol de fallas (FTA).

De acuerdo con Butrón (1996) e ITSEMAP (1995), en 1962 se desarrolló la metodología llamada "Fault Tree Analysis" (FTA) que consiste en el análisis y cuantificación de un diagrama lógico, el cual identifica la secuencia de todos los eventos que pueden dar como resultado una falla específica (fuego, explosión o derrame).

Descripción.-

El análisis de árbol de fallas es una técnica deductiva que fija un particular suceso o accidente y a partir del mismo, el analista va identificando sus causas, logrando incluso (en forma gráfica mediante combinaciones de fallas) la identificación de un máximo evento, lo que permitirá pensar en implementar medidas preventivas para evitar el accidente.

Objetivo.-

Identificar combinaciones de fallas de equipo y errores humanos que pueden dar como resultado el accidente.

Temporalidad.-

Se puede utilizar tanto en la etapa de diseño como en la de operación.

Tipo de resultados.-

De tipo cualitativo, presenta la posibilidad de utilizarlo como evaluación cuantitativa (como datos de tasas de falla). Nos da una relación de combinación de fallas/errores que pueden originar el accidente.

Información requerida.-

Se debe de tener una descripción del sistema y conocimiento de fallas y efectos.

La información anterior se puede obtener ayudándose de técnicas como HAZOP (que se analizará más adelante) o FMEA.

Recursos humanos.-

Generalmente un analista será el responsable de la construcción de un árbol con la consulta frecuente a los ingenieros correspondientes.

Como ocurre muy a menudo cuando los árboles de fallas resultan muy complicados, se propone la creación de un grupo de trabajo, asignando a cada miembro una parte del mismo árbol de fallas y la coordinación entre ellos de un experto en el tema.

Tiempo/costo.-

Depende de la complejidad del sistema, como ejemplo una unidad de proceso puede llevar un día para cada árbol de errores, lo que lleva a que en equipos industriales complejos se necesiten incluso semanas para grupos de trabajo con experiencia.

4.5.7.- Análisis de árbol de sucesos o de consecuencias (event tree analysis =ETA)

De acuerdo con los comentarios de Santamaría (1994), el análisis de árbol de sucesos, evalúa las consecuencias que pueden tener lugar a partir de un suceso determinado.

En el análisis ETA se hace énfasis en un suceso inicial que se supone que ya ha ocurrido y se construye un árbol lógico que conecta dicho suceso inicial con los efectos finales, donde cada rama de árbol representa una línea de evolución que conduce a un efecto final (o a la ausencia de éste si una secuencia de circunstancias favorables es capaz de anular sus consecuencias).

El análisis ETA es especialmente adecuado para estudiar las posibles consecuencias de evolución de los acontecimientos tras un accidente.

Esto permite analizar los escenarios posibles y establecer entre ellos una jerarquía en cuanto a su gravedad y probabilidad de ocurrencia, seleccionando situaciones de emergencia para su evaluación cuantitativa y preparar respuestas a las mismas.

Así también esta metodología es una buena herramienta para registrar secuencias de accidentes, por tanto es adecuado para analizar aquellos casos que empiezan y pueden derivarse en una gran cantidad de efectos.

Objetivo.-

Identificar las secuencias del suceso siguiéndolo desde que comienza hasta que termina el accidente.

Temporalidad.-

Tanto en etapas de diseño como en operación para evaluar la idoneidad de las previsiones de seguridad.

Tipo y naturaleza de resultados.-

Los resultados son inicialmente cualitativos, si bien pueden ser cuantitativos si se conocen las probabilidades de ocurrencia de los sucesos.

Información necesaria.-

Conocimiento de sucesos y de las funciones de seguridad y procedimiento de emergencia que pueden mitigar el suceso no deseado.

Recursos humanos.-

Un análisis de árbol de consecuencias puede realizarse por un solo analista siempre y cuando conozca el método. En casos de sistemas más complejos es preferible un equipo de 2 a 4 personas.

Tiempo/costo.-

Depende de la complejidad del sistema y del número de sucesos iniciales definidos. Se encarece si se pretenden tener resultados cuantitativos.

4.5.8.- Índices de DOW/MOND

Como comenta Butrón (1996), estas técnicas fueron desarrolladas por la Imperial Chemical Industries; los índices de Dow/Mond son un método útil que proporciona una escala relativa a los riesgos inherentes a la planta en cuestión.

Ambos métodos están basados en la idea de asignar penalizaciones y bonificaciones según las características de la planta.

Las penalizaciones se asignan a condiciones de la unidad/planta que pueden contribuir a la aparición de un accidente, como son: características de la reacción, severidad de los parámetros de operación (presión, temperatura), cantidad de producto involucrado, efectos dominó, etc.

Las bonificaciones se asignan a las características de la unidad que pueden mitigar los posibles accidentes, como son: condiciones de seguridad de la unidad, sistemas de emergencia, control, contención, protección contra incendios, etc.

Objetivo.-

Proporcionar una escala de unidades en función del índice de riesgo obtenido.

Temporalidad.-

En etapas de diseño (identifica áreas vulnerables y medidas de protección) y operación.

Resultados.-

Escala de las unidades de la planta basada en el índice de riesgo.

Naturaleza de los resultados.-

Semicuantitativos: Cuantitativos en cuanto a escalas, además de cualitativos en cuanto a deficiencias de la unidad y tipología de los accidentes.

Información necesaria.-

Conocimientos precisos de las condiciones de operación de la unidad. Además hay que conocer: métodos, gráficos, tablas y fórmulas disponibles (manuales del usuario).

Recursos humanos.-

Se requiere un ingeniero familiarizado con la química del proceso. Es importante que todas las unidades que vayan a formar parte de la escala final estén evaluadas por el mismo técnico.

Tiempo/costo.-

Depende del número de unidades escogidas para la evaluación. La evaluación de cada unidad tarda de 1 a 3 días dependiendo de la información recibida.

4.5.9.- Análisis de riesgos preliminar (PHA)

El principal objetivo de un análisis de riesgos preliminar (PHA) es identificar riesgos en las etapas iniciales del diseño de la planta e incluso es útil para determinar la optimización del emplazamiento.

Por lo tanto puede ser muy útil para el ahorro del tiempo y del costo si se identifican en este momento los riesgos importantes en la planta futura.

De acuerdo a los comentarios de Butrón (1996), el PHA se centra en los materiales peligrosos y en los elementos importantes, aunque se disponga de muy pocos datos de la futura planta, a grandes rasgos es una revisión de dónde puede liberarse energía sin control, por lo tanto es una lista de riesgo relacionada con: materias primas, productos intermedios y finales, equipos de planta, operaciones, equipos de seguridad, etc., dando como resultado recomendaciones para reducir o eliminar riesgos en las posteriores fases del diseño de la planta.

Objetivo.-

Identificar en las primeras fases peligros potenciales para posteriores etapas.

Temporalidad.-

Cuando se ha definido la ingeniería básica de la planta.

Naturaleza de los resultados.-

Se obtiene un listado cualitativo de riesgos potenciales con recomendaciones para reducir situaciones peligrosas.

Información necesaria.-

Criterios y especificaciones de diseño, de equipos y materiales.

Recursos humanos.-

Uno o a lo máximo dos ingenieros de seguridad.

Tiempo/costo.-

Pequeño comparado con el ahorro que puede suponer una temprana identificación del riesgo potencial.

4.5.10.- Análisis de riesgo y operabilidad (HAZOP)

A mediados de la década de los 60's fue creada otra metodología para el análisis de riesgos en la división Mond de ICI (Imperial Chemical Industries), este sistema se le conoce como Hazard and Operability Studies (HAZOP).

Esta metodología fue originalmente concebida para aplicarse en el diseño de nuevas unidades operativas o modificativas a las existentes, pero, debido al esfuerzo que involucra, ha sido poco aplicada en plantas industriales existentes.

El objetivo de esta metodología es estimular la imaginación en forma sistemática y ser lo suficientemente flexibles para aplicarse a todo tipo de plantas, procesos, equipos industriales, etc.

Selección del grupo de trabajo HAZOP

Un grupo de trabajo profesional óptimo estará formado por 5 a 7 miembros de preferencia con las siguientes especialidades:

- Ingeniero de diseño
- Ingeniero de proceso.
- Supervisor de operaciones (jefe de planta
- Ingeniero de instrumentación.

- Químico.
- Supervisor de mantenimiento.
- Ingeniero de seguridad.

Procedimiento.-

Se realiza un examen basado en la aplicación sucesiva de una serie de palabras guía, que tienen por objeto proporcionar una estructura de razonamiento, capaz de facilitar la identificación de desviaciones.

El estudio de cada línea principal se lleva aproximadamente 15 minutos de estudio; un depósito/reactor con 2 líneas de entrada, dos de salida y un venteo lleva aproximadamente 90 minutos.

Cada sesión deberá de durar no más de tres horas y que no sean en días consecutivos para evitar el tedio.

Las sesiones deberán llevar el siguiente procedimiento:

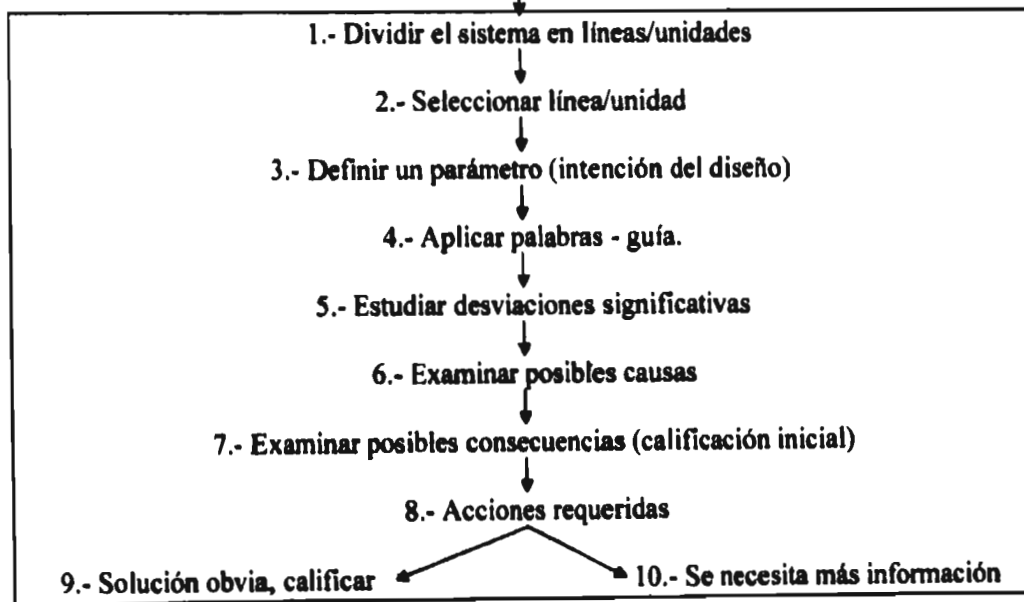


Figura 4.2.- Sistemática del análisis HAZOP

Fuente: Modificada de ITSEMAP "Curso sobre Análisis de Riesgos" ed. MAPFRE, 1ª sección, Madrid; página 12, Marzo de 1995.

A continuación de acuerdo con Santamaría y Braña (1994), se observan las principales palabras guía utilizadas en procesos continuos con sus respectivos ejemplos.

NO	No se consiguen las intenciones previstas en el diseño. Ejemplo: No hay flujo en una línea.
MÁS/MENOS	Aumentos o disminuciones cuantitativas sobre la intención de diseño. Ejemplo: Más temperatura, mayor velocidad de reacción, mayor viscosidad, etc.
ADEMÁS DE	Aumento cualitativo. Se consiguen las intenciones de diseño y ocurre algo más. Ejemplo: El vapor consigue calentar el reactor, pero además provoca un aumento de temperatura en otros elementos.
PARTE DE	Disminución cualitativa. Solo parte de los hechos transcurren según lo previsto. Ejemplo: La composición del sistema es diferente de la prevista.
INVERSIÓN	Se obtiene el efecto contrario al deseado. Ejemplo: El flujo transcurre en sentido inverso, tiene la reacción inversa, etc.
EN VEZ DE	No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo completamente distinto. Ejemplo: Cambio de catalizador fallo en el modo de operación de una unidad, parada imprevista, etc.

A continuación, en la tabla 4.7, se muestra la relación de las palabras guía con los parámetros que más conviene aplicarles a cada una de ellas.

Tabla 4.7.- Aplicación de las palabras guía idóneas a diversos parámetros en relación a líneas de tubería, recipientes y tanques.

PALABRA GUÍA	FLUJO	TEMP.	PRESIÓN	SUST.	CONC.	NIVEL	REAC.
NO	L,R					R,T	L, R, T
MÁS	L, R	L, R, T	L, R, T		L, R, T	R, T	L, R, T
MENOS	L, R	L, R, T	L, R, T		L, R, T	R, T	L, R, T
INVERSO	L, R		L, R, T				L, R, T
ADEMÁS DE				L, R, T			
PARTE DE	L, R						L, R, T
OTRO QUE				L, R, T			L, R, T

L = Línea

R = Recipiente

T = Tanque

Fuente: ITSEMAP "Curso sobre Análisis de Riesgos"; ed. MAPFRE; 2ª sección pág 44; México 1995.

4.5.11.- Análisis del error humano.-

Es una evaluación sistemática de la totalidad de factores que influyen en el trabajo diario de los obreros de una planta. Es el tipo de análisis que sirve para identificar las situaciones de error que pueden desencadenar un accidente.

Objetivo.-

Identificar los errores humanos potenciales y las causas que pueden desencadenar el accidente.

Temporalidad.-

Se puede utilizar en fase de diseño, en construcción y en operación.

Resultados.-

Listado cualitativo de posibles sucesos no deseados, originados por el error humano y una serie de recomendaciones para modificar las cualidades del centro de trabajo, condiciones ambientales, preparación, etc. para mejorar la capacidad de actuación del operador.

Información necesaria.-

Se deberá tener acceso a los procedimientos de la planta industrial, entrevistas con el personal, conocimiento de los procesos, paneles de control/alarma, etc.

Recursos humanos.-

Un analista por planta es suficiente.

Tiempo/costo.-

El tiempo total requerido para el análisis del error humano depende de la complejidad de la planta y del grado de automatización de la misma.

Para darse una idea de los tiempos una etapa de la tarea o procedimiento requiere de una hora de trabajo.

CAPÍTULO V

APLICACIÓN DE UNA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE RIESGOS A PLANTAS Y TALLERES DE CROMADO (CASO DE ESTUDIO)

5.1. INTRODUCCIÓN.- De las diversas técnicas de "Análisis de Riesgos" investigadas en el capítulo anterior, se seleccionó como la más idónea para aplicarla al caso de estudio, la de "Lista de chequeo o verificación" (Check-list), por ser la técnica que más se ajusta al tipo de equipo, materias primas, subproductos y tipos de riesgos involucrados, en procesos perfectamente conocidos, ya que otras técnicas como por ejemplo: análisis ¿Qué sucede si?; análisis de la forma de fallar y sus efectos; análisis de riesgo y operabilidad HAZOP son más apropiadas para giros industriales en donde existan equipos y procesos que trabajan a mayores temperaturas y presiones, así como sustancias químicas más reactivas, explosivas o inflamables.

Por otra parte las técnicas de análisis de riesgo llamadas: Dow y Mond son aplicadas a giros industriales que manejan sustancias con alto índice de riesgo de incendio y explosión, lo que no se presenta en plantas o talleres de cromado, además las técnicas de análisis de árbol de defectos y errores y de sucesos o consecuencias, son utilizadas para giros industriales de mayor complejidad en general que la del cromado.

Con relación a la población o universo de plantas y talleres de cromado se investigó lo siguiente:

En la última encuesta elaborada por el INEGI (1988) a la que se tiene acceso, existían en el Distrito Federal y zona conurbada, 386 establecimientos relacionados con la Galvanoplastia en general; por otra parte, en la Cámara de la Industria de la Transformación (CANACINTRA, sección 72), se tiene un registro de 110 empresas que cotizan en dicha cámara vinculadas con este giro (la gran mayoría, empresas familiares o de tipo casero).

Con la intención de relacionarse con los industriales del ramo, se acudió a la sección 72 de CANACINTRA, en donde se contó con el apoyo y autorización de la Ing. Elsa Judith López Gómez, gerente del Consejo Coordinador de las Industrias Metal-Mecánicas y del Lic. Manuel Guerrero Avila, presidente de la sección 72, industriales de la Galvanoplastia, para asistir a las reuniones de los días jueves en donde gentilmente se interesaron 3 empresarios, para trabajar en sus plantas: "Talleres de Acabados Prado" del empresario Fco. Javier Prado Bocanegra; Galvanodepósitos S.A. del Ing. Wolf Werner Moser y "Cromadora Alvarez Hnos." del I.Q. Raúl Alvarez.

Para aumentar el tamaño de la muestra, se investigó en la sección amarilla del directorio telefónico, donde se reúnen 42 empresas específicamente de cromado, de las cuales 6 ya cerraron por efectos de la contracción del mercado y la crisis económica.

De las 36 restantes, se estableció relación con 30 de estas empresas seleccionadas al azar, para comunicarles la intención de cumplir con 2 objetivos:

- 1) Conocer físicamente su empresa.
- 2) Entregarles la lista de verificación (anexo N° 2 de esta tesis) o cuestionario y devolverlo ya contestado.

Hubo respuesta positiva por parte de 5 empresarios que contestaron las 75 preguntas de la lista de verificación, siendo probable que lo extenso del cuestionario o la falta de tiempo por parte del entrevistado, fueran las razones por las que no se tuvo mayor éxito en la recopilación de la información.

Además, como únicamente se tenía el conocimiento físico de 3 empresas, surgió la oportunidad mediante la ayuda del I.Q. Fernando del Río Basora, Jefe de Unidad Departamental de la Dirección General de Proyectos Ambientales del DDF de integrarse dentro de las visitas programadas de inspección a diferentes giros de la industria, con objeto de buscar una minimización, tratamiento y disposición de residuos peligrosos, patrocinado y coordinado por la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica TÜV ARGEMEX dependiente de la GTZ (Gefellschaft für Technische Zusammenarbeit), en combinación con la Comisión Ambiental Metropolitana.

Se formaron equipos de trabajo de 4 personas para visitar 28 empresas del ramo de la galvanoplastia, bajo la dirección de la Ing. Isabel Kreiner y coordinados por la Ing. Minerva Cruz y el Ing. José Antonio Rueda, teniendo la oportunidad de conocer físicamente otras 7 empresas, por lo que el tamaño de la muestra se cerró a 10 empresas que cumplieron con los 2 objetivos iniciales.

Se confía en que las 20 empresas restantes a las que no se tuvo la oportunidad de conocer u obtener información a partir de los cuestionarios contestados, les sean de utilidad éstos mismos ya que algunas de las preguntas hechas, serán probablemente requerimientos que se tendrán que cumplir a futuro, (como ya está ocurriendo en Europa) y así puedan tener una idea del porvenir de sus industrias.

5.2 RESULTADOS

A continuación se muestra y se comenta el análisis de resultados y las propuestas hechas por los dueños o representantes de las empresas visitadas.

En primera instancia se presenta una tabla con los porcentajes para aquellas preguntas cuyas respuestas pueden ser: positivas (si), negativas (no) y en las que no se obtuvo respuesta (no contestó).

Después el bloque de preguntas en las que se pedía una respuesta o comentario escrito.

Posteriormente se muestra una segunda tabla sobre las preguntas que contaban con varios incisos de respuesta.

Para terminar se seleccionan las preguntas afines, agrupándolas y estableciendo comentarios al respecto.

Población o Universo = 36 empresas

Tamaño de Muestra = 10

Tabla 5.1 Resultados porcentuales de preguntas (bloque I) con 2 opciones de respuesta

N° de pregunta	Respuestas (%)			N° de pregunta	Respuestas (%)		
	SI	NO	NO CONTESTO		SI	NO	NO CONTESTO
1	70	30	0	28	80	20	0
2	40	50	10	29	60	20	20
3	70	30	0	30	100	0	0
4	70	30	0	31	70	30	0
5	80	20	0	32	60	40	0
6	90	10	0	33	60	40	0
7	60	40	0	34	90	0	10
8	80	20	0	35	80	20	0
9	50	30	20	36	0	30	50
10	50	50	0	37	60	30	10
18	80	20	0	38	70	10	20
19	80	20	0	39	40	40	20
20	90	10	0	40	60	20	20
21	60	30	10	41	40	40	20
22	0	100	0	44	60	30	10
23	80	10	10	45	40	50	10
26	80	20	0	46	40	50	10
27	80	20	0	47	20	60	20

5.2.1 Resumen sobre aquellas preguntas (bloque I) en las que se pide una explicación

11.-

- Medidas inexistentes = 50 %.
- No desechan reactivos porque los estabilizan por filtración continua. = 10 %
- No se entendió la pregunta (respuestas fuera de contexto) = 20 %.
- No contestaron = 20 %.

