

UPAEP

BIBLIOTECA CENTRAL

TESS

USO ÚNICAMENTE EN SALA



**UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE PUEBLA**

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA PILOTO
DE CROMADO DURO**

por

ARTURO VILLANUEVA GONZALEZ

**Trabajo práctico presentado a la Escuela de Ingeniería
Química como requisito parcial para obtener el Título de**

INGENIERO QUÍMICO

Julio 1995



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de textos, imágenes, gráficas, 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 de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Puebla. Pue. a 10 de Julio de 1995

Este trabajo práctico denominado "*Diseño y funcionamiento de una planta piloto de cromado duro*", cumple con los requisitos de calidad y contenido necesarios para que el señor Arturo Villanueva González, puede promover la obtención del título de Ingeniero Químico.

Atentamente :

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Prieto Rosete', written over a diagonal line.

I.Q. Alfonso Guillermo Prieto Rosete.

62631

RESUMEN

DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA PILOTO DE CROMADO DURO.

por Arturo Villanueva González.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de una planta piloto de cromado duro; presentando al lector la aplicación práctica de algunas materias de estudio contenidas en el programa de la carrera de Ingeniería Química. Estas materias son principalmente, química, fisicoquímica, transferencia de calor y análisis cuantitativo.

Para lo cual, consta de 2 partes: la teórica y la práctica. La primera está expresada principalmente en los primeros 3 capítulos en los que se dan los fundamentos que el cromado tiene; y en cada una de las tablas, figuras y ecuaciones (matemáticas, químicas y fisicoquímicas); que sustentan el contenido de todo el trabajo. La segunda parte está determinada por todas las aplicaciones prácticas de los fundamentos anteriores, en el desarrollo de la planeación, el diseño y el funcionamiento óptimo de una planta de cromado. Todo lo anterior se encuentra contenido en los capítulos 4 y 5. Este último está constituido por la práctica operatoria que demuestra el funcionamiento del equipo.

El capítulo 6 se refiere a las conclusiones obtenidas y a las recomendaciones que se dirigen a los futuros usuarios de la planta piloto.

Dirigido por: I.Q. Alfonso Guillermo Prieto Rosete.

DEDICATORIAS.

A Jesucristo, mi Dios y mi hermano, con todo amor, porque TU eres TODO.

A María, mi madre del cielo.

A la mujer más hermosa, quien me mostró la bondad, la humildad, y me ha entregado su vida y su amor por siempre y para siempre. A ti mamá que me has hecho feliz. Con todo mi amor, a ti María de la Soledad González.

Al hombre que me engendró, que me ha dado la oportunidad de educarme y que ha fincado en mí con su ejemplo de tenacidad, un espíritu de lucha contra toda adversidad y un gusto especial por la vida. Gracias papá, con profundo respeto y cariño a ti Fernando Villanueva.

A mi familia materna, que desde pequeño me enseñó muchas cosas hermosas y ha sido un gran apoyo en mi vida. Especialmente a Guadalupe González, Enrique Gazca +, Blanca y Marlene Gazca, Víctor Helí Castro, Ignacio González, Rafael y Carlos Falcón , Fernando Montero y Claudia Pimienta.

A mi familia paterna, con agradecimiento y admiración por tantas cosas increíbles he aprendido de ustedes, pues tienen una especial forma de ser. A Graciela Robles, a mis hermanos Graciela, Fernando, Beatriz ,Diana Villanueva , a mis sobrinos Malú Villanueva y Carlos y Arturo Quiroz.

A las maravillosas personas que Dios puso en mi camino, y que le han dado un significado excelso a la palabra "amigo".

A todos ustedes que han estado en los momentos más intensos.

A todos ustedes porque hemos llorado y reído, porque aunque no vivamos juntos ni nos veamos mucho, siempre estamos juntos.

A ustedes porque son la muestra de amor más desinteresada que conozco.

A ustedes que son parte de mí. A:

Alicia Caballero, Alma Nely Fox, Ana Cecilia Bernal, Beatriz Guajardo, Connie Coulter, Déborah Morrison, Elvia Sosa, Fabiola Tépo, Gabriela Teyssier, Gabriela Valerio, Kelley Workman, Leticia Pérez, Lupita Gutiérrez + (en memoria, con mucho cariño), Margarita Teyssier, Maricarmen Rodríguez, Maricruz Bañuelos, Marisol Domínguez, Miriam Márquez, Olivia Linares, Rayito Cabrera, Veridiana Reyes.

Agustín Teyssier, Alvino Recoba, Angel Alberto Salvatori +(nunca morirás para mí), R.P. Antonio Ramos, Carlos Ruíz, Eduardo Castillo, Eduardo Pallares, Felipe de Jesús González, Jaime Castillo, Javier Quintana, José Luis Sherwell, José Miguel Angel Vázquez, Juan Carlos Ponce, Juan José Fernández, Juan Reyes, Juan Rodolfo Rivera, Juan Sergio Rivas, René Rojas, Rodolfo Rojas, R.P. Rubén Romero, Santiago Rosas, Sergio Agustín Arroyo.

A todos ustedes mi profunda admiración y mi amor por siempre.