12.-

- Cursos de capacitación a sus jefes de área o maestros experimentados = 60 %
- Programas de concientización en el uso de equipos de seguridad = 10 %
- No hay necesidad de capacitar = 10 %
- No contestó = 20 %

13.-

- Gracias a la supervisión continua no hay riesgos = 20 %
- Todo tipo de riesgos si no se usa el equipo de protección adecuado = 20 %
- Por derrames y los normales por descuido = 10 %
- Limpieza de rectificadores y ductos de extracción = 20 %
- No contestaron = 30 %

14.-

- Suspensión de la corriente eléctrica (Braker de seguridad) = 20 %
- No existe el manual de operación citado = 40 %
- Sí tiene el manual de operación y las medidas dependen del tipo de dificultades y de emergencias que surjan = 10 %
- No contestó = 30 %

15.-

- Falla eléctrica o contaminación orgánica en el proceso = 10 %
- Adición equivocada de producto y derrames de ácidos o bases = 20 %
- Irritación de ojos y quemaduras en piel por contacto con compuestos químicos = 30 %
- Explosión de caldera = 10 %
- Ninguna = 10 %
- Muerte por ingestión o inhalación de cianuros = 10 %
- Incendio = 10 %.

16.-

- Polvo químico seco = 10 %
- Extinguidor tipo ABC = 40 %
- Tipo gas Halón = 20 %
- Tipo AB = 20 %
- Tipo ABC y gas Halón = 10 %

Observación = Existen personas que por tener varios tipos de extinguidores, en caso de accidente no saben cual utilizar.

17.-

- No contestó = 70 %
- Negativo = 30 %

Observación = Se notó en las visitas que las técnicas de análisis de riesgos son en general desconocidas.

20.- Se reconoce que se manejan sustancias tóxicas o peligrosas, pero un 40 % opina que solo resultarían tóxicas si son ingeridas.

24.-

- Cascos, gafas, tapabocas, peto, overol, botas y tapón para oídos = 10 %
- Guantes, botas, careta y cubrebocas = 30 %
- Solo guantes de hule especial = 30 %
- Guantes, mascarilla, botas y mandil = 20 %
- No contestó = 10 %

25.-

- Cortadas en las manos, irritación de ojos, molestias de garganta = 10 %
- Irritación de piel = 10 %
- Ninguna = 60 %
- Quemaduras en cara y piel = 10 %
- Pinchazos por los racks = 10 %

Observación = No es fácil determinar la frecuencia en los accidentes debido a que la antigüedad en el oficio es menor a 5 años en un alto porcentaje.

36.-

- No conocen los límites de exposición = 30 %
- No contestaron = 50 %
- No existen materiales altamente tóxicos = 10 %
- Reconocen la existencia de materiales muy tóxicos, pero desconocen los límites de exposición = 10 %

41.- Observación = Un empresario hizo el comentario de que las autoridades responsables no han proporcionado guía alguna sobre la manera de tratar a los efluentes. Además en la certificación oficial del contenido de los aguas residuales desde 1996, ya no se permiten los análisis en equipos por vía húmeda, actualmente solo se certifica por absorción atómica o plasma, incrementándose los costos.

42.-

- Tratamientos químicos, decantación, filtración, ajuste de pH = 30 %
- Recuperación de la solución = 10 %
- No contestó = 70 %

Observación = Es importante mencionar que el 70 % de los encuestados no contestó el punto en donde las Cámaras de Industriales proporciona este tipo de información a sus agremiados.

43.-

- Contaminación ecológica por las aguas residuales = 20 %

- Por ser productos químicos causarían problemas de consideración = 20 %
- Ningún riesgo por cumplir los efluentes con la norma 031 = 20 %
- No contestó = 40 %

Observación = Un 40 % de los encuestados ignora los riesgos manifestando un desconocimiento sobre el tratamiento. Otro 20 % menciona normas ya en desuso (031).

44.- El 60 % de los encuestados menciona la existencia de registros, pero de nuevo una inspección visual podría refutar esta afirmación.

45.- Observación = Esta pregunta serviría para medir el grado de confiabilidad de las respuestas, debido a que no sería lógico pensar que alguna empresa efectúe una sustancial erogación (en donde se comenta una crisis desde mediados de 1993), por la realización de una auditoría ambiental, que las autoridades no exigen y el Instituto Nacional de Ecología requiere un estudio de impacto ambiental solo para empresas que se instalarán a futuro.

Tabla 5.2 Porcentaje de resultados de las preguntas sobre minimización de residuos (con más de 2 incisos de respuesta)

N° P	A	B	C	D	E	F	A B	A C	A D	A E	B C	B D	B E	C D	A, BC	T	NS U	N C
1			30	50										20				
2	40	20	10				20								10			
3	20	20	10	10	20						10							10
4	40			10		10	10	10							20			
5	30		30	20				10					10					
6	60																30	10
7	10		10		20					10							30	20
8			30	40	10					10								10
9	40	10	10				10									20	10	
10	40	40	20															
11			10	50					20			20						
12	10	20	30	10							30							
13	90							10										
14	10	60	20					10										
15	10	40	30								20							
16	10	20	20	10	40													
17	20		70		10													
18	10			80					10									
19	20		20	10								10		20		20		
20	60	40																
21	40	60																
22	60	30																10

N° P = Número de pregunta; T = Todas; NSU = No se usa; NC = No contestó

5.2.2 Resumen de las preguntas sobre minimización de residuos en donde se pide respuestas comentadas

23.-

- Promover cambios en el material de trabajo para un desagüe más eficaz = 10 %
- Mayor tiempo de escurrimiento en el primer enjuague = 10 %
- Aumentar el núm. de enjuagues, dejando el último enjuague para tratamiento = 10 %
- Compra de un evaporador = 10 %
- Ablandamiento y total desmineralización del agua de uso = 10 %
- No contestaron = 50 %

24.-

- Falta de presupuesto, para dar un adecuado tratamiento a los desechos = 10 %
- Irresponsabilidad por parte del trabajador = 10 %
- Producción defectuosa por contaminación de baños del proceso = 10 %
- Tratamiento de aguas residuales = 10 %
- Descomposición de los baños del proceso = 10 %
- Falta de seriedad de la empresa encargada de manejar los residuos = 10 %
- Aseguramiento de la calidad = 10 %
- No contestaron = 30 %

25.-

- \$ 480.00 diarios = 10 %
- \$ 2500.00 diarios = 10 %
- \$ 5000.00 anuales = 10 %
- \$ 1500.00 anuales = 10 %
- Del 5 al 7 % del total de los costos = 10 %
- Costos variables = 20 %
- No contestó = 30 %

26.- De acuerdo a los límites proporcionados por CANACINTRA, las empresas se dividen de acuerdo al número de empleados en:

Tipo de empresa Número de empleados

Micro----- máximo 15
 Pequeña ----- de 16 a 100
 Mediana ----- de 101 a 250
 Grande ----- de 251 en adelante

De acuerdo a lo anterior, las empresas indagadas presentan los siguientes datos:

Nº de empleados de admon.	Nº de empleados de proc.	Tipo de empresa
400	900	Grande
1	6	Micro
14	36	Pequeña
4	30	Pequeña
5	25	Pequeña
8	21	Pequeña
7	30	Pequeña
2	4	Micro
1	5	Micro
1	3	Micro

5.2.3 Observaciones extraídas de las empresas visitadas en relación a preguntas del bloque II "Minimización de residuos".

Nº de pregunta	Comentarios
3 y 6 =	Se eliminó el proceso de cianurado para aleaciones de Ni-Sn por ser altamente contaminante y el alto costo de su tratamiento.
7 =	Se agregó una técnica extra de decantado, filtrado y disolución.
8 =	Se comenta la realización de un enjuague enérgico a los racks o contenedores en el tercer enjuague.
10 =	Es difícil de entender como en estos tiempos de crisis, existan empresas que cuenten con una unidad de tratamiento de cianuros para llevarlos hasta óxidos de nitrógeno y bióxido de carbono ya que no lo exigen las autoridades respectivas.
15 =	Se comenta que normalmente se adiciona el contenido del tanque de recuperación o primer enjuague, para recuperar las pérdidas por evaporación y arrastre en el baño de recubrimiento.
16 =	Existe una limpieza periódica (quincenal o mensual) de los baños de cobre y de níquel, no así para el cromo.
17 =	Se hace mención que las esferas de poliuretano no dieron buen resultado, además en los sistemas de extracción de vapores pero la mayoría sin lavado de gases y se usa generalmente un agente tenso_ activo llamado Ceromix.

5.2.4 Selección de preguntas por temas similares sobre el bloque I

Tabla 5.3 TEMA I.- Empresas que cuentan con documentación escrita

Preguntas: 1, 2, 3, 6, 7, 9, 21, 28, 29, 40, 41 y 44.

Nº DE PREGUNTA	SI (%)	NO (%)	NO CONTESTÓ
1	70	30	0
2	40	50	10
3	70	30	10
6	90	10	0
7	60	40	0
9	50	30	20
21	60	30	10
28	80	20	0
29	60	20	20
40	60	20	20
41	40	40	20
44	60	30	10

$$\bar{X} = \quad 61.66 \quad \quad 29.17 \quad \quad 9.17$$

Observaciones.- Es alto el porcentaje de documentación escrita que afirman tener las empresas, a pesar de que mucho de esto no es actualmente requerido por las autoridades, pero fueron incluidas con la intención de que el empresario tenga una visión de la tendencia futura sobre el tipo de documentación con la que tendrá que cumplir.

Tabla 5.4 TEMA II Residuos en general

Preguntas Nº: 8, 18, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 46.

Nº DE PREGUNTA	SI (%)	NO (%)	NO CONTESTÓ (%)
8	80	20	0
18	80	20	0
26	80	20	0
27	80	20	0
28	80	20	0
29	60	20	20
30	100	0	0
31	70	30	0
46	40	50	10

$$\bar{X} = \quad 74.44 \quad \quad 22.22 \quad \quad 3.33$$

Observaciones: Existe un sistema de depuración y eliminación, además de que se clasifican en peligrosos o no, almacenándose selectivamente. El personal conoce las características y toma las medidas adecuadas para su manejo.

Tabla 5.5 TEMA III.- Capacitación de personal

Preguntas N°: 5, 12, 27.

N° DE PREGUNTA	SI (%)	NO (%)	NO CONTESTÓ (%)
5	80	20	0
12	60	20	20
27	80	20	0

\bar{X} = 73.34 20 6.66

Observaciones: Es importante mencionar que únicamente se piensa en dar capacitación a jefes de área o maestros oficiales, con buena experiencia debido a que no existe una garantía de permanencia en el personal de reciente contratación.

Por ejemplo, una compañía que cuenta con 36 personas en el área de procesos, durante 1996, hizo más de 90 contrataciones debido a la inestabilidad e irresponsabilidad de sus trabajadores.

Tabla 5.6 TEMA IV.- Riesgos

Preguntas N°: 10,13, 17, 43.

N° DE PREGUNTA	SI (%)	NO (%)	NO CONTESTÓ (%)
10	50	50	0
13	40	30	30
17	0	30	70
43	40	20	40

\bar{X} = 32.5 32.5 35

Observaciones: El industrial opina que en las operaciones de desengrase está el mayor riesgo.

La mitad habla de que anteriormente ya se efectuaron revisiones de riesgo, término que probablemente se presta a confusión, pues se constató verbalmente que son desconocidas en general las técnicas de análisis de riesgos y solo el 20 % menciona que sus efluentes no representan riesgo alguno a la comunidad por cumplir con la norma 031 (la cual ha tenido una reorientación por parte del proyecto de norma 002 ECOL/96)

Tabla 5.7 TEMA V.- Residuos tóxicos

Preguntas N°: 32, 33, 34, 35.

N° DE PREGUNTA	SI (%)	NO (%)	NO CONTESTÓ (%)
32	60	40	0
33	60	40	0
34	90	0	10
35	80	20	0

\bar{X} = 72.5 25 2.5

Un 60 % de los participantes de este estudio, contrata servicios externos con compañías que les caracterizan sus residuos, de esta manera, también tienen la necesidad de saber las cantidades que producen de residuos tóxicos, conociendo el personal de la planta, las características, riesgos y formas de manipular estos residuos.

Un industrial comentó, que recientemente apareció un nuevo reglamento relacionado con los envases de los residuos peligrosos, que impide utilizar los recipientes a cambio, lo que traerá nuevas complicaciones.

Tabla 5.8 TEMA VI.- Respuesta a emergencias

Preguntas N°: 2, 11,14.

N° DE PREGUNTA	SI (%)	NO (%)	NO CONTESTÓ (%)
2	40	50	10
11	30	50	20
14	20	50	30

\bar{X} = 30 50 20

Observaciones: Las empresas que mencionan tener un plan de emergencias, indican como prioridad el corte de energía eléctrica, además de que nunca han tenido la necesidad de desechar reactivos químicos ante cualquier emergencia.

El 60 % restante comenta no tener un plan de emergencias definido.

Tabla 5.9 TEMA VII.- Tratamiento de efluentes

Preguntas: 37, 38, 39, 40, 41.

N° de pregunta	SI (%)	NO (%)	NO CONTESTÓ (%)
37	60	30	10
38	70	10	20
39	40	40	20
40	60	20	20
41	40	40	20

\bar{X} = 54 28 18

Las cámaras que representan a los industriales se preocupan por informar a sus agremiados, sobre los principales tratamientos existentes, además un buen porcentaje de las empresas cuentan con la infraestructura necesaria para tratar sus efluentes, pero al abrirse la oportunidad de importar productos recubiertos electrolíticamente, de dudosa calidad y bajo precio, a mediados de 1993, provocó una competencia desleal, contracción del mercado interno y una crisis económica, que imposibilita el tratamiento continuo de estos efluentes.

5.2.5 Selección de preguntas por temas similares sobre el bloque II "Minimización de residuos"

Tabla 5.10 TEMA VIII.- Limpieza del material antes del recubrimiento

Preguntas N° 1, 2, 5.

N° de pregunta	I N C I S O S D E R E S P U E S T A								
	A %	B %	C %	D %	E %	A,B %	A,C %	B,C %	C,D %
1	0	0	30	50	0	0	0	0	20
2	40	20	10	0	0	20	10	0	0
5	30	0	30	10	0	0	20	10	0

Observaciones: Un aspecto de lo más importante para lograr un buen acabado, es que la pieza a recubrir esté absolutamente limpia, por lo que es satisfactorio que en esta parte del proceso un 70 % de las empresas visitadas, ya utilice desengrasas alcalinos con detergentes y humectantes que son menos agresivos para la salud ocupacional y el medio ambiente que los antiguos agentes de limpieza.

Por otra parte resulta problemático para la salud y el medio ambiente, que todavía un 50 % (por lo tanto existe un 20 % que utiliza ambas sustancias limpiadoras), aún sigue utilizando percloroetileno, por su alto poder disolvente de grasas y ceras, además de que se puede

reutilizar, destilándolo previamente, por lo que no se ha podido encontrar el sustituto ideal.

En todos los casos se utiliza la limpieza electrolítica reversible o no, y en cuanto al porcentaje de utilización de ácidos para desincrustar, decapar y activar, interviene en un 40 % el H₂SO₄ caliente o no, 50 % el ácido muriático y el 10 % restante utiliza ambos.

Tabla 5.11 TEMA IX Disminución de la contaminación por minimización de residuos

Preguntas: 3, 4, 8, (las 3 anteriores de incisos) y 22, 23, (de respuesta éstas últimas 2)

I N C I S O S D E R E S P U E S T A											
Nº de pregunta	A %	B %	C %	D %	E %	F %	AC %	BC %	ABC %	CDEF %	N.C. %
3	20	20	0	0	20	10	0	10	0	10	10
4	40	0	0	10	0	10	20	0	20	0	0
8	0	0	30	40	20	0	0	0	0	0	10

Observaciones: El 40 % de los empresarios encuestados ha pensado en sustituir materias primas peligrosas y cambio de procesos, el resto piensa evitar al máximo los escurrimientos, (40 % no utiliza técnicas para minimizarlos).

El 60 % tiene posibilidades de tratar sus aguas al contar con infraestructura adecuada.

Un 20 % puede tratar los vapores tóxicos del cromado y un 10 % trata sus residuos sólidos en su misma empresa.

Un 20 % utiliza el riel de escurrimiento y un 30 % ha aumentado los tiempos de remoción.

Respuestas a las preguntas Nº 22 y 23.- Ninguna empresa tiene una política definida para minimizar la cantidad de residuos, la gran mayoría (80 %) los mezcla, almacena y paga por el transporte y gestión de sus residuos a empresas especializadas.

Tabla 5.12 TEMA X.- Tipo y número de enjuagues

Preguntas Nº: 11, 12, 13.

I N C I S O S D E R E S P U E S T A								
Nº de pregunta	A %	B %	C %	D %	A,C %	A,D %	B,C %	B,D %
11	0	0	10	50	0	20	0	20
12	10	20	30	10	0	0	30	0
13	90	0	0	10	0	0	0	0

Observaciones: La mitad de los empresarios utiliza los enjuagues por inmersión; a contracorriente e inmersión un 20 %, utilizándose de 1 a 3 enjuagues y agua municipal en el 100 % de los casos.

Algunos empresarios piensan a futuro cambiar a agua desionizada.

Tabla 5.13 TEMA XI.- Mantenimiento de los baños del proceso

Pregunta N°: 14, 15 16.

I N C I S O S D E R E S P U E S T A							
N° de pregunta	A %	B %	C %	D %	E %	A,C %	B,C %
14	10	60	20	0	0	10	0
15	10	40	30	0	0	0	20
16	10	20	20	10	40	0	0

Observaciones: Se hace una filtración continua del níquel, reteniendo las impurezas, para posteriormente secar los contaminantes.

Para el 60 % de las empresas sujetas de estudio, una compañía externa realiza el análisis de control de los baños de proceso, solo el 20 % de las empresas cuentan con un químico de planta

Todas las empresas rellenan los baños del proceso, con los escurrimientos recuperados en el primer enjuague estático.

La frecuencia del mantenimiento o limpieza es muy variable, dependiendo de la carga de trabajo y el grado de calidad del producto que se requiera.

Hasta el punto anterior se ha hecho el comentario de la mayoría de las respuestas pertenecientes a esta "Lista de Chequeo", debiendo aclarar, que hubo algunas respuestas que desde la primera visita se noto que estaban fuera de contexto para este giro, pero se decidió no eliminarlas, para constatar la veracidad de las respuestas de la empresa encuestada, o hasta que punto el encargado, está preparado no tan solo en el conocimiento del proceso, sino también en los riesgos que puede correr él y sus compañeros de trabajo, así como la minimización de residuos y los planes a futuro de la empresa donde labora.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos generales y específicos planteados, además de las observaciones extraídas de las visitas físicas, el producto de las listas de verificación analizadas y lo expresado verbalmente por los empresarios, estas serían las conclusiones obtenidas:

1.- El cromado con tecnología que utiliza cromo III (prácticamente desapercibido en México) tiene una serie de ventajas sobre el cromo VI, sobresaliendo:

- Mayor seguridad para trabajarlo.
- Facilidad de remoción de sus impurezas.
- Nula formación de neblina, la cual es muy densa y dañina en el cromo VI.
- La principal desventaja está en su coloración acerada, menos decorativa que la del Cr VI, aunque ya se está trabajando en ello y los últimos reportes indican que es mínima la diferencia.

2.- Entre las tecnologías alternativas para reducir la peligrosidad del cromo VI, sobresale la que utiliza limadura de Fe (hierro) por lo siguiente:

- No reviste ningún peligro (en la tecnología de bisulfito de sodio, se tiene que cuidar el pH, para que no se desprendan vapores que contienen compuestos con azufre).
- Relativamente fácil y económica de obtener la materia prima.
- No despiden vapores bajo ninguna condición de trabajo.
- Su desventaja radica en que produce mayor cantidad de lodos, que los métodos convencionales, pero merece la pena un estudio económico que tome en cuenta, costos de materia prima y disposición final de lodos, así como sopesar lo que se gana en seguridad.

3.- Según la bibliografía consultada más actualizada, la recuperación electrolítica, en todo tipo de enjuagues y estaciones de pretratamiento representa ventajas como las siguientes:

- Mejoría en la calidad y duración de los enjuagues.
- Reducción en el uso del agua y en el mantenimiento de los procesos.
- Reducción en el uso de reactivos químicos y costos laborales.
- Reducción en el volumen de los lodos y por lo tanto reducción en los costos de manejo, transportación y confinación de los mismos.

4.- En cuanto a las tecnologías de remoción que ayudarían a la minimización de la peligrosidad, a continuación se da un pequeño resumen a reserva de que para profundizar se recurra al capítulo III de este trabajo.

Niquelado.- La tecnología de ósmosis inversa, es la que se comenta ideal para este proceso, entre otras cosas por tener el menor tiempo de recuperación de la inversión (3 años en

promedio). En el cromado no funciona adecuadamente esta tecnología porque el proceso le permite un tiempo corto de vida a la membrana (1 año como máximo).

Cromado.- Una pareja de tecnologías que parece funcionar eficientemente en conjunto, con el proceso de cromado es la electrólisis y el intercambio iónico, con respecto a este último el que más conviene es el del tipo de sistema en la fuente por lo siguiente:

- Menor costo en general.
- Elimina los tiempos fuera en la operación.
- No existe contaminación.
- Son de tamaño mínimo.

Cobrizado.- Lo que se sugiere son el uso de 2 tecnologías principalmente, que son:

- Electrólisis o
- Electrodiálisis.

5.- Una vez que se estudiaron las diversas técnicas de análisis de riesgos, se encontró que para el tamaño de las empresas o el tipo de productos, subproductos, procesos y condiciones de operación la lista de verificación con ciertas modificaciones es la más conveniente para investigar y determinar las recomendaciones a seguir para disminuir la peligrosidad de este giro industrial.

6.- En cuanto a las conclusiones extraídas de la lista de verificación bloque I, se tiene:

6.1.-Elaborar en forma escrita:

- Los procedimientos de operación para cada uno de los procesos.
- Los sistemas de seguridad, higiene y protección en el trabajo (que se haga énfasis en el uso del equipo de protección, o establecer penalizaciones por no utilizarlo).
- Plan de emergencia en caso de accidente.

6.2.- Elaborar material didáctico explicativo de los 3 puntos anteriores (acetatos, transparencias, rotafolios, etc.) y difundirlo por medio de las cámaras o asociaciones de industriales, lugar donde debe acudir un supervisor o maestro operador, para que esta persona lo transmita al resto del personal de su empresa, con ayuda del material didáctico.

6.3 Elaborar un manual que contenga (mediante esquemas) una explicación sencilla del tratamiento más idóneo para cada tipo de efluente, que incluya costos aproximados de la infraestructura mínima para realizarlo de acuerdo a rangos tipo de volúmenes de aguas residuales.

7.- Las siguientes conclusiones de este punto tienen que ver con la lista de verificación para el bloque II, que tiene que ver con: la minimización de residuos, de la peligrosidad y el volumen de los mismos.

- Utilizar desengrasante alcalino que contenga humectantes y detergentes (que no sea orgánico-halogenado).
- Debe de existir una limpieza electrolítica que utilice las 2 polaridades.
- Buscar la sustitución de los procesos cianurados.
- Utilizar la aspersión en tanques de recuperación, con tiempos más largos de goteo (Utilizar un gancho o riel ex profeso para dejar escurriendo el material de trabajo) y tablas anguladas, que permitan que los arrastres sean devueltos al tanque de proceso.
- Utilizar de 3 enjuagues (como mínimo) en adelante a contracorriente o en cascada.
- Utilizar los agentes químicos modificadores de la tensión superficial, agregando además las esferas de polipropileno y planear a futuro la colocación del ciclón extractor con lavador de gases.

8.- En este trabajo se anexo al final del mismo la lista de fichas internacionales de seguridad, para así poder identificar el grado de peligrosidad de las sustancias químicas utilizadas en la industria del cromado.

9.- Los empresarios integrantes de la industria de la galvanoplastia, pertenecen a un gremio golpeado en parte por la apertura comercial de México, reduciendo el mercado de trabajo, teniendo necesidad de importar algunos insumos (níquel, abrillantadores, etc.) requeridos en sus procesos y aunado a lo anterior, tienen la obligación de cumplir con la normatividad que se precisa hoy en día para todo ramo de la industria, enfrentando inspecciones con diferentes intereses y visiones como producto de una descoordinación entre autoridades ambientales, sanitarias y laborales, así como entre autoridades federales, estatales y delegacionales.

10.- Las empresas con mayor antigüedad en general son las más preocupadas por tener una industria menos contaminante, acudiendo sus representantes a las sesiones de las cámaras industriales (CANACINTRA), cursos, seminarios, jornadas de trabajo (Centro Mexicano para la Producción más Limpia), para estar al día, pero en ocasiones sufren el desaliento, después de haber invertido en procesos más limpios y equipos de tratamiento para cumplir con la normatividad, ante la falta de presión por parte de las autoridades hacia otras empresas del mismo o de otro ramo que siguen contaminando.

11.- Al escuchar comentarios por parte de los empresarios, como son:

- a) El cambio que se acaba de dar el año pasado en el tipo de equipo permitido por las autoridades para analizar los residuos, incrementando los costos.
- b) La imposibilidad del industrial de continuar utilizando sus recipientes (tanques de 200 l con tapa hermética) para almacenar sus residuos peligrosos ya tratados e intercambiarlos con la compañía que hace la gestión de los mismos.
- c) A empresas preocupadas por su entorno ambiental y que en anteriores evaluaciones de sus gases de escape, ya demostró estar por debajo de la norma establecida, el no permitirles hacer el gasto de medición una vez al año en lugar de cada 6 meses, para reducir los costos.
- d) El pedir nuevas valoraciones, en base a balances de materia en sus gases de salida.

Se llega a la conclusión, de que hace falta una política por parte del gobierno de mayor aliento, para lograr criterios homogéneos al inspeccionar o juzgar el cumplimiento de la normatividad.

12.- De las empresas visitadas, un alto porcentaje tiene la infraestructura adecuada para dar un tratamiento a sus efluentes, pero el alto costo que representan en esta época de crisis, los insumos necesarios para los diversos tratamientos, los lleva a evaluar la situación de dar empleo a más gente o dar un tratamiento adecuado y constante a sus aguas residuales.

Es importante mencionar que en un 30 % de las empresas visitadas se tuvo la oportunidad de presenciar físicamente el tratamiento de los efluentes así como la bitácora que lleva el personal encargado de adicionar los reactivos químicos y verificar las características fisicoquímicas de sus aguas residuales.

13.- En cuanto a la ubicación física de las instalaciones, el 70 % ha crecido sin una planeación y no cuentan con espacio físico, para parar el funcionamiento de su planta y reordenar las tinas o baños de cada proceso, con la idea de evitar las grandes pérdidas que tienen por el arrastre al estar alejados los baños electrolíticos de los enjuagues (dentro de estas empresas están las que carecen de un tratamiento adecuado) y no contar también con terreno, para poder desarrollar un proyecto de tratamiento de sus residuos.

14.- En general no se tiene arraigada una cultura de seguridad e higiene en el trabajo, a pesar de que los empresarios si adquieren el equipo adecuado, el operario lo utiliza en contadísimas ocasiones.

15.- En ninguna empresa se utiliza agua desionizada en sus procesos, a pesar de que se ha demostrado en lugares como Alemania, que es positivo a largo plazo para mejorar la calidad del acabado, alargar los tiempos de mantenimiento y disminuir los contaminantes, debido a que en México, el costo del agua municipal sigue siendo muy atractivo para el industrial.

16.- Con la situación actual, es muy difícil que se puedan adquirir equipos, como por ejemplo de intercambio iónico, para recuperación de cobre o celdas electrolíticas, evaporadores, lavador de gases, por lo costoso del equipo.

17.- El 10 % de las empresas visitadas cuenta con filtro prensa para disminuir los lodos, un 20 % adicional, esta en vías de adquirirlo, ya que cuentan con espacio físico y recursos económicos para ello, aspecto muy importante, debido a que su costo actual para una pequeña empresa que produzca entre 2,000,000 a 3,000,000 de piezas colgadas (piezas que no rebasan los 10 dm² de superficie) y de 40 a 50 toneladas a granel anuales, necesitaría adquirir un filtro prensa con un valor de \$ 80,000.

18.- Existe una tendencia a abandonar los baños de cianuro, por la peligrosidad que conllevan en su manejo, además la gran mayoría de las empresas conocidas, introduce aire mediante tuberías con perforaciones que se ubican en el fondo de las tinas de proceso, produciendo el efecto benéfico de una mayor penetración y menor tiempo de niquelado.

19.- A pesar de haber visitado empresas preocupadas de la salud de sus operarios, en las que contaban con esferas de polipropileno, ductos extractores de gases para su posterior tratamiento, además del líquido modificador de la tensión superficial, de todas formas se llegan a escapar los vapores tóxicos del ácido crómico (H_2CrO_4), por lo que es necesario fomentar el cambio a una tecnología que utilice el cromo III (Cr^{3+}) mucho menos tóxico que el anterior.

20.- De 1992 a la fecha, se dio una deserción de la afiliación de las cámaras industriales de muchas empresas, también se dio el cierre de otras por la crisis económica (sobre todo microempresas) y grandes dificultades para conseguir financiamientos para actualizar la tecnología existente.

21.- Se observó una cada vez mayor vinculación de la industria con los centros de enseñanza e institutos de investigación avanzada (ESIQUE, UAM Azc. Instituto de Ingeniería de la UNAM etc.), en proyectos exitosos, en donde los costos de operación de dichos proyectos, lo comparten las industrias del ramo o con el apoyo de instituciones de fomento a la investigación.

22.- Falta de conocimiento de algunos empresarios de los problemas de contaminación que provocan, de la existencia de la legislación ambiental y de la utilidad de realizar cambios de procesos para mejorar su productividad y llegar a ser más competitivos.

23.- Ignorancia y arrogancia de inspectores y funcionarios de gobierno en relación a los procesos involucrados en la galvanoplastia y la aplicación correcta de las normas relacionadas con las emisiones, descargas y residuos.

24.- Al final de la década de los años 50's, se fundan las primeras empresas cromadoras en México, dándose un crecimiento de este giro en los sesenta, para llegar a tener su mayor auge en la década de los 70's.

Se presenta una contracción del mercado a principio de los años 80's, debido a la aparición de facias o defensas de plástico en los autos (artículo muy importante para esta industria) y para la década de los 90's se presenta una nueva disminución de mercado por la liberación de importaciones (1993), de artículos cromados de dudosa calidad, pero bajo precio, lo que provocó el cierre de un buen número de las microindustrias y actualmente se observa un repunte gracias al industrial que se esfuerza por dar un acabado de calidad a su producto.

Es la intención de que esta tesis contribuya con su granito de arena a mejorar las condiciones de trabajo de los operarios, exista menor riesgo para todo el personal que labora en este giro, así como le sea de beneficio al empresario.

A continuación se dan una serie de recomendaciones, con el mejor de los deseos de que sean de utilidad.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

1.- Buscar la participación de expertos en el ramo para la elaboración de un manual de buenas prácticas de trabajo, con instrucciones básicas y de preferencia sencillas para disminuir la contaminación, reducir el gasto de agua y minimizar los residuos.

Se debe de buscar la forma más adecuada para que este manual o folleto llegue al industrial (por medio de las oficinas de la tesorería de la federación, o mediante la forma de identificación que utilizó el INEGI por ejemplo) y a ese gran núcleo de microindustrias familiares, que no se acerca a las cámaras industriales y que es cercano al 90 % del total de las empresas de galvanoplastia que hay en México.

2.- Construcción a mediano y largo plazo de plantas de tratamiento de aguas industriales, después de un estudio de aquellas industrias cuyos efluentes se puedan tratar en forma mancomunada, las zonas donde sería más urgente este servicio, por estar la mayor densidad industrial, las empresas más contaminantes.

Lo anterior sería útil por las siguientes razones:

- a) Al trabajar a mayores volúmenes se abatirían los costos de tratamiento en general.
- b) Se tendría la seguridad de que las aguas residuales de estas industrias sí son tratadas permanentemente; la dependencia gubernamental (comisión de aguas del DDF) podría suministrar después esta agua tratada para ser reutilizada por la misma industria.
- c) En cuanto al ramo de la galvanoplastia existen zonas donde existe mayor número de empresas de este giro como son: Vallejo, Tlalneplanta, Naucalpan y Atizapán. Otra zona es la de Iztapalapa y Tulyehualco y una más sería la de Ecatepec y zonas circunvecinas.

3.- Elaboración de un video que involucre los procedimientos de operación más adecuados para disminuir o evitar accidentes y riesgos en este ramo y otros de la industria, así como el manejo de las sustancias más peligrosas, para que sea observado por el trabajador, pero sobre todo por los de reciente ingreso o de menor experiencia.

La elaboración de cada video específico podría hacerse en forma conjunta por las cámaras industriales trabajando de común acuerdo con las dependencias gubernamentales relacionadas, supervisado por especialistas del ramo y la recuperación económica se daría al adquirirlo el empresario que lo necesite.

4.- Inducir, aconsejar u obligar de alguna forma al operario para acostumbrarse a trabajar con el equipo de seguridad, para poder implantar paso a paso una cultura de seguridad en el trabajo.

5.- Se han dado los primeros pasos, pero es necesario que se incremente el trabajo en conjunto entre instituciones académicas, empresarios y autoridades encargadas de vigilar y

hacer cumplir la normatividad para que se den cuenta de la realidad que se vive en este giro industrial.

6.- El empresario con posibilidades de espacio debería abrir la oportunidad en forma permanente al alumnado de niveles superiores, tanto para la realización del servicio social como de desarrollo de tesis, para que mediante la dirección de estos proyectos los investigadores académicos estén continuamente enterados de los problemas actuales que se tienen en la industria y busquen una solución de manera conjunta: empresario, alumno e investigador.

7.- Elevar el costo mediante un impuesto extra de aquellas sustancias químicas que ofrecen mayores riesgos a la salud y al ambiente, por ejemplo el percloroetileno, para fomentar el empleo de agentes limpiadores menos agresivos y que ya están en uso.

Sustitución de otras materias primas como por ejemplo:

- a) Eliminación de los peligrosos cianuros.
- b) Cambiar paso a paso la utilización del ácido crómico por la tecnología que utiliza el cromo III.
- c) Sustituir las pastas para pulir a base de estearina y cebo, por sustancias más biodegradables.

8.- Con respecto al último inciso del punto anterior, puede ser positivo con respecto a la salud ocupacional, dotar de mayor protección en general al operario y efectuar una rotación del personal que trabaja en el pulido y desbastado, donde existe mayor riesgo de inhalar micropolvos que afectan a la larga las vías respiratorias.

9.-Desarrollar técnicas de ahorro de insumos y energía como sería:

- a) La recolección y el aprovechamiento de las aguas de lluvia para los servicios.
- b) Instalar una serie de serpentines con tubería de cobre, recubiertos de vidrio o acrílico, para que funcionen como calentadores solares y durante una buena época del año sirvan para mantener a cierta temperatura el agua que se utilizará en los procesos y se requiera menos energía eléctrica o menor cantidad de diesel o gas, utilizados en la caldera.

10.- Identificar la ubicación de créditos blandos para impulsar la modernización tecnológica y la producción más limpia de este sector.

11.- Buscar las estrategias más adecuadas para llevar a cabo las siguientes acciones:

- a) Capacitación y sensibilización de empresarios.

- b) Capacitación y sensibilización de inspectores y funcionarios menores de gobierno en áreas ambientales, sanitarias así como de higiene y seguridad laboral.**
- c) Creación de empresas que funcionen como "monitores", en donde participe el sector académico, las agencias extranjeras de cooperación, los centros de producción mas limpia, para apoyar a grupos de pequeñas empresas y que puedan resolver en forma compartida sus problemas tecnológicos.**
- d) Difundir las experiencias resultantes de otros países para problemas similares.**

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACGIH

Confederación Industrial Americana Gubernamental de Higiene (American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

Activación

Proceso por el cual se remueve el último vestigio de óxido, sobre una superficie de metal y una capa delgada del mismo metal, para asegurar que la superficie del mismo, que será recubierta, este electroquímicamente activa. Se usa como una técnica de preparación de superficies antes del recubrimiento electrolítico.

Agentes humectantes

Productos químicos que reducen la tensión superficial del agua, permitiendo que fluya de las piezas de trabajo sin gotear.

Aleaciones

Es la adición de un metal a otro metal o combinaciones de metales, para proporcionar o mejorar características específicas.

Análisis de riesgo

Es el desarrollo de una estimación cualitativa o cuantitativa del nivel de peligro potencial, de una actividad, referida tanto a personas como a bienes naturales, en términos de la magnitud del daño y la probabilidad de que tenga lugar.

Anfiprótico

Material que muestra propiedades ácidas y básicas. Este término se aplica comúnmente a los óxidos e hidróxidos de los metales que pueden formar cationes y aniones complejos.

Anión

Ion cargado negativamente que se forma por la adición de electrones a átomos o moléculas.

Ánodo

En la electrólisis, el electrodo que tiene potencial positivo con respecto al cátodo, es el electrodo terminal a donde llegan los electrones.

Buffer

Sustancia amortiguadora que evita que se presenten cambios repentinos o drásticos de la acidez o basicidad de una solución, manteniendo dentro de un pequeño rango, el pH de una solución.

CAG

Grupo de evaluación de carcinógenos.

Catión

Ion cargado positivamente que se forma por la remoción de electrones de átomos o de moléculas.

CAS

Resumen químico de ayuda. Por sus siglas en Inglés: Chemical Abstract Service.

Cátodo

En la electrólisis, el electrodo con potencial negativo con respecto al ánodo.

CENAPRED

Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Decapado

Proceso que utiliza ácido para disolver óxido o herrumbre, también se le podría llamar limpieza ácida.

Desengrasado

Forma de limpieza que normalmente utiliza solventes clorados.

El vapor del solvente disuelve cualquier grasa en la superficie y al condensarse posteriormente, se resbalará de la pieza de trabajo, atrayendo el material soluble dentro del recipiente.

DL₅₀

Dosis letal media (efectos tóxicos en el 50 % de los animales en experimentación).

EC

Comunidad Europea (European Community).

Electrolimpieza

Es un proceso en el que la pieza de trabajo se hace primero cátodo, al aplicar corriente eléctrica se genera gas hidrógeno por la electrólisis del agua, resultando una acción de lavado altamente eficiente. Siguiendo el tratamiento inicial, como cátodo el circuito es invertido, por lo que la pieza de trabajo se convierte en ánodo. El gas oxígeno se genera en la superficie y produce la acción de limpieza final.

EPA

Agencia de protección ambiental.

Exposición

Se da cuando un individuo está en contacto con alguna sustancia.

Exposición crónica

Exposiciones repetidas, o largos periodos de tiempo entre la exposición y el daño.

Galvanoplastia

Es el proceso de recubrir electrolíticamente una superficie no metálica con una capa metálica.

Galvanostegia

Proceso que recubre electrolíticamente un objeto metálico con una capa delgada de otro metal, del mismo metal o de una aleación.

ICSC

Fichas internacionales de seguridad química. (International Chemical Safety Cards).

LC₅₀

Concentración letal media.

Limpieza ultrasónica.

El material adherente es removido por energía ultrasónica aplicada a través de un líquido. La energía toma la forma de ciclos de presión positiva y negativa en la superficie de trabajo. Con un líquido actuando como fluido de trabajo, la frecuencia elevada (hasta 10 Khz) empujando y jalando afloja hasta los materiales más fuertemente adheridos.

MAC

Concentración máxima permisible (Maximum allowable concentration)

NFPA

Agencia de protección nacional contra incendios. (National Fire Protection Agency).

NIOSH

Instituto nacional de salud y enfermedad ocupacional (National Institute for Occupational Safety and Health).

NOM

Norma Oficial Mexicana.

OIT

Organización internacional del trabajo.

OMS

Organización mundial de la salud.

OSHA

Administración ocupacional de salud y enfermedad. (Occupational Safety and Health Administration).

Paramagnético

Propiedad que tienen elementos metálicos con electrones desapareados en capas externas de sus átomos de ser ligeramente atraídos por un campo magnético.

PNUMA

Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente

Pasivación

Proceso en el que la pieza de trabajo al estar en contacto con un ácido fuerte muy concentrado, provoca la formación de una capa de óxido del mismo material que impide proseguir con el proceso de electrodeposición.

Peligro

Condición física o química que puede causar daño a las personas, al medio ambiente o a la propiedad, o también se expresa como el potencial de un agente ambiental para causar un perjuicio a la salud.