INDICE

RESUMEN	iii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS.	xi
NOMENCLATURA	xii
AGRADECIMIENTOS.	xv
CAPITULO 1. ANTECEDENTES.	1
1.1 CROMO.	1
1.2 ESTADO NATURAL Y EXTRACCION.	2
1.3 USOS Y APLICACIONES.	4
1.4 RESISTENCIA DE LA PELICULA A LA CORROSION.	7
Bibliografía del capítulo 1.	8
CAPITULO 2. TEORIA GENERAL DEL CROMADO.	9
2.1 RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS.	9
2.2 CROMO DURO.	11
2.3 PROCESO DEL CROMADO DURO.	13
2.3.1 Tratamientos previos al metal base.	14
2.3.2 Cromado.	19
2.3.3 Tratamientos posteriores.	21
2.4 CICLOS DE CROMADO PARA DIVERSOS METALES.	22
2.5 EFECTOS DEL HIDROGENO EN EL CROMADO.	23
2.6 EFECTOS DEL CROMO TRIVALENTE.	25
2.7 ANALISIS DEL ELECTROLITO.	25
2.7.1 Determinación del trióxido de cromo.	25

2.7.2 Determinación del ácido sulfúrico.	26
2.7.3 Determinación del cromo trivalente.	27
2.8 MEDICIONES FISICAS DE LOS DEPOSITOS.	29
2.8.1 Mediciones del espesor.	29
2.8.2 Ensayo de la resistencia, extensión y adherencia.	30
2.8.3 Ensayo de la dureza.	30
2.8.4. Ensayo sobre la corrosión.	31
2.9 DIAGNOSTICO PRACTICO DE DEFECTOS EN EL CROMADO.	33
2.10 DESNUDADO DE LA CAPA DE CROMO.	35
2.11 LIMITES DE LA OPERACION DE RECUBRIMIENTO.	35
Bibliografía del capítulo 2.	40
CAPITULO 3. FUNDAMENTOS FISICOQUIMICOS.	42
3.1 DEFINICION DE ELECTROQUIMICA.	42
3.2 PRINCIPIOS DE LA CONDUCCION ELECTROLITICA.	42
3.3 LEYES DE FARADAY PARA LA ELECTROLISIS.	45
3.3.1 Equivalentes electroquímicos.	47
3.4 ELECTROLISIS DEL CROMADO.	50
Bibliografía del capítulo 3.	51
CAPITULO 4. DISEÑO DEL EQUIPO.	52
4.1 DIMENSIONES DE LA PIEZA POR CROMAR.	52
4.2 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS TANQUES.	53
4.2.1 Recubrimientos interiores.	55
4.2.2 Especificaciones de los tanques.	56
4.3 DISEÑO DE LOS SOPORTES.	58
4.3.1 Dimensiones del soporte.	60
4.4 ANODOS INSOLUBLES.	60

4.4.1 Dimensiones de los ánodos.	61
4.5 REQUERIMIENTOS DE CALOR Y POTENCIA.	62
4.5.1 Tipos de calentadores para el cromado.	62
4.5.2 Balance de calor.	63
4.5.3 Selección del calentador.	68
4.6 REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE ELECTRICA.	68
4.6.1 Rectificadores de corriente.	69
4.6.2 Especificaciones del rectificador.	71
4.7 INSTRUMENTACION Y CONTROL.	72
4.8 EQUIPOS AUXILIARES PARA LA PROTECCION DEL AMBIENTE.	72
4.8.1 Ventilación.	72
4.8.2 Sistemas de ventilación.	73
4.8.3 Aguas de desecho, control y tratamiento.	75
4.9 CONSIDERACIONES DE INGENIERIA.	77
4.10 ARREGLO TIPICO DE UNA PLANTA DE CROMADO.	78
4.11 HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.	79
4.11.1 Primeros auxilios.	81
Bibliografía del capítulo 4.	83
CAPITULO 5. PRACTICA OPERATORIA.	85
5.1 PREPARACION DE LAS SOLUCIONES.	85
5.1.1 Electrólito de cromado.	85
5.1.2 Solución de desengrase.	86
5.1.3 Solución de decapado.	86
5.2 PUESTA EN MARCHA.	86
5.3 PRACTICA OPERATORIA.	87
5.3.1. Corridas.	87
Bibliografía del capítulo 5.	89

CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	90
BIBLIOGRAFIA GENERAL.	91

LISTA DE TABLAS.

1	Composición del cromo.	1
2	Propiedades del cromo.	2
3	Composición de la mena de cromo.	3
4	Espesor del revestimiento para uso industrial.	5
5	Propiedades de la película de cromo.	6
6	Distribución de la escama de óxido en el hierro.	18
7	Condiciones de funcionamiento del cromado.	20
8	Control de la solución.	28
9	Escala de la dureza Mohs.	31
10	Clasificación de la corrosión según Gilliet.	32
11	Comparación entre rectificadores y generadores de corriente.	69
12	Contaminantes volátiles usuales en el cromo.	73
13	Resultados de las corridas de cromado.	88

LISTA DE FIGURAS

1	Características del recubrimiento por efecto de la temperatura.	12
2	Efectos del rendimiento de corriente.	12
3	Esquema general del cromado.	14
4	Relación de recubrimiento: pieza con aristas.	36
5	Relación de recubrimiento: pieza libre de aristas.	36
6	Distribución del revestimiento.	37
7	Ejemplo de electrólisis.	43
8	Electrólisis del cromado.	50
9	Dimensiones de la pieza.	52
10	Detalle del borde del tanque.	54
11	Arreglo de los tanques en la planta piloto.	56
12	Dimensiones de las tinas.	57
13	Dimensiones del tanque de cromado.	58
14	Funcionamiento de los soportes.	59
15	Anodos fantasmas.	59
16	Dimensiones de los ánodos.	61
17	Diagrama del rectificador.	71
18	Sistema de ventilación.	75

NOMENCLATURA.