Residuo peligroso

Sustancia que por sus altos índices de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, corrosividad o acción biológica (CRETIB) puede ocasionar una acción significativa al ambiente, la población y sus bienes.

Riesgo

Probabilidad de que ocurra un evento generalmente desfavorable, o también es una medida de la pérdida económica o daño a las personas expresada en función de la probabilidad del suceso y la magnitud de las consecuencias.

RTECS

Control de la emisión de sustancias tóxicas liberadas. (Release Toxics Emission Control Substances).

Surfactante

Sustancia química que disminuye la tensión superficial de los integrantes de una solución.

Sustrato

Pieza o material de trabajo sobre el que se recubrirá con una capa de otro material.

STEL

Valor de exposición corta. (Short Term Exposure Limit). Es un límite intermedio de concentración de sustancias químicas en el aire de los lugares de trabajo.

TLV

Valor límite umbral. (Threshold Limit Value). Límite fijado en base a experimentaciones con animales de laboratorio o menos frecuente, en base a estudios epidemiológicos en trabajadores expuestos ocupacionalmente a una determinada sustancia química.

USEPA

Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica.

Referencias Bibliográficas

- 1.- Aldrich James R.; "Better Heavy Metal Waste Treatment Method"; Metal Finishing; Págs. 51 - 55, Tyndall Air Force, Florida; 1994.
- 2.- Arcos Serrano Ma. Esther, Becerril Albarrán Josefina, Espíndola Zepeda Margarita, Fernández Villagómez Georgina y Navarrete Rodríguez Ma. Eugenia; "Transporte , Destino y Toxicidad de constituyentes que hacen peligroso a un residuo"; Cuadernos de Investigación N° 2; CENAPRED; págs 55-58; México; Marzo, 1994.
- 3.- Barauskas Romualdas and Sato Anthony; Copper Plating; Lea Ronal Inc.; Freeport N.Y.; Special Metal Finishing Guidebook; págs. 223-234; Freeport, New York, 1995.
- 4.- Bastenier, Homrok e Innes; Limpieza y Desengrase de los Metales; editorial CEDEL; págs. 6-8; Barcelona, España; 1973.
- 5.- Bird, Robert W.; Aqueous Alkaline Cleaners: A better Alternative Metal Finishing; New York; págs. 10-20; March 1995.
- 6.- Bowers Alan R., Ortiz Carlos R., Cardozo Roberto "Iron Process for Treatment of Cr VI Wastewaters"; Metal Finishing; Págs. 37 - 41; Nashville Tennessee; November 1986.
- 7.- Butrón Arturo J.; "Curso-Taller sobre Administración y Análisis de Riesgos"; Programa Universitario del Medio Ambiente; Facultad de Química de la UNAM; págs 1.2-1.8; México D.F. 1996.
- 8.- Canada and the World Environment; Minister of Supply and Services; págs. 4-15; Ottawa, Ontario, Canada; 1992.
- 9.- Canada Year Book 1997; Published Minister for Statistics Canada; Minister of Industry; págs. 49-50; Ottawa, Ontario, Canada; 1997.
- 10.- Castellan Gilbert W.; Físicoquímica; 2ª. Edición ; SITESA; de. Addison Wesley Iberoamericana; Tlalpan, México D.F.; pág. 420; 1987.
- 11.- Considine, Douglas M.; Van Nostrands Scientific Encyclopedia; Vol 2; 7ª edición; de. Van Nostrands Reinhold; New York, U.S.A.; págs. 632-634; 1989.
- 12.- Crampton Peter "Reverse Ósmosis System" Metal Finishing, págs 21 - 27; Fort Lauderdale Florida; Mars 1982.
- 13.- Cushnie George C. "Pollution Prevention and Control Technology for Plating Operations"; editorial National Center for Manufacturing Sciences; Ann Arbor, Michigan, 1994.

- 14.-Diario Oficial de la Federación; 2ª sección; México D.F.; págs. 57-60; Lunes 18 de Octubre de 1993.
- 15.- Diario Oficial de la Federación; 1ª sección; México D.F.; págs. 68 85; Lunes 6 de Enero de 1997.
- 16.-Diario Oficial de la Federación; 1ª sección; México D.F.; págs. 11-14; Jueves 9 de Enero de 1997.
- 17.- Dibari George A.; Nickel Plating. International Nicker Inc. Special Metal Finishing Guidebook; págs. 259-279; Saddle Brook, New Jersey, 1995.
- 18.- Eason John "Sources versus end of pipe ion exchange for waste treatment, págs. 45 - 47, Metal Finishing; Terryville, Connecticut; January, 1990.
- 19.- Fabro Mario; "Vacuum Distillation for the Recovery of Rinse Water and Concentrated Solutions in the Electroplating Process"; Berkeley, California; págs. 45 - 47; Noviembre, 1992.
- 20.- Filskov Per, Goldschmidt Gitte, Kragh Hansen Mogens, Höglund Lena, Johansen Tea, Libak Pedersen Christian y Wibroe Lone; "Substitutes for Hazardous Chemicals in the Workplace"; ed. Lewis Publishers; Boca Ratón, Florida; págs. 4-15, 17-53, 62; 1996.
- 21.-Freeman Raymond A.; Center Chemical Process (CCPS); "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis"; Plant Operations Progress; St. Louis Missouri; Vol. 9, N° 4; págs. 231-233, Octubre, 1990.
- 22.- Fuchs John F.; Blackstone Ultrasonic Inc. Metal Finishing; Jamestown, New York; págs. 15-18; January 1984.
- 23.- Galvao Luiz A.C., Corey Germán; "Serie Vigilancia 5 CROMO"; Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud; Organización Mundial de la Salud; págs.21-23, 35-37; Metepec, México; 1987.
- 24.- Ginocchio J.C.; "Removal of Metallic Ions During Drinking Water Treatment by Sulzer Technical Review; Switzerland, 1992.
- 25.- Grebenyuk V.D. et al. "Status and Prospects of Purification Methods for Electroplating plant Effluents"; Soviet Journal Water Chemical Technology; Vol 11; N° 5; págs. 407 - 421; 1989.
- 26.- Hosea Michael, Nelis Patrick, Mayne Michael; "Metal Recovery by Ion Exchange Five Crucial Issues"; Metal Finishing; págs. 67 - 69; Las Cruces, New México; October, 1988.
- 27.- ITSEMAP; "Curso sobre Análisis de Riesgos"; editorial MAPFRE; 1ª sección; págs 2-42; Madrid, 1995.

- 28.- Jacobs Jerome H.; "Treatment and Stabilization of a Hexavalent Chromium Containing Waste Material"; Environmental Progress; Cleveland Ohio; Vol. 11, N° 2; págs 123 - 126; May, 1992.
- 29.- Johnson J.C.; Chemical Surface Preparation. Special Metal Finishing Guidebook; págs 102- 112; June 1995.
- 30.- Kenneth Newby; Functional Chromium Plating, Special Metal Finishing, pág. 213; June 1995.
- 31.- Kirk - Othmer. Concise Encyclopedia of Chemical Technology. Wiley Interscience Publication, pág. 1023, 1985.
- 32.- Kirk-Othmer; Encyclopedia of Chemical Technology; Vol. 6; 4ta. Edición; de. John Wiley and Sons; págs. 229-291; 1994.
- 33.-Lagrega Buckingham Evans; "Hazardous Waste Management"; ed. McGraw-Hill; págs. 54-62 USA, 1994.
- 34.- Mcadms, John P. et al. ; Tables and Data Shetts, Special Metal Finishing Guidebook; Department of Defense, Washington; págs. 769-791; 1994.
- 35.- McGraw-Hill; Encyclopedia of Science and Technology; Vol 6; 7ª. Edición; de. MacGraw-Hill; U.S.A.; págs. 261-265, 1992.
- 36.- Mcketta John J.; Encyclopedia of Chemical Processing and Design; Vol. 17; 1a. edición; editorial Marcel Dekker Inc.; U.S.A.; págs. 375-379; 408-425; 1983.
- 37.- Mertens J.A.; Metal Cleaning with 1,1,1, Trichloroethane Metal Finishing; New York; págs 41-44; May 1989.
- 38.- Mohler J.B.; The Chromium Plating Bath, Finishing Pointer, Metal Finishing; págs. 17-18; Julio 1986.
- 39.-Montague David F.; "Process Risk Evaluation-What method to use?"; Reliability Enginnering and System Safety; Vol. 29; Park Center, Knoxville, Tennessee; págs. 27-53, USA 1990.
- 40.- Mortimer Charles E.; Química; 1ª. Edición; editorial Grupo Editorial Iberoamérica; pág. 477; México D.F.; 1983.
- 41.- Murphy Michael; "Focus on Chromium"; Metal Finishing; ed. Elsevier; Saint Etienne, France; págs. 34-39, Agosto, 1995.

- 42.- Nichols J.K. y Crawford P.J. "Managing Chemicals in the 1980's; OCDE French; págs 19-28; París 1983.
- 43.- Opaskar Vince and Crawford Dave, "Trivalent Chromium Plating Bath using Ion Exchange", Metal Finishing, págs. 49 - 51, Ontario, Canadá; January 1991.
- 44.- Pansini M. Colella C. y D'Gennaro M. "Chromium Removal from Water by Ion Exchange Using Zeolite", Metal Finishing Special, págs. 145 - 157; Nápoles, Italia; 1994.
- 45.- Philipp C. T. "Wastewater Treatment"; Enviroscience Inc.; Metal Finishing Special; Págs. 724 - 745; Hot Springs, Arizona; 1995.
- 46.-Piplani Paul D. "Recognition and Control of Chemical Hazards in Plating Operations"; Metal Finishing; editorial Elsevier; págs 41-48; Tulsa Oklahoma, Nov. 1993.
- 47.- Ragosta Joseph M. "Using Your Ion Exchange Waste Treatment Equipment",Metal Finishing, págs. 7 - 9; Tully, New York; November, 1991.
- 48.- Ramírez A. Ernest, D'alessio D. Frank; "Design and Engineering of a Wastewater Pretreatment Facility"; Metal Finishing ; Págs. 15 - 20; Plainfield, New Jersey; November, 1994.
- 49.- Rodríguez Milord Daniel; "Serie Vigilancia 10 NIQUEL"; Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud; Programa de Salud Ambiental; Organización Panamericana de la Salud; Organización Mundial de la Salud;págs. 31-33, 55-57; Metepec México; 1991.
- 50.- Santamaría Ramiro J.M. y Braña Aísa P.A. "Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química, Editorial MAPFRE, Esp.; págs. 5-22; Madrid, 1994.
- 51.- Seoanez Calvo Mariano; "Auditorías Medioambientales y Gestión Medioambiental de la Empresa"; coeditado por: Ediciones Mundi-Prensa y Análisis y Trabajos Prospectivos; págs.103-107; Madrid, España, 1995.
- 52.- Sawyer D.T. and Martell A.E.; "Industrial Environmental Chemistry"; edit. Plenum Press; New York; Págs. 78 - 87; USA, 1992.
- 53.- Schoeman J.J. Van Staden J.F. and Saayman H.M. "Evaluation of Reverse Ósmosis for Electroplating effluent Treatment", Water Science Technology, Vol. 25 N° 10, págs. 79 - 93; Pretoria, Sudáfrica; 1992.
- 54.-Serie Monografías N° 5; "Prevención y Preparación de la Respuesta en caso de Accidentes Químicos en México y en el Mundo"; SEDESOL, Instituto Nacional de Ecología; Primero y Segundo listado de Sustancias Tóxicas; págs. 229-241; México D.F., 1994.

- 55.- Shkhashiri Bassam Z; *Chemical Demonstrations. A Handbook for Teachers of Chemistry*; Vol. 4; editorial The University of Wisconsin Press; págs. 228-231; 1992.
- 56.- Snyder Donald L.; *Decorative Chromium Plating*; Atotech U.S.A. Inc.; *Metal Finishing Special*; págs 205-211; Cleveland Ohio, June 1995.
- 57.- Steward F.A. and Glover Ritzert Connie; "Waste Minimization and Recovery Technologies"; *Metal Finishing*; Págs. 746-767; Pittsburgh, USA; 1995.
- 58.- Stikelman Heward H. and Elliott Fraser R.; "Doing Business in Canada"; de. Matthew/Bender; Vol. III; Capítulo 24; págs16-31; 37-57; April 1997.
- 59.-Suokas Jouko;"Evaluation of the Quality of Safety and Risk Analysis in the Quemical Industry"; *Risk Analysis* ; vol. 8 N° 4; págs. 581-591; USA, 1988.
- 60.- Tharp James W.; "Wastewater Treatment of Chromium"; *A Production Approach Products Finishing*; Págs. 78 - 81; Orlando, Florida; March, 1989.
- 61.- *The Canning Handbook on Electroplating*, published by W. Canning Limited; G.T. Hampton, S.T. Birmingham U.K.; 22ª. Edición; págs. 455-459; 462-465; 1978.
- 62.- *The Environment in Canada*; Produced by External Communications Division;Reference series N° 1; págs. 5-14; Ottawa, Ontario, Canada; 1989.
- 63.- *The States of Canada's Environment*; Canadian Green Plan; págs. 14-19; Ottawa, Ontario, Canada; 1992.
- 64.-Ullmans; *Encyclopedia of Industrial Chemistry*; Vol A-7; 5ta edición; ed. VCH; págs. 433-495; Federal Rep. of Germany; 1986.
- 65.- Ullmans *Encyclopedia of Industrial Chemistry*; Vol A-9; 5ª. Edición; de. VCH; págs. 133-173; Fed. Rep. Germany; 1986.
- 66.- Vallejo Francisco José; *Galvanostegia Electroquímica Aplicada*; de. Manuales Hobby N°. 3; Buenos Aires Argentina; Págs, 47-54; 1954.
- 67.- Wiaux J.P. and Nguyen T.; "Recovered Value from Electroplating Industry Waste"; *Metal Finishing*; Págs. 85 - 92; Switzerland, 1990.
- 68.- Zaki, Nabil; *Electrocleaning. Special Metal Finishing Guidebook*; págs. 125-126; Kearny New Jersey; Junio 1995.
- 69.- Zehnder Alexander J.B.; "Fundamentals, Risk Assessment and Legislation"; *Proceedings of the Scope Workshop on Soil and Groundwater Pollution*; Kluwer Academic Publishers; Netherlands, 1995.

Anexo 1

Aplicación de una técnica de Análisis de Riesgos (Lista de Chequeo) en procesos de cromado.

Introducción.- La siguiente lista de chequeo (Check-list), se intenta aplicar en forma anónima a empresas en donde intervenga el proceso de cromado, para ser utilizada en revisiones de riesgo de proceso, pretendiendo cubrir aspectos importantes de las operaciones del proceso de deposición electrofítica, en base al cobre, níquel y cromo.

Los objetivos que se persiguen al emplear la siguiente lista de chequeo son:

- Determinar qué tan adecuados son los diseños de las instalaciones.
- Estimular la identificación de riesgos potenciales.
- Determinar los procedimientos de mantenimiento y operación.
- Fomentar el desarrollo de sistemas y procedimientos de gestión interna del ambiente.

Las preguntas 1 → 10; 18 → 23; 26 → 35; 37 → 41; y de la 44 a la 47, se plantearon de forma positiva y negativa, de tal forma que las respuestas concisas, serán sí o no, pero en mucho se agradecería, que si existe algún comentario a realizar o una contestación intermedia más extensa, (como las preguntas planteadas de la 11 → 17; 24 y 25, la 36 y por último la 42 y 43), sean anexadas por separado.

A - Información General

- 1) ¿ Existe en la empresa un plan de gestión medioambiental, escrito y actualizado?
Si _____ no _____
- 2) ¿ Existe un plan de emergencias escrito y actualizado, en caso de accidente grave?
Si _____ no _____
- 3) ¿ Existe un plan, escrito y actualizado, de mantenimiento de la planta? (revisión y control de la maquinaria de los sistemas de producción, de seguridad y de emergencia).
Si _____ no _____
- 4) ¿ Existe un sistema de seguridad, higiene y protección en el trabajo y, si existe, se cumple?
Si _____ no _____
- 5) ¿ Existe un sistema de formación e información al trabajador sobre el manejo de equipos, así como de la composición, propiedades, manipulación y eliminación de cualquier producto o sustancia utilizados?
Si _____ no _____
- 6) ¿ Existe una copia de todos los informes, permisos y autorizaciones administrativas a nivel local, delegacional, municipal, estatal o federal?
Si _____ no _____

- 7) ¿Existen los contratos (o permisos), por escrito y actualizados, de gestores y transportistas externos?
Si _____ no _____
- 8) ¿Existe un sistema de tratamiento, depuración o eliminación de los residuos líquidos, sólidos o gaseosos, y documentación escrita al respecto?
Si _____ no _____
- 9) ¿Existe una lista de procedimientos de operación, y ésta se encuentra completa y actualizada?
Si _____ no _____
- 10) ¿Se han hecho cambios en el proceso después de una revisión de riesgos del mismo?
Si _____ no _____
- 11) ¿Qué medidas se tienen para desechar rápidamente los reactivos, si lo anterior se requiere por una situación de emergencia en la planta? _____
- 12) ¿Que tipo de entrenamiento hace falta tanto a supervisores como a operadores? _____
- 13) ¿Que riesgos de proceso se presentan al efectuar el mantenimiento rutinario, y cuales por procedimientos de limpieza del equipo? _____
- 14) ¿Que medidas contempla el manual de operación para situaciones de arranques, paros, emergencias y dificultades? _____
- 15) ¿Cuál sería el incidente más severo posible, o la peor combinación concebible de fallas que pueda ocurrir? _____
- 16) ¿En caso de incendio, existen hidrantes dentro de las instalaciones, o suficiente número de extintores, y éstos de que tipo son? _____
- 17) ¿Considera que existen otros puntos del proceso a los cuales se les deba efectuar una revisión de proceso más profunda, usando otras técnicas de análisis de riesgos? _____

B - Materias primas y almacenamiento

- 18) ¿Se han clasificado los materiales en peligrosos o no peligrosos? (Tanto materias primas, como productos intermedios y finales).
Si _____ no _____
- 19) ¿Conoce el personal las características de cada materia prima (composición y propiedades, riesgos, manejo, etc.) y toma las medidas necesarias para su manipulación?
Si _____ no _____
- 20) ¿La empresa utiliza sustancias consideradas como tóxicas o peligrosas?
Si _____ no _____
- 21) ¿Existe un sistema actualizado y escrito, y la documentación necesaria para una gestión correcta de las materias primas?
Si _____ no _____

22) ¿Se tiene algún programa de salud ocupacional?

Si _____ no _____

23) ¿Puede el material causar dermatitis?

Si _____ no _____

24) ¿Que tipo de protección personal se requiere para protegerse contra absorción por medio de la piel? _____

25) ¿Se han tenido lesiones? (De que tipo y con que frecuencia). _____

C - Residuos Sólidos

26) ¿Los residuos generados se almacenan selectivamente? (En función de sus riesgos, características, propiedades, vida activa, eliminación o tratamiento, manipulación, etc.)

Si _____ no _____

27) ¿Conoce el personal las características antes mencionadas de éstos residuos y toma las medidas necesarias para su manipulación?

Si _____ no _____

28) ¿Existe un sistema actualizado y escrito, así como la documentación necesaria para la gestión de los residuos? (Almacenamiento, tratamiento, eliminación, transporte, etc.).

Si _____ no _____

29) ¿Existe documentación escrita sobre los métodos de análisis de residuos y los límites máximos permitidos para evacuarlos?

Si _____ no _____

30) ¿El almacenamiento de residuos se realiza en envases adecuados para evitar fugas y accidentes?

Si _____ no _____

31) ¿Trata y gestiona sus propios residuos?

Si _____ no _____

D - Residuos Tóxicos y Peligrosos

32) ¿Existe un método de caracterización de sus residuos tóxicos y peligrosos? (Propiedades físico-químicas, composición química, volumen, peso).

Si _____ no _____

33) ¿Ha realizado algún estudio sobre las cantidades producidas?

Si _____ no _____

34) ¿El personal de la planta conoce los riesgos y características de éstos residuos tóxicos y peligrosos y cumple todas las recomendaciones de manipulación?

Si _____ no _____

35) ¿Los almacenes de residuos tóxicos y peligrosos están separados, perfectamente localizados y señalizados?

Si _____ no _____

36) ¿Conoce cuáles son los materiales altamente tóxicos y cuales son sus diferentes límites de exposición? (LC₅₀, LD₅₀, TLV, STEL). _____

E - Efluentes y Vertidos

37) ¿Se conoce la composición de todos los efluentes líquidos que se producen en la instalación?

Si _____ no _____

38) ¿Se tratan éstos efluentes antes de su vertido?

Si _____ no _____

39) ¿Se conocen todas las características (Físicas, químicas y biológicas) de éstos efluentes líquidos?

Si _____ no _____

40) ¿Existe documentación escrita sobre los métodos de análisis de éstos vertidos y de los límites máximos permitidos?

Si _____ no _____

41) ¿Existe un sistema, actualizado y escrito, así como la documentación necesaria para la correcta gestión de éstos efluentes?

Si _____ no _____

42) ¿Cuales son los procesos de depuración? _____

43) ¿Que riesgos existen si se vacían materiales del proceso en alcantarillas o drenajes de las áreas circunvecinas? _____

F - Gestión Medioambiental

44) ¿Existen registros escritos de todos los parámetros que afectan a la gestión del medio ambiente? (Volúmenes de residuos, tipo y características, almacenamiento, tratamientos, sistemas de emergencia, etc.).

Si _____ no _____

45) ¿Existe y se aplica un plan de auditorías ambientales?

Si _____ no _____

46) ¿Existe un plan escrito y actualizado de reducción de residuos (Sólidos, líquidos o gaseosos)?

Si _____ no _____

47) ¿Existe un plan escrito y actualizado para la transformación, modificación o disminución de la peligrosidad de productos tóxicos y el desarrollo de productos amigables con respecto al medio ambiente?

Si _____ no _____

Elaboró: I.Q. Ramón Maubert Franco.

Cuestionario relacionado con "Minimización de Residuos"

Introducción.- Este cuestionario se pretende aplicar a empresas del ramo de la galvanoplastia, que permanecerán en el anonimato para garantizar que la información proporcionada, únicamente se aplique en el conocimiento de la situación de las empresas mexicanas con respecto a sus proyectos de minimización de residuos.

Instrucciones.- Escriba sobre la raya de la derecha la letra, o letras relacionadas con los incisos, que correspondan con las características de su empresa.

De las preguntas número 23 a la 25, o para alguna otra que considere extenderse en su respuesta, utilice el espacio libre al final de las preguntas.

Agradecimientos.- Señores empresarios quiero hacerles un reconocimiento por su valiosa ayuda y la atención prestada a estos 2 cuestionarios (lista de chequeo y cuestionario sobre minimización de riesgos), indispensables para la realización de mi tesis. De antemano muchas gracias.

1.- Tipo de disolvente o desengrasante utilizado por su empresa _____

- a) 111 Tricloroetano b) Tricloroetileno c) Percloroetileno
d) Desengrase alcalino + detergentes y humectantes e) otro tipo (¿cual?)

2.- Utiliza limpieza electrolítica de tipo _____

- a) Anódica o inversa b) Catódica o directa c) Periódicamente reversible d) No utiliza

3.- Para disminuir la contaminación, aplica los siguientes métodos _____

- a) Sustitución de materiales peligrosos b) Cambios de equipo o proceso, para mejorar la manufactura
c) Rediseño de productos d) Reciclado de subproductos y empaques
e) Entrenamiento de los operarios. f) Ninguno de los anteriores (¿podría especificar cual?)

4.- Se cuenta con procesos y equipos para tratar _____

- a) Aguas residuales b) vapores tóxicos del proceso. c) Residuos sólidos
d) Todos los procesos e) Dos de ellos (¿cuales?) f) ninguno.

5.- Se aplica para remover cualquier óxido metálico, formado en la limpieza _____

- a) H₂SO₄ caliente b) HCl a temperatura ambiente c) Ácido muriático d) no se usa.

6.- Para el proceso de cobrizado se utiliza _____

- a) Baños de recubrimiento a base de cianuros b) Baños de recubrimiento sin cianuros.

7.- Utiliza alguna o algunas técnicas para mantener o recuperar la solución química en el tanque del proceso _____

- a) Tiempos de goteo adecuados b) rieles de goteo por arriba del tanque de recubrimiento
c) Enjuagues por aspersión sobre el tanque de recubrimiento d) Tablas de goteo anguladas

e) Tanque especial para escurrimientos (antes del primer tanque de enjuague).

8.- Emplea una o varias de las siguientes técnicas para minimizar el escurrimiento _____

- a) Usar la concentración más diluida posible de los reactivos químicos.
- b) Operar los baños a la mayor temperatura posible, disminuyendo la viscosidad.
- c) Aumentar el tiempo de remoción de los racks. d) Ninguna.
- e) Colocar las piezas de trabajo en un riel para que exista un arrastre mínimo.

9.- Dentro de los costos de la empresa se toma en cuenta lo siguiente _____

- a) Costos de manejo ambiental b) costos por pérdidas en la producción
- c) Costos de proceso no optimizado d) Costos de entrenamiento y preparación de operarios

10.- Se cuenta con una unidad adicional para tratamiento de cianuros (CN⁻) a óxidos de Nitrógeno más Bióxido de Carbono (NO + CO₂) _____

- a) Sí b) No c) No es necesario.

11.- Los tipos de enjuague que se manejan en su empresa son: _____

- a) a contracorriente b) Estático c) Por aspersion d) Por inmersión

12.- El número de enjuagues que se manejan para cada tina de recubrimiento _____

- a) Uno b) Dos c) Tres d) Cuatro e) Cinco f) Seis

13.- Clase de materia prima en los enjuagues: _____

- a) Agua potable municipal b) Agua desionizada c) Agua tratada

14.- El control analítico de la concentración y pureza de los baños lo realiza _____

- a) Químico de la empresa. b) Compañía externa
- c) Un operario empíricamente d) No se hacen

15.- El recambio o sustitución de las soluciones en los baños electrolíticos es de tipo _____

- a) Vaciado total (¿cada cuando?) b) relleno con solución salina nueva o agua de enjuague (¿cada cuando?)
- c) Otra forma (¿cual?)

16.- Con que frecuencia se realiza el mantenimiento o limpieza de los baños? _____

- a) Cada tercer día b) Quincenal c) Mensual d) Semanal e) Otra (¿Cual?)

17.- Para tinas de cromado, para evitar o disminuir los vapores se cuenta con _____

- a) Ciclón extractor con lavador de gases b) Esferas de poliuretano
- c) Agentes químicos modificadores de la tensión superficial d) solo ciclón extractor
- e) otros f) ninguno.

18.- El tipo de control que se realiza con los residuos es _____
 a) Únicamente se separan los residuos b) Reciclaje interno c) Otro (¿Cual es?)
 d) Se almacenan y se paga por su transporte a empresas especializadas.

19.- Planes a futuro de la empresa _____
 a) Cambio de equipo o instalaciones b) Planeación de una política ambiental
 c) Se tomarán medidas para reducir o manejar los residuos.
 d) Programas de capacitación para el personal que opera la planta.
 e) Cambios en las características de la materia prima.

20.- Existe alguna persona perteneciente a la empresa que conozca la legislación vigente? _____
 a) Sí b) No

21.- Los residuos generados se manejan de forma: _____
 a) Individual b) Mezclada

22.- Existe una política de la empresa para minimizar la cantidad de residuos? _____
 a) Sí b) No

23.- De ser positiva la respuesta anterior, podría indicar en forma breve en que consiste su programa de minimización de residuos? _____

24.- ¿Cuales son los problemas más comunes a los que se enfrenta en la operación de la planta? _____

25.- Los costos anualizados por el manejo de residuos ascienden a: _____

26.- Para efectos de ubicar a su empresa dentro de las micro, pequeña, mediana o gran empresa, en su establecimiento laboran un número de empleados igual a: _____ administrativos; _____ en procesos.

Elaboró: I.Q. Ramón Maubert Franco.

ANEXO 2

Fichas Internacionales de Seguridad Química

En este anexo 2 se han integrado las principales fichas internacionales de seguridad química, de la mayoría de sustancias químicas que intervienen en el proceso de cromado por medio de recubrimiento electrolítico.

En éstas fichas internacionales de seguridad química se resume la información esencial, sobre salud y seguridad en el manejo de sustancias químicas, desarrolladas como una actividad conjunta de 3 organismos internacionales mencionados a continuación:

- El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- La Organización Internacional del Trabajo (OIT).
- La Organización Mundial de la Salud (OMS).

La creación de cerca de 400 fichas internacionales de seguridad química, (de donde se seleccionaron las vinculadas con el cobrizado, niquelado y cromado) elaboradas con el objeto de difundir tanto entre empresarios como empleados y gente del medio, las evaluaciones de los riesgos que entrañan para la salud humana y el medio ambiente, éstas sustancias químicas peligrosas sobre todo en la pequeña y mediana industria.

Las 19 fichas técnicas relacionadas con sustancias que intervienen en la galvanostegia han sido escogidas y modificadas en su totalidad del programa internacional de seguridad de las sustancias químicas publicado por la comisión de las comunidades europeas con sede en Luxemburgo e impreso en el año de 1992.

Las 5 diferentes numeraciones que se mencionan para la mayoría de las 19 sustancias (en algunos casos, solo se tienen 4 numeraciones) tienen por objeto obtener una rápida información en caso de accidente y están relacionadas mediante su simbología con:

CAS = Chemical Abstract Service. (Resumen químico de ayuda).

RTECS = Release Toxics Emission Control Substances. (Control de emisiones de sustancias tóxicas liberadas).

ICSC = International Chemical Safety Cards (Fichas Internacionales de Seguridad Química)

UN = United Nations. (Numeración con la que identifican las Naciones Unidas a las sustancias químicas más tóxicas).

EC = European Community (Numeración con la que se identifican las sustancias químicas más tóxicas, en la Comunidad Europea).

1. Ácido clorhídrico (HCl)

Números de identificación: CAS # 7647-01-0; RTECS # MW4025000;
 ICSC # 0163 UN # 1050 EC # 017-002-00-2

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1K	2D	3H
Explosión			6A

EXPOSICIÓN		7E	
Inhalación	8J	9B	10D
Piel	11G	12A	13A
Ojos	14A	15B	16A
Ingestión	17G	18A	19C

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20G	21C	22D

Datos Importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24D	25E	26K	27M

Estado físico: Como gas licuado, es incoloro, con olor acre, más pesado que el aire. En solución con el agua, a 15 °C se logran disolver hasta 455 L de HCl por L de agua.

Peligros químicos: La sustancia es un ácido fuerte, que reacciona violentamente con las bases y es corrosivo. Reacciona también violentamente con sustancias oxidantes, formando gas tóxico (cloro). Ataca muchos metales, formando gas combustible (hidrógeno).

Límites de exposición laboral: TLV: 5 ppm; 7 mg/m³.

Propiedades físicas: Punto de ebullición (101.3 kPa) = - 84 °C. Punto de fusión= -114 °C
 Masa molecular = 36.5. Densidad relativa como gas (aire = 1): 1.3.

Notas: Los síntomas de edema pulmonar a menudo no se manifiestan hasta pasadas unas horas, agravándose por esfuerzos físicos. Descanso y atención médica son necesarios.

Síntomas por inhalación: dolor de garganta.

Carta de emergencia de transporte: TEC (R) - 20G17.

Código NFPA: H 3; F 0; R 0.

2. Ácido nítrico (HNO₃ al 70%)

Números de identificación:
ICSC # 0183

CAS # 7697-37-2
UN # 2031

RTECS # QU5775000
EC # 007-004-00-1

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1I		3C
Explosión	4D		

EXPOSICIÓN		7B	
Inhalación	8K	9B	10C
Piel	11J	12B	13A
Ojos	14H	15D	16A
Ingestión	17G	18A	19F

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASE Y ETIQUETADO
20I	21J	22B

Datos Importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24B		26G	27H

Estado físico: Líquido de amarillento a incoloro con un olor acre.

Peligros químicos: Se descompone por calentamiento, formándose vapores tóxicos. Es un fuerte oxidante y reacciona violentamente con combustibles y agentes reductores. Es un fuerte ácido que reacciona violentamente con las bases y es corrosivo con respecto a la mayoría de los metales, formando óxidos de nitrógeno. Reacciona muy violentamente con la mayoría de los compuestos orgánicos comunes, por ejemplo: acetona, ácido acético, anhídrido acético, ocasionando peligro de explosión o fuego. Ataca a algunos plásticos.

Límites de exposición laboral: TLV = 2 ppm; 5 mg/m³; TLV (STEL) = 4 ppm; 10 mg/m³.

Propiedades físicas: Punto de ebullición = 122 °C; Punto de fusión = -42 °C.

Densidad relativa (agua = 1) = 1.4; es miscible en agua.

Presión de vapor a 20 °C = 387 Pa.

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1) = 1.01.

Notas: Dependiendo del grado de exposición, un examen médico periódico es adecuado, además es aconsejable enjuagar las ropas contaminadas con abundante agua.

Código NFPA: H 3; F 0; R 0.

3. Ácido sulfámico (NH₂SO₃H)

Números de identificación:
ICSC # 0328

CAS # 5329-14-6
UN # 2967

RTECS # WO5950000
EC # 016-026-00-0

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1C		3H
Explosión			

EXPOSICIÓN		7A	
Inhalación	8G	9A	10C
Piel	11N	12A	13A
Ojos	14E	15B	16A
Ingestión	17F		19C

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20C	21F	22L

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24A	25C	26J	

Estado físico; Apariencia: Cristales incoloros o polvo.

Peligros químicos: Al descomponerse el ácido por calentamiento, produce nitrógeno, además gases y vapores corrosivos (SO₂, NH₃). La solución en agua es un ácido moderadamente fuerte que reacciona con las bases.

Límites de exposición laboral: TLV no ha sido establecido.

Propiedades físicas: Densidad relativa (agua = 1) = 2.12.
Solubilidad en agua, en g/ml: 17.5

Notas: Los síntomas de edema pulmonar, a menudo no se manifiestan inmediatamente, solo después de unas horas y se agravan si hay esfuerzo físico, por lo que es esencial descansar y estar bajo observación médica.

4. Ácido sulfúrico (H₂SO₄)

Números de identificación:
ICSC # 0362

CAS # 7664-93-9
UN # 1830

RTECS # WS5600000
EC # 016-020-00-8

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1E	2A	3B
Explosión			6A

EXPOSICIÓN		7B	7C
Inhalación	8C	9B	10B
Piel	11C	12A	13A
Ojos	14C	15B	16A
Ingestión	17C	18A	19C

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20D	21B	22B

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24B	25C	26J	27F

Estado físico; Apariencia: Líquido oleoso, higroscópico, incoloro e inodoro.

Peligros químicos: En combustión forma vapores tóxicos (SO₂). Es un fuerte oxidante y reacciona violentamente con combustibles y agentes reductores, también es un ácido fuerte, por lo que reacciona violentamente con las bases, además de ser corrosivo a la mayoría de los metales comunes formando un gas flamable (hidrógeno). Reacciona exotérmica y violentamente con agua y materiales orgánicos.

Límites de exposición laboral: TLV = 1 mg/m³ (como TWA); STEL = 3 mg/m³.

Propiedades físicas: Punto de ebullición (descomp.) = 340 °C; Punto de fusión: 10 °C.

Densidad relativa (agua = 1): 1.8; Solubilidad en agua: Miscible.

Densidad de vapor relativa (aire = 1): 3.4

Notas: Los síntomas de edema pulmonar, no se manifiestan a menudo hasta pasadas unas horas, agravándose con el esfuerzo físico. Se recomiendan descanso y atención médica.

Nunca verter agua en el ácido, siempre agregarlo lentamente el ácido a el agua y almacenarlo en un área con piso de concreto resistente a la corrosión.

Carta de Emergencia de transporte: TEC (R)- 10b. Código NFPA: H 3; F 0; R 2: W.

5. Cloro (Cl₂)

Números de identificación:
ICSC # 0126

CAS # 7782-50-5
UN # 1017

RTECS # FO2100000
EC # 017-001-00-7

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1I	2E	3B
Explosión	4A	5B	6A

EXPOSICIÓN		7B	7C
Inhalación	8F	9D	10C
Piel	11F	12A	13A
Ojos	14H	15B	16A
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	ALMCENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20H	21G	22D

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24D	25H	26J	27J

Estado físico; Apariencia: Gas amarillo verdoso, con olor acre, más pesado que el aire, por lo que puede circular a nivel del suelo.

Peligros químicos: Reacciona violentamente con muchos compuestos orgánicos y con metales finamente divididos, ocasionando peligro de fuego y explosión. Al entrar en contacto con el aire se produce HCl. Ataca los metales en presencia del agua. Ataca a los metales en presencia del agua, así como a plásticos, hules y algunos recubrimientos.

Límites de exposición laboral: TLV = 1 ppm; 3 mg/m³

Propiedades físicas: Punto de ebullición = -34 °C; Punto de fusión = -101 °C.

Densidad relativa (agua = 1): 1.4; Solubilidad en agua: 0.7 g/ml a 20 °C.

Densidad de vapor relativa(aire = 1): 2.5

Notas: Los síntomas de edema pulmonar tardan en presentarse unas horas, agravándose si existe esfuerzo físico. Se recomienda descanso y observación médica; no utilizarse en la vecindad del fuego, superficies calientes o al soldar.

Síntomas por inhalación: Dolor de garganta, síntomas de efectos retardados.

Carta de emergencia de transporte: TEC (R)- 20G10 Código NFPA: H 3; F 0; R 1: W

6. Cobre (Cu)

Números de identificación:
ICSC # 0240

CAS # 7440-50-8

RTECS # GL5325000

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1H	2H	3A
Explosión			

EXPOSICIÓN		7F	
Inhalación	8G	9A	10B
Piel		12B	
Ojos	14D	15A	
Ingestión	17A	18A	19G

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20F	21A	

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24E	25C	26A	27B

Estado físico; Apariencia: Polvo o trozos de color rojo que cambia a verde en presencia de aire húmedo.

Peligros químicos: Al sobrecalentarse se forman vapores tóxicos. Es atacado por muchos ácidos y amoníaco. Se disuelve bien en ácido nítrico (HNO₃) o en ácido sulfúrico concentrado y caliente (H₂SO₄).

Límites de exposición laboral: TLV (como TWA): 0.2 mg/m³ (como vapor).
TLV (como cobre): 1 mg/m³ (como polvos y neblina)

Propiedades físicas: Punto de ebullición: 2567 °C;
Punto de fusión: 1083 °C.
Densidad relativa (agua = 1): 9.0;
Solubilidad en agua: ninguna.
Presión de vapor = 0.13 kPa a 1628 °C.

7. Cromato de plomo VI (PbCrO₄)

Números de identificación:
ICSC # 0003

CAS # 7758-97-6

RTECS # GB2975000

EC # 082-004-00-2

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMERA AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1C		3H
Explosión			

EXPOSICIÓN		7G	7H
Inhalación	8E	9A	10A
Piel		12B	13B
Ojos	14D	15B	16A
Ingestión	17I	18A	19A

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20A	21D	22E

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24A	25A	26F	27N

Estado físico; Apariencia: Polvos amarillos o naranja.

Peligros químicos: Por encima de su punto de ebullición se descompone, produciendo gases tóxicos (óxidos de plomo). Reacciona con los oxidantes fuertes (H₂O₂, Na₂O₂, K₂O₂). También reacciona con aluminio, dinitronaftaleno, hexacianoferrato (Fe₂(CN)₆). Reacciona con compuestos orgánicos a elevadas temperaturas ocasionando incendios peligrosos.

Límites de exposición laboral: TLV (como Cr): 0.05 mg/m³.

Propiedades físicas: Punto de fusión = 844 °C; Densidad relativa (agua = 1): 6.3
Solubilidad en agua = ninguna.

Notas: En la literatura es desconocida la temperatura de descomposición. El pigmento de cromato de Pb puede contener apreciables cantidades de compuestos de Pb solubles en agua. La liberación de gases tóxicos de Pb y sus compuestos, se liberan durante el proceso de soldar, cortado y calentamiento del material tratado con cromato de plomo.

Carta de emergencia de transporte: TEC (R)- 61G11.

8. Cromo (Cr)

Números de identificación:
ICSC # 0029

CAS # 7440-47-3

RTECS # GB4200000

TIPOS DE PELIGRO	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1L	2G	3H
Explosión	4F	5A	

EXPOSICIÓN		7C	
Inhalación		9A	10C
Piel		12A	13A
Ojos	14B	15B	16A
Ingestión	17A	18B	19D

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20B	21A	

Datos importantes

VIAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24B	25A	26A	27B

Estado físico; Aspecto: Polvo metálico.

Peligros químicos: Reacciona violentamente con peróxido de hidrógeno, ácidos y oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión.

Límites de exposición laboral: TLV: 0.5 mg/m³ (como TWA).