A	amstrongs, amperes.
Ag	símbolo químico de la plata.
Al	símbolo químico del aluminio.
Ba	símbolo químico del bario.
BTU	British thermal units.
°C	grados centígrados.
Cal	calorías.
cc	centímetros cúbicos.
cm	centímetros.
cm ²	centímetros cuadrados.
C _p	capacidad calorífica de la sustanciaa presión constante.
Cr	símbolo químico del cromo.
Cu	símbolo químico del cobre.
D	diámetro del cable conductor.
d	espesor de la capa de cromo.
dm ²	decímetros cuadrados.
E	intensidad del campo eléctrico.
e ⁻	símbolo del electrón.
	símbolo del faradio.
Fe	símbolo químico del fierro.
ft ²	pies cuadrados.
gr	gramos.

H	símbolo químico del hidrógeno.
hr	horas.
K^+	constante de proporcionalidad.
K^-	constante de proporcionalidad.
kg	kilos.
l	longitud.
lt	litros.
LUS	límite de umbral de seguridad.
m	metros.
mg	miligramos.
Mg	símbolo químico del magnesio.
mils	milésimas de pulgada.
ml	mililitros.
mm	milímetros.
mm^2	milímetros cuadrados.
Na	símbolo químico del sodio.
N	símbolo químico del nitrógeno.
O	símbolo químico del oxígeno.
pH	potencial de hidrógeno.
ppm	partes por millón.
P.V.C.	cloruro de polivinilo.
Q	cantidad de calor.
q	cantidad de carga eléctrica.
Q.P.	químicamente puro.
R	radical orgánico.
r	radio.
rpm	revoluciones por minuto.
S	símbolo químico del azufre.
Si	símbolo químico del silicio.

t	tiempo
T	temperatura en escala absoluta.
t^+	número de transporte del catión.
t^-	número de transporte del anión.
U^+	movilidad del catión.
U^-	movilidad del anión.
v	volts.
V^+	velocidad de translación del catión.
V^-	velocidad de translación del anión.
W	watts.
Z	número de cargas elementales.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco el apoyo prestado a las siguientes personas: Ingeniero Alfonso Prieto Rosete, Ingeniero Alfonso Tenorio Castilleros, Ingeniero Javier Quintana Terés, Ingeniero Alvino Recoba, Ramiro Bonilla y demás personal de las empresas Productos Presforzados S. A. de C. V. y Elementos Prefabricados S. A. de C. V. ; Ingeniero Miguel Angel Vázquez Matamoros, de la empresa Hurniclina de México S. A. de C. V., Ingeniero Juan Felipe Bertheau Taméz, de la empresa Industrias Bertham, Juan Carlos Ponce Morales de la empresa Teléfonos de México.

Especialmente agradezco el apoyo de los ingenieros Juan José Fernández, de Procesos Químicos y Científicos S. A. de C. V. y Jaime Francisco Castillo de la UPAEP.

Sin su valiosa ayuda este trabajo no existiría.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 CROMO.

El cromo es el elemento con número atómico 24 y peso de 52.01; símbolo Cr. Es una mezcla de cuatro isótopos cuyas masas y proporciones son las mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 1. Composición del cromo ⁽¹⁾.

50	4.41%
52	83.46%
53	9.54%
54	2.61%

Su densidad es de 7.19 gr/cc y sus puntos de fusión y ebullición son 1890 y 2480 °C, respectivamente.

En razón de su alta resistencia a los agentes corrosivos, su dureza y bajo coeficiente de fricción se usa para proteger a los demás metales.

En 1762, Lehman describió un nuevo mineral rojo de plomo, hallado en Siberia, que hoy se conoce como crocoíta (cromato de plomo), en el cual Vaquelin en 1797, descubrió cromo, (del griego chroma, color), llamado así por su vistoso color.

Bunsen lo obtuvo puro por medio de fijación galvánica de un electrólito que contenía cloruro cromoso. F. Wohler consiguió su reducción en 1859 y desde esta fecha hasta 1907 se otorgaron patentes para cromar utilizando diversas soluciones de electrólitos. Su primera aplicación industrial es posterior a la primera guerra mundial, produciendo en 1924 películas de cromo electrodepositado de hasta 4 diezmilésimas de pulgada de espesor.

Tabla 2. Propiedades del cromo ⁽²⁾.

Calor específico (0-100 °C)	0.12 cal/gr-°C
Calor de fusión	31.75 cal/gr
Coef. de dilatación lineal/20 °C	8.2×10^{-6}
Dureza en Mohs	4-5
Potencial de ionización	6.74 v
Números de valencia	+2, +3, +6

1.2 ESTADO NATURAL Y EXTRACCION.

El cromo nunca se halla en estado libre en la naturaleza, pero sus componentes se encuentran bastante diseminados.

La fuente natural más importante es la cromita; FeOCr_2O_3 . Es un mineral del grupo de las espinelas (óxido metálico doble de fórmula X_2FeO_4) con pocas propiedades magnéticas, su densidad es de 4 a 4.6 gr/cc. Las minas principales están en Rhodesia, Transvaal, Filipinas y Rusia

La composición de la mena de Cromo tal y como se extrae, varía poco más o menos así:

Tabla 3 Composición de la mena de cromo⁽³⁾

Componente	Porcentaje
Cr_2O_3	42-55
Al_2O_3	7-16
FeO	11-20
MgO	4-15
CaO	1-5
SiO_2	3-8

La cromita se calienta con óxido de calcio y carbonato de sodio, obteniéndose así óxido férrico y cromatos de calcio y sodio.