Propiedades físicas: Punto de ebullición = 2642 °C

Punto de fusión = 1900 °C.

Densidad relativa (agua = 1): 7.1.

Solubilidad en agua = ninguna.

Notas: No aparecen en la bibliografía los límites de explosividad.

No llevar a la casa la ropa de trabajo.

9. Formaldehído (HCHO)

Número de identificación:
ICSC # 0275

CAS # 50-00-0
Un # 1198

RTECS # LP8925000
EC # 605-001-00-5

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1G	2F	3G
Explosión	4B	5A	6C

EXPOSICIÓN		7B	7C
Inhalación	8J	9B	10C
Piel	11L	12A	13A
Ojos	14J	15B	16A
Ingestión		18A	

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20G	21L	22F

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24C	25E	26I	27K

Estado físico; Apariencia: Gas con olor característico.

Peligros químicos: La sustancia polimeriza con peligro de incendio y explosión. En combustión, forma gases tóxicos. Es un ácido débil. Reacciona violentamente con agentes oxidantes, causando peligros de incendio y explosión también.

Límites de exposición laboral: TLV: 1 ppm; 1.2 mg/m³ (como TWA).
STEL: 2 ppm; 2.5 mg/m³.

Propiedades físicas: Punto de ebullición = -20 °C; Punto de fusión = -92 °C

Densidad relativa (agua = 1): 0.8. Solubilidad en agua: Miscible.

Densidad de vapor relativa (aire = 1): 1.08. Gas flamable.

Temperatura de autoignición: 300 °C. Límites explosivos de % en volumen en aire: 7-73.

Notas: se maneja a menudo una solución que contiene: 37% de formaldehído, 15% de metanol y agua. Se está intentando cambiar el TLV = 0.3 ppm (0.45 mg/m³) como valor pico. Si una persona ha padecido asma no debe de estar en contacto con el formaldehído.

Código NFPA: H 2; F 4; R 0.

10. Hidrógeno (H₂)

Números de identificación:
ICSC # 0001

CAS # 1333-74-0
UN # 1049

RTECS # MW8900000
EC # 001-001-00-9

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1J	2B	3D
Explosión	4B	5A	6D

EXPOSICIÓN			
Inhalación	8H	9E	10C
Piel	11I	12C	13C
Ojos		15C	
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
	21I	22G

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24C	25D	26H	

Estado físico; Apariencia: Gas licuado sin color.

Peligros químicos: Calentándolo puede causar combustión violenta o explosión. Reacciona violentamente con aire, O₂, Cl₂, ocasionando peligro de fuego o explosión.

Propiedades físicas: Punto de ebullición = -253 °C; Densidad relativa (aire=1): 0.07
Temperatura de autoignición = 560 °C. Gas flamable. Límites de explosión, %de volumen en aire = 4-76 %.

Notas: La adición de pequeñas cantidades de una sustancia flamable o un incremento en el contenido de oxígeno en el aire aumenta fuertemente la combustibilidad.

Si la combustión se realiza en un espacio confinado se convierte en una detonación.

Altas concentraciones de H₂ en el aire provoca una deficiencia de oxígeno, con el riesgo de perder el sentido o la muerte. No usar el H₂ en la vecindad de una flama o una superficie caliente o al soldar. Las medidas mencionadas en la sección de prevención son aplicables a la producción son aplicables a la producción, llenado de cilindros y almacenaje del gas.

Prevenir la formación de cargas electrostáticas (por ej. conectando a tierra las instalaciones eléctricas) eliminar toda fuente de chispas eléctricas.

Código NFPA: H 3; F 4; R 1;

11. Hidróxido de amonio (NH₄OH)

Números de identificación: CAS # 1336-21-6 RTECS # BQ9625000
 ICSC # 0215 UN # 2672 (10-35%), 2073 (35-50%), 1005 (>50%) EC # 007-001-01-2

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1C		3H
Explosión	4B		6B

EXPOSICIÓN			
Inhalación	8M	7B	7C
Piel	11H	9C	10D
Ojos	14G	12A	13A
Ingestión	17F	15B	16A
		18A	19C

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20H	21A	22J

Datos importantes:

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24B	25C	26G	27M

Estado físico; Apariencia: La solución de amoníaco en agua es incolora, con olor acre.

Peligros químicos: La solución en agua es una base fuerte, que reacciona fuertemente con ácidos y es corrosiva al aluminio, zinc, cobre, estaño, plata y sus aleaciones. Reacciona con mercurio, iones plata, cloro, yodo y agentes oxidantes fuertes, causando peligro de explosión. Al atacar a los metales forma H₂; también reacciona con plásticos y hule.

Límites de exposición laboral: TLV no ha sido establecido;
 TLV para amoníaco (como TWA) = 35 ppm; 24 mg/m³ como STEL.

Propiedades físicas: Densidad relativa (agua = 1): 0.9; Solubilidad en agua: Miscible
 Densidad de vapor relativa (aire = 1): 0.6.

Ingestión aguda, síntomas: ocurren quemaduras gástricas de la parte superior del tracto gastrointestinal, con posible shock o colapso de la persona afectada.

Carta de emergencia de transporte: TEC (R)- 20G24

Código NFPA: H 2; F 1; R 0.

12. Hidróxido de potasio (KOH)

Números de identificación:
ICSC # 1813

CAS # 1310-58-3
UN # 1813

RTECS # TT2100000
EC # 019-002-00-8

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1F		3F
Explosión			6A

EXPOSICIÓN		7B	7C
Inhalación	8I	9A	10D
Piel	11C	12A	13A
Ojos	14H	15B	16A
Ingestión	17H	18A	19C

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20K	21H	22B

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24B		26J	27G

Estado físico; Apariencia: Sólido blanco deliquescente inodoro.

Peligros químicos: Es una base fuerte, que reacciona violentamente con ácidos, además es corrosivo para los metales sobre todo en aire húmedo con el Zn, Al, Sn y Pb, formando H₂.

Límites de exposición laboral: TLV: 2 mg/m³ (como valor pico).

Propiedades Físicas: Punto de ebullición a 101 kPa: 1324 °C Punto de fusión: 380 °C
Densidad relativa (agua = 1): 2.04 Solubilidad en agua, g/100 ml a 25 °C: 110

Notas: Nunca vaciar el agua dentro de un recipiente que contenga bases o ácidos fuertes, cuando se disuelva o diluya, siempre se agregará dichas sustancias a el agua lentamente, vertiéndola por las paredes del recipiente que contiene al agua. Leer 28A.

Carta de emergencia de transporte: TEC (R)- 80G13

Código NFPA: H 3; F 0; R 1.

13. Níquel (Ni)

Números de identificación:
ICSC # 0062

CAS # 7440-02-0
UN # 1378

RTECS # QR5950000

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1D	2A	3A
Explosión	4C	5A	

EXPOSICIÓN		7C	
Inhalación	8A	9A	10A
Piel	11A	12A	13B
Ojos	14D	15A	16A
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20A	21B	22A

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24A	25C	26B	27F

Estado físico; Apariencia: Polvo de aspecto metálico blanco plateado o rondelas blanco azulado.

Peligros químicos: El Ni es un agente reductor fuerte que reacciona con oxidantes, O₂, ácidos, etc. creando peligro de incendio y explosión.

Límites de exposición laboral: TLV: 1 mg/m³ (como TWA).

Propiedades físicas: Punto de ebullición: 2900 °C

Punto de fusión: 1455 °C

Densidad relativa (agua = 1): 8.9

Solubilidad en agua: ninguna

Código NFPA: H 1; F 3; R 3

14. Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)

Números de identificación:
ICSC # 0164

CAS # 7722-84-1
UN # 2015

RTECS # MX0900000
EC # 008-003-00-9

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1M	2B	3H
Explosión	4E		6C

EXPOSICIÓN		7B	
Inhalación	8L	9B	10D
Piel	11K	12A	13A
Ojos	14I	15D	16A
Ingestión	17E		19C

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20J	21E	22H

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24B		26G	27I

Estado físico; Apariencia: Líquido incoloro.

Peligros químicos: Es un fuerte oxidante y reacciona violentamente con combustibles y agentes reductores que pueden ocasionar peligro de incendio y explosión, sobre todo en presencia de metales. Ataca muchas sustancias orgánicas como por ejemplo: los textiles y el papel.

Límites de exposición laboral: TLV: 1 ppm; 1.4 mg/m³.

Propiedades Físicas: Punto de ebullición: 115-157 °C. Punto de fusión: < 50 °C
Densidad relativa (agua = 1): 1.3 Solubilidad en agua: miscible.
Densidad de vapor relativa (aire = 1): 1.2.
Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C: 1.06.

Notas: Leer el punto 28 A

Carta de emergencia de transporte: TEC (R)- 51G05

Código NFPA: H 2; F 0; R 3.

15. Plomo (Pb)

Números de identificación:

CAS # 7439-92-1
ICSC # 0052

RTECS # OF7525000

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1C		
Explosión			

EXPOSICIÓN		7C	
Inhalación	8B	9A	10B
Piel			
Ojos			
Ingestión	17B	18A	19A

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20A		

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24B	25C		27E

Estado físico; Apariencia: Sólido blanco, azulado o gris plateado en diversas formas.

Peligros químicos: El plomo se descompone al calentarlo intensamente produciendo humos tóxicos. Es un agente reductor fuerte.

Límites de exposición laboral: TLV: 0.15 mg/m³ (como TWA).

Propiedades físicas: Punto de ebullición: 1740 °C

Punto de fusión: 327°C

Densidad relativa (agua = 1): 11.3

Solubilidad en agua: ninguna.

Notas: No aparecen en la bibliografía los límites de explosividad.

Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición.

No llevar a casa la ropa de trabajo.

16. Sulfato de níquel II (NiSO₄)

Números de identificación:

CAS # 7786-81-4

RTECS # QR9350000

ICSC # 0063

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1A		3H
Explosión			6B

EXPOSICIÓN		7A	
Inhalación	8A	9B	10B
Piel	11B	12A	13B
Ojos	14D	15A	16A
Ingestión	17A	18A	19 A

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20C		

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24B	25C	26C	27A

Estado físico; Apariencia: Cristales de color amarillo - verdoso, inodoros.

Peligros químicos: El sulfato de níquel II se descompone al calentarlo intensamente, produciendo SO₂ y NiO. La solución en agua es un ácido débil. Reacciona con ácidos fuertes.

Límites de exposición laboral: TLV (como Ni): 0.1 mg/m³ (como TWA).

Propiedades físicas: Se descompone por debajo del punto de ebullición a 848 °C.

Punto de fusión (se descompone): 840 °C.

Densidad relativa (agua = 1): 3.68.

Notas: Está indicado que debe examinarse periódicamente dependiendo del grado de exposición.

El contenido de ésta ficha se recomienda también aplicarlo a las formas hidratadas siguientes: NiSO₄·6H₂O y NiSO₄·7H₂O.

17. 1,1,2,2,-Tetracloroetano (CHCl₂CHCl₂)

Números de identificación: CAS # 79-34-5 RTECS # KI8575000
 ICSC # 0332 UN # 1702 EC # 602-015-00-3

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1C	2C	3E
Explosión			6D

EXPOSICIÓN		7A	7C
Inhalación	8N	9B	10B
Piel	11E	12B	13A
Ojos	14E	15B	16A
Ingestión	17E	18A	19E

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ENLATADO
20F	21E	22I

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24C	25B	26E	27L

Estado físico; Apariencia: Líquido incoloro viscoso de olor característico.

Peligros químicos: Se descompone por calentamiento, fuego, contacto con superficies calientes o la luz, produciendo gases tóxicos. Reacciona violentamente con los alcalinos, alcalinotérreos, oxidantes fuertes, metales en polvo y bases fuertes.

Límites de exposición laboral: TLV = 1 ppm; 6.9 mg/m³ (como TWA) en piel.

Propiedades físicas: Punto de ebullición = 146.4 °C; Punto de fusión = -44 °C.
 Densidad relativa (agua = 1): 1.6; Densidad relativa de vapor (aire = 1): 5.8
 Solubilidad en agua, a 20 °C: 0.32 g/100 ml.

Notas: El consumir bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo.
 La alerta del olor es insuficiente, cuando se ha rebasado el valor límite de exposición.
 No utilizarlo cerca del fuego, superficies calientes o mientras se trabaja con soldadura.
 Está indicado un examen médico periódico, dependiendo del grado de exposición.

Código NFPA: H 3; F 0; R 1.

18. Tetracloroetileno

Números de identificación:
ICSC # 0076

CAS # 127-18-4
UN # 1897

RTECS # KX3850000
EC # 602-028-00-4

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1C		3H
Explosión			

EXPOSICIÓN			
Inhalación	8D	9B	10C
Piel	11D	12A	13B
Ojos	14A	15C	16A
Ingestión	17D		19B

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20E	21C	22C

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24C	25B	26D	27D

Estado físico; Apariencia: Líquido incoloro con olor característico.

Peligros químicos: Leer el punto 23A

Límites de exposición laboral: TLV: 50 ppm; 339 mg/m³ (como TWA).
STEL: 200 ppm; 1368 mg/m³.

Propiedades físicas: Punto de ebullición = 121 °C. Punto de fusión = -22 °C

Densidad relativa (agua = 1): 1.6 Densidad de vapor relativa (aire = 1): 5.8

Solubilidad en agua a 25 °C = 0.015 g/100 ml

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1.09.

Notas: El uso de bebidas alcohólicas aumenta el efecto dañino. La alerta de olor no es suficiente cuando se supera el valor límite de exposición laboral. No utilizarse cerca del fuego, superficies calientes o al soldar.

Carta de emergencia de transporte: TEC (R)-61G06C.

Código NFPA: H 2; F 0; R 1.

19. Tricloroetileno (CICH=CCh)

Números de identificación:
ICSC # 0081

CAS # 79-01-6
UN # 1710

RTECS # KX4550000
EC # 602-027-00-9

TIPOS DE PELIGROS	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
Incendio	1B		3H
Explosión			6B

EXPOSICIÓN			
Inhalación	8D	9B	10C
Piel	11D	12B	13B
Ojos	14A	15C	16A
Ingestión	17D		19B

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
20E	21C	22C

Datos importantes

VÍAS DE EXPOSICIÓN	RIESGO DE INHALACIÓN	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN	EFFECTOS DE EXP. PROLONGADA O REPETIDA
24C	25B	26D	27C

Estado físico; Apariencia: Líquido incoloro con olor característico.

Peligros químicos: Leer el punto 23B. El vapor es más pesado que el aire.

Límites de exposición laboral: TLV: 50 ppm; 269 mg/m³
TWA: 200 ppm; 1070 mg/m³

Propiedades Físicas: Punto de ebullición = 87 °C Punto de fusión = -73 °C
Densidad relativa (agua = 1): 1.5 Solubilidad en agua, a 20 °C = 0.1 g/100ml
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4.5 Temperatura de autoignición = 410 °C
Límites de explosividad; % en volumen en el aire: 8-10.5

Notas: Se vuelve combustible por la adición de pequeñas cantidades de una sustancia inflamable o por el aumento del contenido de O₂ en el aire. El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Los grados técnicos pueden contener pequeñas cantidades de epíclorhidrina carcinógena como estabilizador. No utilizar cerca del fuego, al soldar o una superficie caliente.

Carta de emergencia de transporte: TEC (R)-61G06C. Código NFPA: H 2; F 1; R 0.

**Resumen de cada una de las claves utilizadas en las
Fichas internacionales de seguridad química**

Símbolo	Explicación
1A =	No es flamable, pero el fuego puede producir gases irritantes o venenosos.
1B =	Combustible en condiciones específicas.
1C =	No combustible.
1D =	Flamable. El níquel Raney es flamable espontáneamente en el aire. Se pueden liberar gases tóxicos.
1E =	No combustible. Muchas reacciones pueden ocasionar incendio o explosión.
1F =	No combustible. En contacto con humedad o agua puede generar suficiente calor para incendiar materiales combustibles.
1G =	Extremadamente flamable.
1H =	Combustible.
1I =	No combustible pero incrementa la combustión de otras sustancias.
1J =	Extremadamente flamable. Muchas reacciones pueden ocasionar fuego o explosión.
1K =	No combustible, pero produce gas flamable (Hidrógeno) al reaccionar con muchos metales.
1L =	No combustible, pero altamente flamable si se trata de polvo muy fino.
1M =	No combustible pero aumenta la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden ocasionar incendio o explosión.
2A =	No poner en contacto con sustancias flamables.
2B =	No producir llama abierta, ni chispas y no fumar; No poner en contacto con calor o ácidos.
2C =	No poner en contacto con superficies calientes.
2D =	No poner en contacto con sustancias flamables, ni con metales.
2E =	No poner en contacto con sustancias combustibles, acetileno, amoníaco y metales dispersos.
2F =	No acercarse a llamas abiertas, ni chispas y no fumar. No poner en contacto con bases o fuertes agentes oxidantes.
2G =	No producir llama abierta, no producir chispas y no fumar.
2H =	No producir llama abierta.
3A =	Arena seca, polvos especiales; No utilizar otros agentes.
3B =	Preferentemente sin agua.
3C =	En caso de fuego en los alrededores: no utilizar extinguidor tipo AFFF.
3D =	Cerrar el suministro de H ₂ ; si esto no es posible y no hay riesgo hacia los alrededores dejar que se incendie hacia el exterior.
3E =	Polvos, agua espreada, espumas, dióxido de carbono. En caso de fuego en los alrededores, se permite todo tipo de extinguidor.
3F =	En caso de fuego en los alrededores: solamente se puede utilizar polvos o CO ₂ .
3G =	Cerrar el suministro de formaldehído; si esto no es posible, y no existe riesgo hacia los alrededores, permitir que se queme por si mismo o utilizar: polvos o CO ₂ .
3H =	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
4A =	Riesgo de fuego y explosión como resultado de la descomposición.

Símbolo	Explicación
4B	La mezcla de vapor/aire es explosiva.
4C	Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire. Riesgo de incendio y explosión.
4D	Riesgo de incendio y explosión por contacto con compuestos orgánicos comunes.
4E	Riesgo de incendio y explosión cuando reaccionan con otras sustancias.
4F	Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.
5A	Evitar el depósito de polvo; sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión de polvos.
5B	No exponer a fricción o golpes fuertes los depósitos.
6A	En caso de fuego: mantener fríos los cilindros con agua, pero no en contacto directo con la misma.
6B	En caso de incendio: Mantener fríos los bidones y demás instalaciones por medio de agua pulverizada.
6C	En caso de fuego: Mantener recipientes, tambores, etc. enfriados por aspersión con agua.
6D	En caso de fuego: Mantener los cilindros enfriados con agua por aspersión. Combatir el fuego desde una zona protegida.
7A	Higiene estricta.
7B	Evitar todo contacto.
7C	En todo caso consultar a un médico.
8A	Tos.
8B	Dolor de cabeza, náusea y espasmo abdominal.
8C	Dolor de garganta, tos y dificultad al respirar.
8D	Vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náusea, pérdida del conocimiento, debilidad, falta de coordinación.
8E	Tos, náusea y sabor metálico en la lengua.
8F	Sensación ardiente en nariz, boca y ojos, tos lagrimeo. Taquicardia, respiración corta y con dificultad.
8G	Sensación de calor, tos, dolor de cabeza, dolor de garganta.
8H	Vértigo, dificultad al respirar, pérdida de la conciencia.
8I	Tos y problemas para respirar.
8J	Sensación de ardor en nariz y garganta, tos, dolor de cabeza, náusea y respiración corta y con dificultad.
8K	Sensación de ardor en los ojos, nariz y garganta, respiración forzada, inconciencia.
8L	Tos, vértigo, dolor de cabeza, respiración forzada, dolor de garganta.
8M	Sensación de escosor en la garganta, respiración corta y con problemas, espasmo bronquial, dolor de pecho.
8N	Tos, vértigo, somnolencia, náusea, pérdida de la conciencia, los síntomas son de efectos retardados.
9A	Extracción localizada de gases o protección respiratoria.
9B	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.
9C	Ventilación, extracción de gas. Mantener los contenedores apropiadamente cerrados.
9D	Protección respiratoria. Sistema cerrado y ventilación.
9E	Sistema cerrado y ventilación.

Símbolo	Explicación
10A	Aire limpio, reposo.
10B	Aire limpio, reposo y acudir a atención médica.
10C	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicado y acudir a atención médica.
10D	Aire fresco, reposo en posición semivertical, respiración artificial si es indicada y acudir a atención médica.
11A	Dermatitis en personas sensibles.
11B	Enrojecimiento, dermatitis en personas sensibles.
11C	Serias quemaduras de piel, dolor.
11D	Piel seca, irritación.
11E	Puede ser absorbido! Sensación de ardor, dolor.
11F	Serias quemaduras de piel, dolor, además de ser corrosivo.
11G	Serias quemaduras de piel, dolor, sensación de ardor.
11H	Enrojecimiento, serias quemaduras de piel, ampollas, dolor.
11I	Se congela cualquier extremidad u objeto que entre en contacto con el líquido.
11J	Quemadura de piel, dolor, decoloración amarilla de la misma piel.
11K	Enrojecimiento, dolor, quemaduras de piel.
11L	Enrojecimiento.
11M	Enrojecimiento, dolor, ampollas.
12A	Guantes protectores, traje de protección.
12B	Guantes protectores.
12C	Guantes térmicos aislantes del frío , ropa de protección.
13A	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse, y acudir a revisión médica.
13B	Quitar las ropas contaminadas, enjuagar la piel y lavarla con agua y jabón.
13C	En caso de congelamiento: enjuagar con bastante agua, no remover la ropa y acudir a recibir atención médica.
14A	Enrojecimiento y dolor.
14B	Irritación si se trata de polvo.
14C	Dolor, severas y profundas quemaduras.
14D	Enrojecimiento.
14E	Enrojecimiento, dolor y visión borrosa.
14F	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa y corrosión.
14G	Enrojecimiento, dolor, cataratas, glaucoma, visión borrosa, pérdida permanente de la visión, severas y profundas quemaduras, corrosivo.
14H	Dolor, visión borrosa, severas y profundas quemaduras.
14I	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas, ulceración de córnea
14J	Efectos retardados, enrojecimiento, visión borrosa, pérdida de la visión, profundas quemaduras.
15A	Gafas ajustadas de seguridad.
15B	Careta protectora o gafas de protección ocular, en combinación con protección respiratoria si se trata de polvos.
15C	Gafas ajustadas de seguridad o careta protectora facial.
15D	Careta protectora.

Símbolo	Explicación
16A	= En primer lugar enjuagar con agua abundante varios minutos (quitar los lentes de contacto si es fácil removerlos), después llevar a un médico.
17A	= Dolor abdominal, diarrea, náusea, vómitos.
17B	= Dolor de cabeza, náusea, dolor de garganta, espasmo abdominal.
17C	= Dolor severo, vomito, conmoción.
17D	= Dolor abdominal, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náusea, pérdida del conocimiento, debilidad.
17E	= Dolor abdominal, dolor de garganta, vómito.
17F	= Dolor abdominal, sensación de ardor, náusea, dolor de garganta.
17G	= Dolor abdominal, sensación de ardor.
17H	= Sensación de ardor de boca, garganta y estómago, vómito, diarrea y colapso.
17I	= Dolor abdominal, constipación, tos, vómito, debilidad, anorexia, convulsiones.
18A	= No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.
18B	= No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo; lavarse las manos tras manipular ésta sustancia.
19A	= Enjuagar la boca, provocar el vómito (!únicamente en personas concientes!) y acudir a atención médica.
19B	= Enjuagar la boca.
19C	= Enjuagar la boca, no inducir el vómito y acudir a atención médica.
19D	= Enjuagar la boca y someter a atención médica.
19E	= No inducir el vómito, descansar y buscar ayuda médica.
19F	= No inducir el vómito y acudir inmediatamente con el médico.
19G	= Enjuagar la boca, no dar nada a beber, acudir al médico.
20A	= Verter en el alcantarillado, barrer la sustancia derramada e introducir en un recipiente, recoger con cuidado el residuo, y trasladarlo a lugar seguro, (protección personal adicional: respirador de filtro P1 contra partículas inertes).
20B	= Recoger el polvo derramado en un recipiente y trasladarlo a un lugar seguro. (protección personal adicional: respirador de filtro P1 contra partículas inertes).
20C	= Barrer sustancia derramada hacia un recipiente, neutralizar el residuo (protección personal adicional: respirador de filtro P3 contra partículas tóxicas).
20D	= Evacuar el área dañada, recoger el líquido derramado en un contenedor adecuado. (Protección personal extra: traje protector completo, con respirador artificial).
20E	= Ventilación, recoger líquido derramado en contenedores adecuados, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte (trabajar con equipo autónomo de respiración).
20F	= Evacuar el área dañada, recoger líquido derramado, no vaciar en alcantarillas, colocarlo en lugar seguro.(usar traje de protección completa con respirador autónomo).
20G	= Evacuar el área dañada, consultar un experto, ventilación, remover gases con agua finamente espreada.(usar traje de protección completa, con respirador autónomo).
20H	= Evacuar el área dañada, consultar un experto en grandes derrames, ventilación, neutralizar el líquido derramado con un ácido como H ₂ SO ₄ diluido, recoger el líquido derramado en contenedores sellados y el remanente absorberlo en arena.
20I	= Recoger el líquido derramado en contenedores resistentes y sellados, neutralizar el excedente con Na ₂ CO ₃ y por último lavar con agua abundante.

Símbolo	Explicación
20J	= Ventilación, lavar el líquido derramado con agua abundante, el excedente no absorberlo con aserrín u otro combustible absorbente y no permitir que estos productos químicos penetren en el medio ambiente. (usar traje de protección completa con respirador autónomo).
20K	= Barrer la sustancia derramada a un contenedor y neutralizar con ácido acético diluido, después lavar con agua abundante (usar traje de protección completa con respirador autónomo).
21A	= Separado de ácidos fuertes y oxidantes fuertes.
21B	= Separado de otros materiales, almacenado en contenedores de acero inoxidable.
21C	= Separado de metales ligeros (como Al y Zn), bases fuertes; mantener en la oscuridad; ventilación a ras del suelo.
21D	= Separado de agentes oxidantes fuertes.
21E	= Separado de agentes oxidantes fuertes, mantenerlo fresco ventilado en la oscuridad
21F	= Separado de bases fuertes; seco.
21G	= Separado de combustibles y sustancias reductoras, oxidantes ácidos y bases fuertes, metales y mantenerlo en un cuarto bien ventilado.
21H	= Separado de ácidos fuertes, metales y materiales de fácil ignición; mantenerlo seco.
21 I	= Enfriado a prueba de fuego.
21 J	= Separado de combustibles y sustancias reductoras, bases fuertes, todo compuesto orgánico; mantenerlo seco, en un cuarto bien ventilado.
21K	= A prueba de fuego, separado de bases fuertes; mantenerlo fresco en la oscuridad, almacenado solo si está estabilizado.
22A	= Clasificación de peligros Naciones Unidas: 4.2 (disposiciones especiales: 2) Grupo de envasado Naciones Unidas: II
22B	= Clasificación de peligros Naciones Unidas: 8; Grupo de envasado Nac.Uni. = II.
22C	= Clasificación de peligros Naciones Unidas: 6.1; Grupo de envasado Nac.Uni. = III.
22D	= Clasificación de peligros Naciones Unidas: 2.
22E	= Embalaje irrompible; colocar el empaque desechable dentro de un contenedor irrompible cerrado.
22F	= Clasificación de peligros Naciones Unidas: 3; Grupo de envasado Nac. Uni. : M
22G	= Clasificación de peligros Naciones Unidas: 2; Riesgo subsidiario: 3. Empaque hermético.
22H	= Clasificación de peligros Naciones Unidas: 5.1; Riesgos subsidiarios Nac. Uni. 8 Contenedor aislado especial, en posición vertical; Grupo de envasado N.U.: 1.
22 I	= Clasificación de peligros Naciones Unidas: 6.1; Grupo de envasado Nac: Uni.: II.
23A	= En contacto con superficies calientes o con llamas (por encima de 150 °C y rayos ultravioleta), estas sustancias se descomponen formando gases tóxicos y corrosivos (fosgeno y ácido clorhídrico). Reacciona con metales ligeros (Al, Zn).
23B	= Todo 23A además: la sustancia se descompone con bases fuertes produciendo cloroacetilenos que aumentan el peligro de incendio.
24A	= La sustancia se puede absorber al cuerpo por inhalación del polvo o por ingestión.
24B	= La sustancia se puede absorber en el cuerpo por inhalación de su aerosol y por ingestión.

Símbolo	Explicación
24C	La sustancia se puede absorber en el cuerpo por inhalación y a través de la piel, y por ingestión.
24D	La sustancia puede ser absorbida dentro del cuerpo por inhalación.
24E	La sustancia puede ser absorbida dentro del cuerpo por inhalación de su aerosol y por ingestión, y cuando se calienta, también como un vapor.
25A	La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo se puede alcanzar rápidamente una concentración perjudicial de partículas en el aire.
25B	En la evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar rápidamente una contaminación perjudicial en el aire.
25C	La contaminación a 20 °C es despreciable; sin embargo se puede alcanzar una concentración molesta de partículas en el aire por dispersión.
25D	Cuando se evapora este líquido de su contenedor, se evapora muy rápido, causando sobresaturación de el aire con serios riesgos de sofocación, al encontrarse en área confinadas.
25E	Una concentración peligrosa de este gas en el aire puede ser alcanzada muy rápido por pérdidas en el contenedor.
26A	La sustancia irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias, además de los riñones, dando lugar a úlceras y lesiones renales.
26B	La sustancia irrita los ojos, la piel, dando lugar a sensibilización de la misma piel y dermatitis, así como sensibilización pulmonar.
26C	La sustancia irrita: ojos, piel y vías respiratorias. Puede tener efecto sobre el tracto gastrointestinal y el sistema nervioso central, dando lugar a diarrea, vómito e hipotermia.
26D	Irritación de ojos. La ingestión del líquido puede originar aspiración dentro de los pulmones con riesgo de neumonitis química. Puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a mareo, vértigo y fatiga, disminución de la conciencia y la muerte.
26E	La sustancia irrita los ojos, la piel y tracto respiratorio. La exposición puede dar por resultado pérdida de la conciencia incluso con efectos retardados.
26F	La sustancia irrita el tracto respiratorio. Su exposición a altas concentraciones puede ocasionar toxicidad por Plomo, con efectos retardados.
26G	La sustancia es corrosiva a los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de sus vapores puede causar edema pulmonar.
26H	El líquido puede causar congelamiento. Su exposición puede causar vértigo y sofocación.
26 I	Igual a 26G, además de que su inhalación puede causar asma, y a altos niveles incluso la muerte. Los efectos son retardados.
26J	La sustancia es muy corrosiva a los ojos, la piel y el tracto respiratorio, por ingestión también. La inhalación del aerosol de ésta sustancia puede causar edema pulmonar.
27A	Produce dermatitis y sensibilización de la piel. La inhalación prolongada o repetida produce asma, posible carcinógena para los seres humanos.
27B	Sensibilización en la piel, asma, así como efectos sobre la laringe y los pulmones, dando lugar a úlceras e inflamación. Puede ocasionar lesión genética.
27C	Dermatitis, además de efectos sobre el sistema nervioso central, ocasionando dolores de cabeza y falta de concentración y también lesiones genéticas hereditarias.

Símbolo	Explicación
27D	= Dermatitis, efectos sobre el sistema nervioso central e hígado, ocasionando, dolor de cabeza, falta de concentración y trastornos hepáticos. Posible cancerígena.
27E	= Efectos sobre el sistema nervioso central y riñones, puede producir anemia y cólicos disfunciones de la fertilidad, así como retrasos en el desarrollo de recién nacidos. Peligro de efectos acumulativos.
27F	= Dermatitis y eccemas crónicos, así como asma, conjuntivitis y posible carcinógeno para los humanos.
27G	= Repetido o prolongado contacto con la piel puede causar dermatitis.
27H	= Los pulmones pueden verse afectados por altas concentraciones de vapor. La sustancia puede tener efectos sobre los dientes, ocasionando una erosión dental.
27I	= Puede causar daño genético en humanos.
27J	= La sustancia puede tener efecto sobre los pulmones, ocasionando bronquitis crónica.
27K	= Puede ocasionar sensibilidad tanto en la piel como respiratoria. Probable carcinógeno para los humanos, así como probable daño genético a humanos.
27L	= Dermatitis, así como efectos sobre el hígado, los riñones y el sist. nervioso central.
27M	= Los pulmones pueden verse afectados por repetidas o prolongadas exposiciones a los vapores o aerosoles.
27N	= Dermatitis (irritación, eccema). Pulmones afectados por exposición a los polvos. La sustancia puede tener efectos sobre el hígado, riñones, sangre, nervios y sistema reproductivo. Posible carcinógeno, además de ocasionar daño genético y defectos al nacimiento.
27Ñ	= Los pulmones pueden verse afectados por repetidas y prolongadas exposiciones a un aerosol de ésta sustancia. Riesgo de erosión de los dientes.
28A	= Cualquier persona que haya mostrado síntomas de asma, no deberá tener contacto de nuevo con ésta sustancia. El agregar un estabilizador o un inhibidor, puede tener influencia sobre las propiedades toxicológicas de esta sustancia.

ANEXO 3

Límites para concentraciones de cromo en el ambiente natural, ambiente ocupacional y en el organismo

Valores umbrales límite.- Se refiere a la concentración de sustancias químicas en el aire de los lugares de trabajo, por debajo de cuyo valor casi todos los trabajadores pueden estar expuestos por lapsos de tiempo, sin presentar efectos adversos.

En el caso del cromo y otros agentes químicos, los valores se expresan en partes del compuesto por millón de partes de aire (ppm) o miligramos del compuesto por metro cúbico de aire (mg/m^3), recordando que tanto el cromo como sus compuestos provocan: irritación e inflamación de la mucosa nasal, perforación del tabique nasal, daño renal, dermatitis, daño a los cromosomas del humano, así como incidencia de cáncer pulmonar.

Lo anterior es importante para desarrollar una metodología de riesgos químicos, en donde un primer paso de acuerdo con Zehnder (1995) sería:

1.- La identificación del peligro; Esto se logra identificando los contaminantes presentes en un proceso, (tipo, forma, cantidad, forma de distribución) y una evaluación de los peligros potenciales de estos materiales.

En el desarrollo de este trabajo se cumple con este primer punto, externando dentro de las conclusiones los peligros existentes en el proceso de cromado y proponiendo una serie de medidas o recomendaciones para la minimización de esta peligrosidad, siendo imposible cubrir los siguientes puntos de esta metodología de riesgos químicos como son:

2.- Evaluación toxicológica de los contaminantes presentes, considerando sus características toxicológicas para las diferentes rutas de asimilación (oral, dérmica, inhalatoria) y su relación dosis-respuesta.

3.- Evaluación de la exposición, en donde se valorarían cuantitativamente las dosis de contaminación observadas bajo ciertas condiciones y ya por último.

4.- Caracterización del riesgo, en donde hay una descripción de los peligros esperados a la salud, debido a la exposición, evaluación de la exposición máxima permisible para los contaminantes presentes y definición de metas de restauración o corrección.

La primera etapa se cumplió utilizando la lista de verificación, por diversas causas comentadas con anterioridad, de 30 empresas visitadas solo en 10 de ellas se obtuvieron resultados positivos, por lo que cumplir con las siguientes etapas, solo sería posible formando un equipo interdisciplinario, apoyándose en algún organismo gubernamental que le de carácter oficial y obtener facilidades por parte de las empresas, para desarrollar este estudio.

A continuación se presentan diferentes clases de datos de valor umbral límite de exposición, para el cromo, que son de utilidad para futuros estudios.

El valor umbral límite se divide en 3 categorías que son:

1.- Valor promediado (TWA): Es la concentración media del compuesto para una jornada de 8 horas diarias, en que el valor promediado de todas las mediciones, no debe sobrepasar este valor.

2.- Valor pico o techo (Ceiling): Es el valor que nunca debe ser sobrepasado, durante la jornada de trabajo.

3.- Valor de exposición corta (STEL): Es un valor intermedio entre los 2 valores anteriores, en que los operarios pueden estar expuestos por periodos que no excedan de 15 minutos por hora, 4 veces al día y con un mínimo de 1 hora entre cada exposición.

A continuación se hablará de los diversos límites propuestos para el cromo III y VI

Tabla A-3 Criterios de calidad de agua en relación al cromo

	CROMO VI	CROMO VI	*CROMO III
	Agua dulce	Agua salada	Agua dulce
Toxicidad crítica	11 ug/l	1200 ug/l	Exp[0.819(ln{dureza}) + 3.568] ug/l
Toxicidad crónica	7.2 ug/l	54 ug/l	Exp[0.819(ln{dureza}) + 0.537] ug/l

* = Para el Cromo III en agua salada, no hay datos disponibles para establecer criterios
Fuente: modificada de Arcos Serrano Ma. Esther, et al.; "Transporte, destino y toxicidad de constituyentes que hacen peligroso a un residuo"; cuadernos de investigación N° 2; pág. 57; CENAPRED; México, Marzo de 1994.

A continuación se proporcionan más datos sobre límites de exposición para el Cromo III y VI.

Diversos límites de exposición para el cromo

1.- Límites Ocupacionales (para cromo y sus sales solubles)

TWA = 0.5 mg/m³ (OSHA)

TWA = 0.025 mg/m³ (NIOSH)

Valor pico = 0.050 mg/m³ para óxido de cromo (NIOSH)

STEL = 0.05 mg/m³ (ACGIH)

2.- Límites ambientales: (para cromo y sus sales insolubles)

Aire urbano = 50 ng/m³

Agua de río = 10 ug/m³

Agua de océano = 5 ug/m³

Agua potable = 0.05 mg/l (OMS) = Norma Técnica Ecológica Mexicana.

Suelo = De 125 a 250 mg/kg

Alimentos = No debe exceder la ingesta de 0.03 a 0.1 mg/día.

Unidades de Riesgo CAG* para exposición por inhalación de cromo VI (USEPA) = 41 mg/kg/día.

*CAG = Grupo de Evaluación de carcinógenos.

ANEXO 4

Sustitución de sustancias peligrosas

Debido a que en algunos países europeos, está prohibido el uso de materiales y sustancias químicas peligrosas, si existe la posibilidad de utilizar sustitutos menos peligrosos o no peligrosos, se ha avanzado bastante sobre el tema, por lo que se anexará información al respecto:

El propósito de una sustitución es en todos los casos remover o reducir los efectos de sustancias peligrosas a la salud, esta sustitución se puede dar en cualquiera de los 3 niveles.

	<u>Sustancia</u>	<u>Implemento</u>	<u>Proceso</u>
Nivel 1	Cambia	No cambia	No cambia
Nivel 2	Cambia	Cambia	No cambia
Nivel 3	Cambia	Cambia	Cambia

De acuerdo a Filskov y coautores (1996), para efectuar sustituciones de sustancias peligrosas en el lugar de trabajo, se debe proceder de acuerdo a un plan de trabajo que contenga las siguientes etapas:

- A.- Formulación del problema. (descripción del producto, del trabajo, del tipo de exposición)
- B.- Fase de generación de ideas, (se obtiene información de todas las fuentes y clases posibles).
- C.- Descripción y evaluación de las alternativas utilizando un criterio.
- D.- Toma de decisiones, ejecución y control.

Se han desarrollado una serie de herramientas para evaluar las sustancias y materiales peligrosos y su posible sustitución entre las que destacan por su mayor utilización las siguientes:

- 1.- TLV (valor umbral límite).
- 2.- VHR (relación de peligro por emanación de vapores).
- 3.- Clasificación y etiquetado.
- 4.- Evaluación de toxicidad (estudios epidemiológicos, experimentos de laboratorio)
- 5.- La experiencia de otras empresas y de sus trabajadores.

A continuación se comentan las características de los 3 primeros incisos ya que el 4 y 5 son más conocidos.

A4.1.- TLV (valor umbral límite)

Son normas administrativas de contaminación de aire impuestas por la ACGIH (Confederación Industrial Americana Gubernamental de Higiene) y como ya se había

mencionado el TLV es una expresión de la concentración de una sustancia calculado como un promedio durante una jornada de 8 horas.

La sustitución por medio del TLV, se toma como una regla de que a menor valor de este parámetro es mayor el riesgo de utilizar la sustancia en estudio.

Limitaciones.- Existen de 10,000 a 50,000 sustancias químicas de uso en el mercado industrial y comercial y se han determinado menos de 600 TLV de sustancias peligrosas, además de que un 40 % de los TLV han sido determinados sobre la base de los efectos irritantes de las sustancias en cuestión, mientras que los solventes orgánicos se les considera dañinos al sistema nervioso central.

A4.2.- VHR (relación de peligro por emanación de vapores)

Los VHR indican la probabilidad de exceder los TLV, debido a que toman en consideración que hay sustancias químicas más o menos volátiles, en otras palabras expresa cuantas veces como máximo el TLV puede ser excedido.