Estos se tratan con bisulfito de sodio que los convierte en bicromatos de sodio, solubles, los cuales mediante reducción se calientan con azufre y otro reductor, dando sulfato de sodio soluble y óxido crómico (Cr_2O_3) insoluble. Este último es reducido por aluminotermia (con polvo de aluminio que se combina con el oxígeno y deja cromo metálico y alúmina).

El cromo tiene tres óxidos principales: el óxido cromoso CrO , que da sales cromosas; el óxido crómico Cr_2O_3 y el anhídrido crómico también llamado ácido crómico CrO_3 ; componente mayoritario en el electrolito utilizado en la deposición galvánica del cromo.

1.3 USOS Y APLICACIONES.

Los principales usos del cromo son los que se dan en la industria de los recubrimientos electrolíticos y como un elemento de aleación; siendo en este último uno de los metales más importantes debido a su gran miscibilidad, principalmente con el hierro y el níquel.

Dentro de la industria de los recubrimientos electrolíticos el cromo tiene una gran demanda debido a su alta resistencia a la corrosión y con gran dureza superficial, observado esto en piezas expuestas al desgaste obteniéndose una reducción en el deterioro del material del 30 al 40%.

Existen dos tipos diferentes de revestimiento galvánico del cromo: el cromo llamado ornamental y el cromo industrial o duro.

El cromo ornamental es un revestimiento cuyos fines son dos; proteger a la pieza de la corrosión y mejorar su apariencia, dando un terminado metálico blanco-azulado, de gran brillo.

Este tipo de cromado requiere de un tratamiento previo del metal base, que incluye el recubrimiento previo de cobre y níquel, lo cual asegura la brillantez, facilidad de pulido y economiza el consumo de cromo durante el proceso.

La industria automotriz, la mueblera y la de salud, son las principales usuarios del cromo ornamental. El espesor de la capa depositada es de 0.254 a 0.762 micras. En cambio, el cromo duro tiene otros fines además de los citados para el cromo ornamental; proteger de la corrosión y del desgaste a las piezas que van a ser recubiertas. El espesor de la película de cromo duro va desde 1.27 micras en adelante.

En la siguiente tabla se muestran algunos espesores adecuados para el uso de la pieza que será cromada:

Tabla 4. Espesores del revestimiento para uso industrial⁽⁴⁾.

Aplicación	Espesor mm
Broca helicoidal	0.00127-0.0127
Escoriadores	0.00254-0.0127
Fresas	0.00127-0.00254
Limas	0.000504
Calibradores	0.00254-0.0381
Híferas	0.0127-0.254
Mandriles para estriar	0.0127-0.254
Matrices para estampado	0.0054-0.0504
Moldes para plásticos	0.00504-0.0504
Ejes de bombas	0.0127-0.0762
Embolos de bombas	0.0127-0.0762
Barras bruñidoras	0.0504-0.0764
Levas de tornillos	0.0054-0.0127
Rodillos para secar	0.0054-0.381
Reparación de piezas gastadas	0.0254-0.762

La siguiente tabla, muestra las propiedades de la película de cromo:

Tabla 5. Propiedades de la película de cromo⁽⁹⁾.

Resistividad eléctrica	40 micro ohms/cm
Dureza Brinell	700-100
Dureza Vickers	1000-1150
Dureza Mohs	8.9
Dureza Rockwell	60-70
Conductividad térmica (20 °C)	0.165 cal/cm
Coefficientes de fricción estática	
Cromo sobre cromo	0.15
Cromo sobre antifricción	0.14
Cromo sobre acero	0.17
Coefficientes de fricción dinámica	
Cromo sobre cromo	0.12
Cromo sobre antifricción	0.13
Cromo sobre acero	0.17
Estructura cristalina	Cúbica centrada (Arista 2.87)
Módulo de elasticidad	15000 kg/mm
Resistencia a la tracción	15 kg/mm

1.4 RESISTENCIA DE LA PELICULA A LA CORROSION⁽⁶⁾.

Resiste los ataques de: cerveza, atmósfera caliente y oxidante, atmósfera caliente y reductora, baquelita, jugo de azúcar de remolacha, agua salada, cianuros, ácidos de frutas, vidrio fundido, aceites brutos, resinas sintéticas, caucho durante la vulcanización, líquidos sulfurosos, aceites esenciales, tintas de imprimir, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico al 85%, amoníaco, carbonato de sosa, sosa cáustica, sulfato de cobre; cloruros de magnesio, potasio y sodio, cloro, oxígeno hasta 1200 °C, azufre hasta 300 °C, ácido cítrico, ácido láctico, ácido úrico, diversos fenoles y algunos ácidos aromáticos.

Lo anterior sirve para ilustrar la importancia práctica de los recubrimientos electrolíticos de cromo duro.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO 1

1. Alvarez, Juan.

Propiedades de la película de cromo duro

Boletín CA-1, Cromo duro Almothy, S. A. de C. V.

México, 1973.

5 pag. 1

6 pag. 2

2. Kirk, Oyhmer.

Enciclopedia de la tecnología química.

UTEHA.