El VHR de una sustancia se define como: $VHR_i = C_i / TLV_i$ donde:

TLV_i = Valor umbral límite de una sustancia "i"
 C_i = Concentración de equilibrio del componente puro.

El valor de C_i se puede expresar en unidades de presión (mm de Hg, Pa, atm) y se le llama presión de vapor saturado y para convertirlo a unidades en partes por millón (ppm), se realiza por medio de la relación:

$$C_i \text{ (ppm)} = P_i \text{ (mm Hg)} \cdot \frac{1,000,000}{760}$$

Incluso el VHR se puede aplicar a compuestos mediante la fórmula:

$$VHR = \frac{V_1 \cdot C_1}{TLV_1} + \frac{V_2 \cdot C_2}{TLV_2} + \frac{V_x \cdot C_x}{TLV_x} \quad \text{donde:}$$

V = % en peso de cada sustancia que se encuentra en el compuesto.

El VHR es muy utilizado para decisiones de sustitución en donde un producto con bajo VHR se preferirá a otro con alto VHR.

Los agentes de limpieza son los principales candidatos a sustituirse, seguido de los adhesivos, colores, pinturas y lubricantes.

En la tabla A- 4 se seleccionaron como ejemplo, algunos solventes orgánicos con su presión de vapor, su VHR y el valor umbral límite, para elegir al menos peligroso que es el de menor VHR.

Tabla A-4.1 Presión de vapor, valor umbral límite y Tasa de peligro por vapor de sustancias seleccionadas

SUSTANCIA	PRESIÓN DE VAPOR en ppm/°C	TLV 1988 ppm	VHR
Cloroformo	207,000 / 20	2	103,000
Benceno	25000 / 25	5	25,000
Tetraclorometano	20,800 / 22	2	10,400
Tricloroetileno	79000 / 20	30	2633
1,1,1 Tricloroetano	132,000 / 20	100	1320

Fuente: Modificada de Filskov Per et al.; "Substitutes for Hazardous Chemicals in the Workplace"; ed. Lewis Publishers; pág. 61; Boca Ratón Florida; 1996.

A4.3.- Clasificación y etiquetado.

La clasificación para determinar las sustancias a sustituir se divide en:

- Clases de peligros.
- Declaración de seguridad y riesgo.
- Indicación de los nombres de las sustancias peligrosas en el producto.

El sistema de etiquetado comprende 10 diferentes clases de peligros que son:

Explosivos (E); Extremadamente inflamables (Fx); Inflamables (F); Combustibles (Co); Oxidantes (O); Muy tóxicos (Tx); Tóxicos (T); Dañino o perjudicial (Xn); Corrosivo (C) e Irritante (Xi).

La colocación de una sustancia química en estas clases de peligros está basada principalmente en la toxicidad de la sustancia, pero también se toma en cuenta los efectos a largo plazo (por ejemplo alergias y cancerígenos). La toxicidad aguda esta basada en los valores de "Dosis Letal" y "Concentración Letal" en la mitad de la población experimental, cuyos símbolos son LD₅₀ y LC₅₀ respectivamente. A continuación en la tabla A4.4 se dan los intervalos de dosis letal para diferentes clases de peligro.

Tabla A4.2.- Intervalos de LD₅₀ para diferentes clases de peligro

CLASE DE PELIGRO	RATA, A TRAVÉS DE LA BOCA, Unidades en mg/kg	RATA/CONEJO A TRAVÉS DE LA PIEL Unidades en mg/kg	RATA, INHALACIÓN Unidades en mg/m ³ /4h
Tx	LD ₅₀ < 25 mg/kg	LD ₅₀ < 50 mg/kg	LC ₅₀ < 500
T	25 < LD ₅₀ < 200	50 < LD ₅₀ < 400	500 < LC ₅₀ < 2000
Xn	200 < LD ₅₀ < 2500	400 < LD ₅₀ < 2000	2000 < LC ₅₀ < 20000

Fuente: Filskov Per et al.; "Substitutes for Hazardous Chemicals in the Workplace"; ed. Lewis Publishers; pág. 32; Boca Ratón, Florida; 1996.

ANEXO 5

Legislación Ambiental en Canadá

Canadá por ser el único país que pertenece al grupo de las 7 grandes democracias industriales, a la Commonwealth (Comunidad Británica de Naciones) y a la Francofonía (países con cooperación mutua directa, unidos por el idioma francés), le da gran relevancia a su participación internacional en cuanto a la protección ambiental, siendo sus principales prioridades (según refiere el Canada and The World Environment; 1992), las siguientes:

Prioridades de la política externa para el ambiente

- Fortalecer y desarrollar las sociedades e instituciones internacionales (por ejemplo el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (United Nations Environmental Program = UNEP).
- Aumentar el comercio sobre bienes y servicios ambientales.
- Desarrollar un régimen global de leyes ambientales.

Las anteriores prioridades dan origen a los siguientes objetivos:

Objetivos

- Disminuir el calentamiento global de la tierra.
- Asegurar la diversidad biológica.
- Salvaguardar los océanos.
- Protección de las zonas árticas.
- Vigilar la transportación y comercio de los desechos peligrosos

Como se menciona en The Environment in Canada (1989), el sistema de gobierno confederado del Canadá, (formado por 10 provincias y 2 territorios) la responsabilidad del ambiente está dividido en gobierno: Federal, provincial y municipal.

- El gobierno Federal tiene jurisdicción sobre: pesca costera, aguas continentales y oceánicas, navegación, terrenos federales, territorios del Noroeste y del Yukón y es principalmente responsable de resolver diferencias de tipo ambiental entre las provincias, así como la dirección de la participación internacional del país en los diferentes foros.
- La jurisdicción de las provincias es sobre sus propios recursos naturales dentro de sus límites o fronteras.
- La jurisdicción municipal es la encargada de proveer servicios locales, como remoción de la basura y suministro de agua.

De acuerdo con el Canada Year Book (1997), el departamento responsable de implementar las políticas ambientales en Canadá ha dividido el territorio en 15 ecozonas dentro de las cuales las características ambientales son relativamente uniformes y están definidas de acuerdo a su: a) Geografía física, b) Hidrografía, c)

Suelo, d) Vegetación, e) Fauna y f) Actividad humana y exceptuando a las provincias de Nueva Escocia e Islas Príncipe Eduardo, estas ecozonas no toman en cuenta las fronteras políticas.

Legislación a nivel federal.

- **Acuerdo de la Calidad del Agua de los Grandes Lagos de Canada-Estados Unidos de Norteamérica.** Canadá y Estados Unidos de Norteamérica firmaron en 1972, (modificado en 1978) el Acuerdo de la "Calidad del Agua de los Grandes Lagos" (Canada-U.S.A. Great Lakes Water Quality Agreement) el cual proporciona una mejoría en la limpieza y protección del mayor reservorio de agua continental en el mundo.
- **Ley de Protección Ambiental del Canadá.**- En 1988 el parlamento canadiense aprobó esta ley, (Canadian Environmental Protection Act = CEPA) para proteger a los canadienses de cualquier forma de contaminación causada por sustancias tóxicas. Según el States of Canada's Environment (1994), el acta establece un mandato legislativo para reunir, analizar y reportar información ambiental para preparar un reporte nacional, cada 5 años, coordinando los esfuerzos ambientalistas.

Estas regulaciones no se aplican en provincias donde el ministerio y el gobierno de la provincia en cuestión, acuerdan que existen regulaciones equivalentes en dicha provincia.

En esta acta se cubre por entero el ciclo de vida de sustancias contaminantes, desde su preparación hasta su eliminación, pasando a través de su manufactura, transporte, distribución, uso y almacenaje, siendo la industria ahora la responsable de facilitar al gobierno, información técnica necesaria para evaluar los efectos a la salud y el medio de más o menos 30,000 productos que son utilizados normalmente en Canadá.

Como se menciona en el Canadian Green Plan (1994), bajo la CEPA han sido identificadas, evaluadas y reguladas, 44 sustancias prioritarias por su peligrosidad hasta el año de 1994.

De acuerdo con Mclean y Thomson (1997) otros estatutos ambientales federales importantes son:

Ley del agua del Canadá (Canadian Water Act; 1985); Ley de la "Semana Ambiental del Canadá" (Canadian Environmental Week Act; 1985); Ley de Protección Ambiental (Environmental Protection Act; 1990); Ley de administración de residuos (Waste Management Act; 1992); Ley de promoción y protección a la salud (Health Protection and Promotion Act; 1990); Ley sobre productos peligrosos (Hazardous Products Act; 1985) y ley de salud y seguridad ocupacional (Occupational Health and Safety Act; 1990).

Legislación ambiental de las provincias canadienses

Según Stikeman y Fraser (1997), las principales regulaciones ambientales aplicadas en las provincias son las siguientes:

ALBERTA.- Los principales estatutos de control de la contaminación son: Ley de mejora y protección ambiental de Alberta (Alberta Environmental Protection Act; 1980); La ley de recursos del agua (Water Resources Act; 1980); y el acta del consejo de conservación de recursos naturales (Natural Resources Conservation Board Act; 1990).

COLUMBIA BRITÁNICA.- Los estatutos que controlan el ambiente en esta provincia son: La ley de administración de los desechos (Waste Management Act; 1982); La ley de administración ambiental (Environmental Management Act; 1981).

MANITOBA.- La ley ambiental (Environmental Act; 1988), en donde se asegura que el ambiente debe mantenerse para proporcionar una alta calidad de vida, incluyendo el desarrollo económico, social y la recreación. Otras serían: La ley de transportación y buenos manejos de sustancias peligrosas (Dangerous Goods Handling and Transportation Act; 1987-1988) y el acta de remediación de sitios contaminados; 1996).

NUEVA BRUNSWICK.- Los principales estatutos son: Ley de ambiente limpio (Clean Environmental Act; 1973) y la ley del agua limpia (Clean Water Act; 1989) la cual autoriza a crear una corporación para construir y operar trabajos relacionados con agua potable y residual.

NUEVA FOUNDLAND.- En esta provincia alejada de la zona industrial, el principal estatuto es el acta de tierras y ambiente del departamento (Department of Environment and Lands Act; 1990) en donde explica que el ministro responsable tiene el poder de supervisar el control y protección ambiental sobre el uso el agua en toda la provincia, en donde esta prohibida cualquier descarga que cause contaminación o perjudique la calidad del agua para usos benéficos.

NUEVA ESCOCIA.- Su ley ambiental (Environmental Act; 1995) reemplaza a 16 estatutos provinciales que existían anteriormente incluyendo: El acta de protección ambiental; el acta del agua; La ley de evaluación ambiental y la ley de administración de desechos peligrosos.

ONTARIO.- La legislación sobre protección ambiental esta contenida en la ley de protección ambiental (Environmental Protection Act; 1990) y sus regulaciones. Estas regulaciones están relacionadas con: La contaminación del aire; Administración de los desechos y su regulación en relación con el manejo y almacenaje de los bifenilos policlorados. Otros estatutos importantes son: La ley de recursos del agua de Ontario y la ley de manejo de las gasolinas.

QUEBEC.- Su más importante legislación ambiental está en la ley de calidad ambiental (Environmental Quality Act; 1972); la regulación de desechos peligrosos (The Hazardous Waste Regulation; 1985); La regulación de la calidad de la atmósfera (The Quality of the Atmosphere Regulation; 1981), La regulación respecto a la calidad del trabajo ambiental; 1991).

Por último se promulgó en 1995, la ley de Evaluación Ambiental Canadiense, creándose la respectiva agencia encargada de administrar el acta ya presente en todas las provincias y territorios del Canadá.

ANEXO 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al formato desarrollado en el cuestionario del "bloque 1" (lista de verificación) aplicado a las empresas, dividido en 6 diferentes secciones, se le asignó a éstas diferentes valores de ponderación, de acuerdo a la importancia que pensamos tiene cada una de ellas, en relación al objetivo de minimizar la peligrosidad del giro de cromado.

Hipótesis.- En el giro de la galvanostegia y específicamente en el cromado se trabaja con un grado de peligrosidad por encima del promedio de la industria en general, por lo tanto mi **Hipótesis alternativa (H₁)** = Es que el industrial está consiente de esta peligrosidad y esta intentando reducirla

A continuación por medio de operaciones sencillas se tratará de comprobar la hipótesis con relación a las acciones que realizan los industriales para disminuir la peligrosidad.

I.- Cálculos de media aritmética para cada una de las 6 secciones que conforman el "bloque 1", en donde se trabajará con las respuestas afirmativas de los industriales.

Sección "A" Información general

$$\bar{x}_1 = \frac{0.7 + 0.4 + 0.7 + 0.7 + 0.8 + 0.9 + 0.6 + 0.8 + 0.5 + 0.5 + 0.1 + 0.6 + 0.5 + 0.2}{14} = 0.57$$

Sección "B" materias primas y almacenamiento

$$\bar{x}_2 = \frac{0.8 + 0.8 + 0.9 + 0.6 + 0.0 + 0.8}{6} = 0.65$$

Sección "C" residuos sólidos

$$\bar{x}_3 = \frac{0.8 + 0.8 + 0.8 + 0.6 + 1.0 + 0.7}{6} = 0.783$$

Sección "D" residuos tóxicos y peligrosos

$$\bar{x}_4 = \frac{0.6 + 0.6 + 0.9 + 0.8 + 0.1}{5} = 0.6$$

Sección "E" efluentes y vertidos

$$\bar{x}_5 = \frac{0.6 + 0.7 + 0.4 + 0.6 + 0.4 + 0.3}{6} = 0.5$$

Sección "F" gestión ambiental

$$\bar{x}_6 = \frac{0.6 + 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.2}{5} = 0.4$$

Utilizando la fórmula para obtener la media aritmética ponderada (\bar{x}):

$$\bar{x} = \frac{w_1X_1 + w_2X_2 + w_3X_3 + \dots + w_kX_k}{w_1 + w_2 + \dots + w_k} = \frac{\sum wX}{\sum w}$$

Donde w_1, w_2, w_3, \dots = factores de ponderación o peso.

X_1, X_2, X_3, \dots = media aritmética de cada una de las secciones.

y sustituyendo los valores obtenidos se tiene:

$$\bar{x} = \frac{(0.571)(0.15) + (0.65)(0.15) + 0.783(0.15) + (0.6)(0.3) + (0.5)(0.15) + (0.4)(0.10)}{6}$$

$$\bar{x} = 0.595$$

Tabla A6.1 de resultados de la media aritmética ponderada del bloque II del cuestionario

CLASIFICACIÓN	Factor de Ponderación (w)	OPERACIÓN (w)(\bar{x})	RESULTADO
A. Información gral.	0.15	(0.15)(0.57)	0.0857
B. Materias primas y almacenamiento	0.15	(0.15)(0.659)	0.0975
C. Residuos sólidos	0.15	(0.15)(0.783)	0.1174
D. Residuos tóxicos y peligrosos	0.30	(0.30)(0.60)	0.1800
E. Efluentes y vertidos	0.15	(0.15)(0.50)	0.0750
F. Gestión ambiental	0.10	(0.10)(0.40)	0.0400
total	1.00		$\bar{x} = 0.595$

$H_1 \geq 0.50 \therefore$ si $\bar{x} = 0.595 \Rightarrow$ si cumple.

De acuerdo al resultado obtenido se cumple la Hipótesis alternativa H_1 de que si existe la necesidad de realizar acciones que disminuyan la peligrosidad de este giro, pero la situación de mercado y la economía en general han impedido llevar a cabo los cambios pertinentes.

Con respecto al segundo bloque llamado "Minimización de residuos" se escogieron las respuestas y el inciso en los que en opinión de gente con experiencia en este giro, son las que de llevarse a cabo lograrían resultados más impactantes en una minimización de residuos y consecuentemente una disminución en la peligrosidad del proceso de cromado.

Nuestra Hipótesis nula (H_0) es que las empresas están realizando las acciones adecuadas que los llevarán a minimizar los residuos y la peligrosidad.

$$\bar{x} = \frac{(0.5)(0.10) + (0.5)(0.15) + (0.5)(0.15) + (0.4)(0.10) + (0.0)(0.10) + (0.7)(0.10) + (0.6)(0.20)}{1.0}$$

$$\bar{x} = 0.47$$

Tabla A6.2 de resultados de la media aritmética ponderada "bloque II"

Nº de pregunta	% de resp. afirmativa	factor de ponderación (w)	Operaciones	Resultado
1	0.5	0.10	(0.5)(0.10)	0.050
4	0.5	0.15	(0.5)(0.15)	0.075
8	0.5	0.15	(0.5)(0.15)	0.075
12	0.4	0.10	(0.4)(0.10)	0.040
13	0.0	0.10	(0.0)(0.10)	0.0
17	0.7	0.10	(0.7)(0.10)	0.070
21	0.4	0.10	(0.40)(0.10)	0.040
22	0.6	0.20	(0.6)(0.20)	0.120
T O T	A L	1.00		0.47

$H_0 \leq 0.50$; $\bar{x} = 0.47 \therefore \Rightarrow$ no cumple y se rechaza la Hipótesis nula (H_0) por lo que en general se podría pensar que falta realizar un mayor esfuerzo por parte de los empresarios para lograr una constante minimización en los residuos y en la peligrosidad del giro de cromado, recordando que este esfuerzo resultará estéril si no cuenta con la ayuda de:

- a) dependencias gubernamentales
- b) cámaras industriales
- c) mejoría económica de la industria.
- d) Sociedad en general

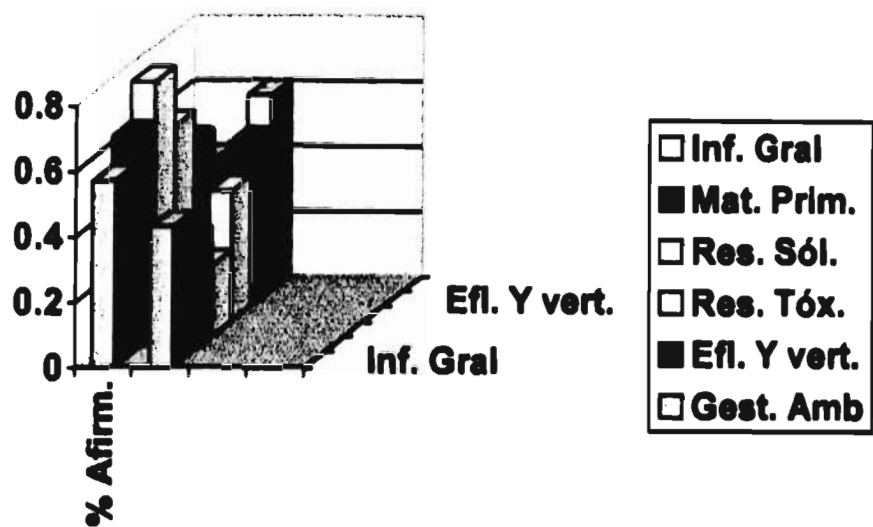


Fig. A6.1 Porcentaje de respuestas afirmativas y negativas de la "Lista de verificación" bloque I

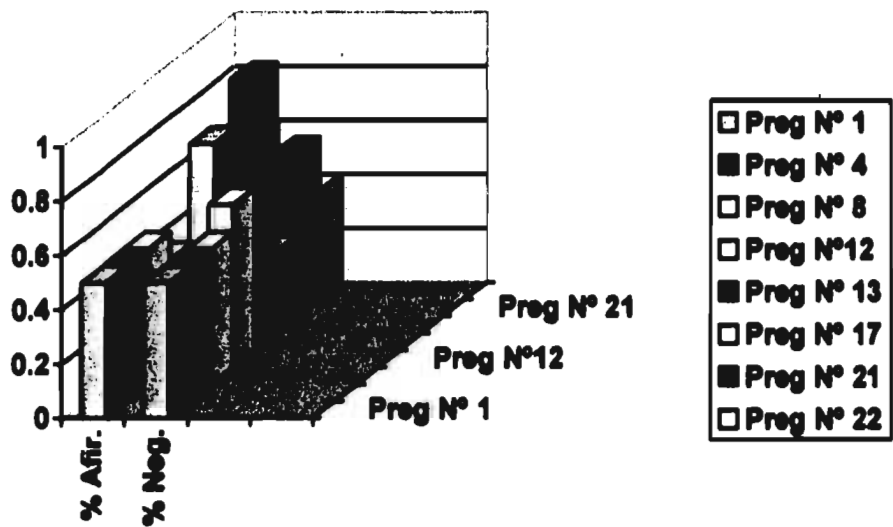


Fig. A6.2. Porcentajes de respuestas afirmativas y negativas de la "lista de verificación" del bloque II