1^{era} Edición. Madrid, 1972.

2 pag. 84

4 pag. 660

3. Mingot, Tomás de Galiana.

Larousse de ciencias y técnicas.

Editorial Larousse.

1^{era} Edición. México, 1975.

1 pag. 49

3 pag. 3

CAPITULO 2

TEORIA GENERAL DEL CROMADO.

2.1 RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS.

La acción de depositar una capa metálica sobre otro metal, llamado base, por medios electroquímicos es la materia que nos ocupa en el presente trabajo. Los revestimientos electrolíticos son escogidos cuando las características de las superficies base no son las idóneas para un uso específico.

Cualquiera que sea el propósito del revestimiento (mejoramiento de la apariencia, decrecimiento de la fricción, protección contra la corrosión) ésta operación debe ser cuidadosamente planeada como un proceso industrial en sí mismo.

La industria de los recubrimientos electrolitos es conocida desde hace más de 100 años y se mencionó por primera vez en 1840. En los 70 años siguientes se conservó casi como un arte, del que poco se sabía el aspecto químico y metalúrgico, los pormenores de los mecanismos de regulación y las condiciones óptimas de operación.

Con los grandes adelantos en la fisicoquímica, en los equipos eléctricos, en los instrumentos de medición y con la obtención de sustancias químicas suficientemente puras, desde las primeras dos décadas del siglo presente, se sentaron las bases para que el proceso dejase de ser artesanal y convertirse en una técnica importante dentro de la ciencia e industria de los metales.

Después de la primera guerra mundial existe un repunte en esta industria también llamada de la galvanostegia, siendo los recubrimientos más importantes por su consumo mundial; los de cobre, níquel, cromo, plomo, zinc, estaño, cadmio plata y recientemente los de oro.

A continuación se detallan algunas aplicaciones selectas para los recubrimientos electrolíticos:

- 1) Para protección contra la corrosión atmosférica; zinc y cadmio.
- 2) Para mejorar la apariencia; latón, bronce, cromo ornamental, plata y oro.
- 3) Para mejorar la apariencia y resistencia a la corrosión; níquel y cromo.
- 4) Para mejorar la soldabilidad; cadmio, latón y zinc.
- 5) Para revestir contenedores de alimentos; latón.
- 6) Para restar dureza a la superficie del metal base; bronce y cobre.
- 7) Para reducir la corrosión por contactos bimetálicos; cadmio y oro.
- 8) Para mejorar la conductividad eléctrica; cobre y plata y oro.
- 9) Para electroformado; cobre y níquel.

10) Para mejorar la resistencia química; níquel y cromo.

11) Para mejorar dureza, resistencia a la corrosión y abrasión; cromo duro.

2.2 CROMO DURO.

El también llamado cromo industrial es el que nos ocupa, y a continuación daremos algunos lineamientos generales sobre su composición y optimización de funcionamiento.

El peso específico del recubrimiento de cromo es de 6.5 gr/cc y la cantidad teórica que se deposita por Amper-hora es de 0.06 gr.

Su elevado punto de fusión (1920°C) permite el cromado directo de matrices para prensar vidrio, fundición, plásticos etc.

El proceso consiste básicamente en la inmersión del metal base en una cuba que contiene un electrólito formado por agua, ácido crómico y ácido sulfúrico.

La electrólisis se lleva a cabo con ánodos de plomo.

Durante la operación, se produce una película catódica, comenzando por aumentar linealmente el espesor con respecto al tiempo. La dureza del recubrimiento varía, con la composición electrolítica del baño, la densidad amperica, temperatura de utilización y contenido de ácido sulfúrico.

En la siguiente figura ⁽¹⁾, se representan las características de la película, variando la densidad amperica y la temperatura del electrólito:

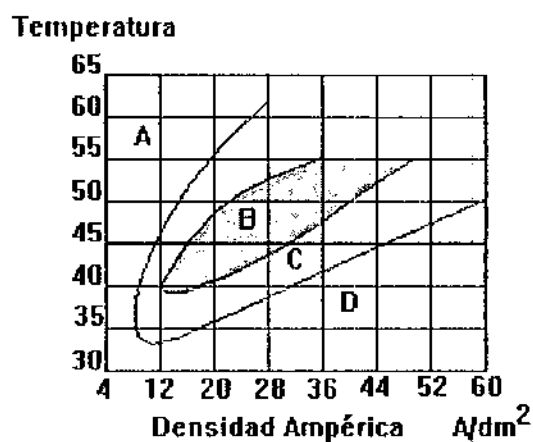


Figura. 1 Características del recubrimiento por efecto de la temperatura.

Donde A representa a la zona de cromado clásico, B representa a la zona de cromado duro brillante, C a la de cromado mate y D la del cromado frágil.

Los recubrimientos duros se obtienen trabajando pues entre los 50 y 55 °C y con una densidad de corriente entre los 20 y 45 A/dm².

Por otra parte, el rendimiento del baño se aprecia para isotermas determinadas en la siguiente gráfica ⁽²⁾:

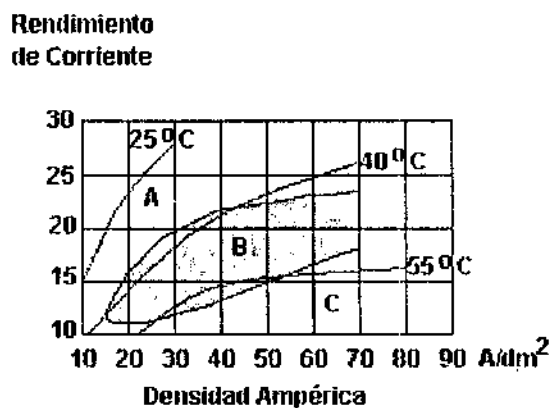


Figura 2 Efectos del rendimiento de corriente.

Donde A representa la zona de cromado mate frágil, B zona de cromado duro brillante y C la zona de cromado blando.

Se puede observar que el rendimiento de la corriente es proporcional directamente a la densidad ampérica e inverso a la temperatura y concentración del ácido crómico, de cualquier forma el rendimiento del baño es bajo y es necesario optimizar la energía eliminando las pérdidas de corriente por falsos contactos, elementos de suspensión de piezas mal diseñados y ánodos auxiliares defectuosos o inútiles.

El proceso del cromado duro se detallará a continuación.

2.3 PROCESO DE CROMADO DURO.

En este proceso, todos los pasos previos son tan importantes como el cromado mismo. El ciclo más elemental previo al cromado es una secuencia de limpieza y enjuagues.

A modo de poder entender el proceso, los siguientes factores deben ser considerados:

1) El trabajo debe estar libre de impurezas, tales como aceites, grasas, suciedad y óxidos antes de intentar cromar.

Los tiempos largos, en pasos intermedios del proceso deben evitarse, pues pueden ocasionar oxidación o contaminación de la pieza.

2) Los enjuagues deberán ser suficientes.

3) Los baños ácidos, las soluciones desengrasantes y el agua deberán ser de una composición tal que no dejen películas que no puedan ser enjuagadas posteriormente.

- 4) Se debe de saber si el metal base requiere tratamientos previos; por ejemplo, el aluminio de ser tratado anódicamente, el acero inoxidable debe ser activado.
- 5) El esquema básico del proceso de cromado es el siguiente:



Figura 3. Esquema general del cromado.

2.3.1 Tratamientos previos dados al metal base.

Estos se dividen en dos tipos; limpieza mecánica (esmerilado y pulido), y limpieza química (desengrase, desengrase por solventes y decapado).

2.3.1.1. Limpieza mecánica: esmerilado y pulido.

Su propósito es remover una cantidad considerable de metal de posibles escamas de óxido y tener como efecto un alisado en la superficie de la base.

Las ruedas abrasivas son usualmente de muselina, lona fieltro, o cuero. Los discos más populares son los formados por "rebanadas" de muselina cosidos y pegados. Los adhesivos que aseguran los granos abrasivos a la rueda son generalmente, pegamentos a base de silicatos. El grano abrasivo más común es el de óxido de aluminio, pues posee gran capilaridad, superficie rugosa, dureza y filo. Se sugiere una secuencia de operaciones de abrasión que van de una granulometría más grande a más fina.

La lubricación en esta operación es importante para evitar la fricción irregular y estrías consecuentes. Para esto se utilizan pastas en forma de barra.

Las revoluciones recomendadas para una buena operación tienen un límite de 6000 r.p.m., las que se han probado experimentalmente, dando los mejores resultados en

la operación, pues a mayor velocidad, tenemos mayor eficiencia; sin embargo al excederse de ese número de revoluciones, existen problemas, pues se funde el aglomerante y se pierde la adherencia de los granos al disco. El paso siguiente es el terminado mate o brillante-espejo de la pieza.

Para esto se usan ruedas de muselina, impregnadas de pastas pulidoras, a base de ácido esteárico, sebo o ácidos grasos hidrogenados como soporte. El grano abrasivo en ambos casos es óxido de aluminio de números finos (320, 400 y 600).

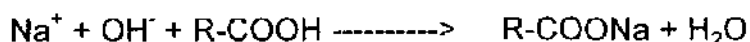
La máquina básica para el esmerilado-pulido debe incluir un eje sobre el cual montar los discos y que éstos sean acelerados hasta la velocidad adecuada por un motor.

2.3.1.2 Limpieza química: desengrase.

Como la superficie ha quedado contaminada en grado sumo por gránulos, suciedad y grasas diversas, es necesario liberarle de estos excesos por el método llamado desengrase; de otra forma la adherencia del revestimiento metálico puede ser pobre o inclusive nula en ciertas zonas.

En general, los metales pueden ser limpiados exitosamente en soluciones alcalinas fuertes que van de un pH del 12.1 al 13.5.

La solución preparada para este desengrase, es una de Na(OH) al 10%; la reacción⁽³⁾ que lleva a cabo es la siguiente:



Esta reacción, llamada saponificación asegura el desplazamiento del componente graso, esterificándolo, separándolo de la superficie del metal definitivamente.

Las impurezas por remover pueden ser de naturaleza orgánica, aceites y grasas vegetales y animales, o minerales.

La solución de desengrase contenida en tanques de acero, que pueden estar conectados a la corriente eléctrica y servir de ánodos, logrando al introducir la pieza el llamado electro-desengrase o limpieza anódica.

En este método, el humedecimiento típico, emulsificación y otras propiedades fisico-químicas de las soluciones alcalinas, son asistidas por la agitación resultante de la formación gaseosa durante la electrólisis.

Las partes metálicas del tanque hacen las veces de electrodo, al cual se le hace pasar una diferencia de potencial que fluctúa entre los 6 y 12 volts y una intensidad de corriente de 20 A/dm^2 .

La solución alcalina más usada⁽⁴⁾ es la de hidróxido de sodio al 10%, siendo muy económica y eficaz.

2.3.1.3 Desengrase por solventes.

Se divide en dos categorías: desengrase en frío y desengrase por vapor⁽⁵⁾.

En el método de desengrase en frío, entra toda una miscelánea de métodos con solventes y mezclas de solventes a temperatura ambiente. Consiste básicamente en una inmersión de la pieza dentro de una mezcla de solventes que pueden ser el percloroetileno y tricloroetileno.

En cambio, en el desengrase de vapor con solventes, se utiliza un equipo diseñado para utilizar a un solvente en su fase vapor.

Este último método se introdujo en 1930 y emplea a un hidrocarburo clorinado, siendo el más empleado el tricloroetileno.

El proceso consiste en calentar el solvente hasta alcanzar su fase vapor dentro de un tanque galvanizado que cuenta con serpentines de calentamiento y enfriamiento. Estos últimos se encuentran en el borde del tanque en donde el vapor condensa y se mantiene así en una "zona de vapor" del solvente para la acción del desengrase. La pieza se sostiene en esta zona de tal manera que el vapor condensa al contacto del metal que va a ser limpiado y que está en frío con respecto al solvente, entonces las grasas se disuelven y precipitan hacia el lecho del solvente. Posteriormente, la pieza se seca fácilmente al ser retirada de la zona de vapor.

Existen 4 ciclos principales dentro de este método:

- a) Ciclo de vapor, que es el que ya se describió.
- b) Ciclo de vapor-espreado-vapor, que consiste en aplicar el ciclo a), espreando posteriormente solvente sobre la pieza y volviéndolo a exponer al ciclo de vapor.
- c) Ciclo de solvente caliente-vapor; que consiste en sumergir a la pieza en el lecho de solvente caliente para posteriormente exponerlo a la zona de vapor.
- d) Ciclo del líquido hirviendo-líquido tibio-vapor el cual comienza sumergiendo a la pieza en el lecho hirviendo del solvente y aplicar posteriormente el ciclo c).

En la actualidad, el desengrase por solventes es auxiliado con máquinas que funcionan con el principio del ultrasonido, provocando una limpieza mejorada en la superficie del metal base.

2.3.1.4 Eliminación de óxidos: decapado.

Siendo un propósito del cromado la protección contra la corrosión del metal base, es prioritario eliminar cualquier traza de óxidos; además garantizar la adhesión y la distribución equitativa del revestimiento.

En el manejo del material éste es atacado por agentes corrosivos, especialmente en ambientes húmedos y es necesario liberarse de cualquier resto de óxido sobre el metal base.

A manera ilustrativa ejemplificaremos el efecto del decapado sobre una superficie de hierro oxidada. La distribución en la escama de óxidos de hierro⁽⁶⁾ ha demostrado tener la siguiente composición:

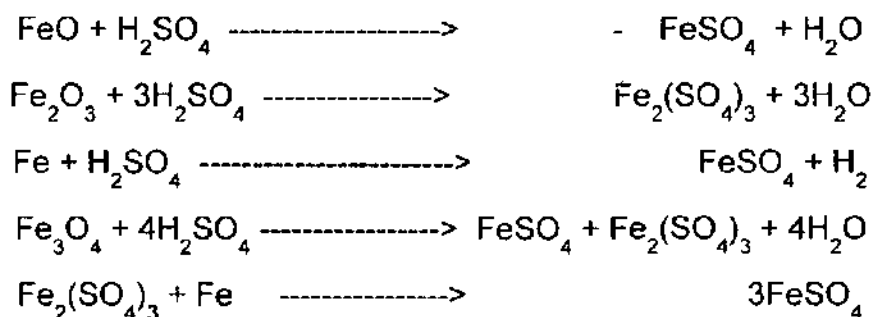
Tabla 6. Distribución de la escama de óxido en el hierro.

Escama		Herrumbre	
FeO	85-95%	H ₂ O	7.43%
Fe ₃ O ₄	10-15%	FeO	11.49%
Fe ₂ O ₃	0.5-2%	Fe ₂ O ₃	81.08%
Ubicación de los tipos de óxidos en la superficie.			
Óxido		Ubicación	
Fe ₂ O ₃		Exterior	
Fe ₃ O ₄		Capa intermedia	
FeO		Capa interna	

A la operación de eliminar los óxidos dentro de la industria galvánica se le conoce como decapado.

El decapado consiste en sumergir las piezas oxidadas en una solución de ácido y agua, generalmente a temperatura ambiente. Se utiliza ácido clorhídrico o sulfúrico; siendo éste último el más usado por la simplicidad de la operación y el bajo costo.

Las reacciones químicas⁽⁷⁾ llevadas a cabo dentro de esta operación son:



Las piezas de acero son inmersas en tanques especialmente recubiertos con fibra de vidrio u otro recubrimiento a base de polímeros, esto asegura que la acción sea total.

El ácido ataca la escama y expone la superficie del metal, es entonces tiempo de retirar la pieza para evitar rugosidades o daños. La solución se formula al 10% en peso, a temperatura ambiente.

2.3.2 Cromado.

El proceso del cromado duro está fundamentado en la electrólisis y aunque es sencillo como principio operativo, las condiciones a las que se tiene que llevar a cabo deben vigilarse meticulosamente para evitar problemas durante y después del mismo.

Después de los tratamientos previos, se procede a colocar la pieza en un soporte o "rack" especialmente diseñado.

Este soporte sirve de gancho para sostener la pieza dentro de la solución y al mismo tiempo sirve como conductor de corriente para hacerla llegar a la pieza, y a través

de ésta hacia al electrólito. El soporte no deberá interponerse entre el ánodo y el objeto a recubrir.

La pieza deberá sumergirse en su totalidad , para asegurar un recubrimiento uniforme e integral. Las partes que no se deseen recubrir deben de barnizarse con plastisol o enredarse con alguna cinta plástica adhesiva.

Se debe regular el rectificador comenzando con un voltaje y amperaje bajo, hasta alcanzar las condiciones óptimas de trabajo. La solución de cromado estándar que ha probado su eficacia dentro de la industria de los recubrimientos electrolíticos es una solución que se compone de los siguientes elementos:

Tabla 7. Condiciones de funcionamiento del cromado⁽⁸⁾.

Composición del electrólito		Punto óptimo
Acido crómico, CrO ₃	210-335 gr/lt	250 gr/lt
Acido Sulfúrico, H ₂ SO ₄	.17-2.82 gr/lt	1.5 gr/lt
Relación de Acidos Crómico/Sulfúrico		165:1
Condiciones de operación		Punto óptimo
Temperatura °C	44-55	50
Ampers/dm ²	8-33	20
Tensión eléctrica, volts		4-7
Agitación catódica		Opcional
Relación ánodo/área por recubrir		1.5:1
Anodos		Plomo 94%, Antimonio u Hojalata 6%
Eficiencia catódica		10-20%
Velocidad de recubrimiento		.02 -.03 mil /hr

La solución electrolítica se contiene en tanques especialmente diseñados. Durante el proceso, el baño electrolítico experimenta variaciones en la cantidad de sulfatos y por eso es necesario un control analítico frecuente.

Debe cuidarse la ubicación adecuada de las piezas por cromar y que la densidad ampérica elegida pueda circular por barras y ánodos existentes. Inclusive se debe utilizar en algunas ocasiones ánodos auxiliares que mejoran la distribución de la corriente, recibiendo excesos locales de depósito que pueden ser indeseables.

Una buena técnica exige que se ubiquen dentro del baño piezas de medida y forma semejante.

2.3.3 Tratamientos posteriores.

Después se procederá a llevar la pieza a una tina de enjuague. Esta operación tiene doble fin: eliminar el exceso de ácido crónico de la pieza y al mismo tiempo recuperarlo para retroalimentar al electrolito. Se eliminan también los barnices y fajas aislantes.

Debe extremarse la eliminación del hidrógeno adsorbido por el metal durante el cromado; las razones y pormenores de esta operación se tratan posteriormente debido a su importancia.

Se seca la pieza lista ya para ser pulida o rectificada según convenga a los fines a que esté destinada.

Se procurará llevar a cabo esta operación de la manera más ágil posible. Esto es debido a que la pieza no puede quedar húmeda mucho tiempo debido a la alta corrosividad del ácido crómico.

2.4 CICLOS DE CROMADO PARA DIVERSOS METALES⁽⁹⁾.

1) Aceros al bajo carbón carbón

- a) Limpieza anódica
- b) Enjuague
- c) Baño ácido
- d) Enjuague
- e) Cromado
- f) Enjuague
- g) Deshidrogenación

2) Aceros al alto

- a) Limpieza anódica
- b) Enjuague
- c) Baño ácido
- d) Enjuague
- e) Remoción manchas
- f) Enjuague
- g) Baño ácido
- h) Enjuague
- i) Cromado
- j) Enjuague
- k) Deshidrogenación

3) Aceros inoxidables

- a) Limpieza anódica
- b) Enjuague
- c) Anodizado en ácido crómico
- d) Cromado
- e) Enjuague
- f) Deshidrogenación

4) Aceros colados

- a) Limpieza catódica
- b) Enjuague 50 °C
- c) Enjuague frío
- d) Baño ácido
- e) Enjuague
- f) Cromado
- g) Enjuague

5) *Cobre y aleaciones*

- a) Desengrase
- b) Enjuague
- c) Baño ácido
- d) Enjuague
- e) Cromado
- f) Enjuague
- g) Deshidrogenación

7) *Zinc y aleaciones*

- a) Limpieza anódica
- b) Enjuague
- c) Baño ácido
- d) Enjuague
- e) Cromado
- f) Enjuague
- g) Deshidrogenación

h) Deshidrogenación

6) *Aluminio y aleaciones*

- a) Desengrase
- b) Enjuague
- c) Baño ácido nítrico al 50%
- d) Enjuague
- e) Inmersión en zinc
- f) Doble enjuague
- g) Cromado
- h) Enjuague
- i) Deshidrogenación

2.5 EFECTOS DEL HIDROGENO EN EL CROMADO

Los efectos del hidrógeno dentro del cromado son principalmente burbujas, porosidades, exfoliaciones y pobre adherencia.

Sobre este mecanismo indeseable, se tienen las conclusiones siguientes:

1) Puesto que el proceso de cromado favorece la adsorción de grandes cantidades de hidrógeno en el metal. Las porosidades dentro de éste se deben a la formación de hidratos, creados por la oclusión de moléculas de hidrógeno dentro de cavidades microscópicas y la deposición iónica del hidrógeno.

2) La poca solubilidad del hidrógeno a temperatura ordinaria, combinada con la extraordinaria capacidad del metal para adsorber grandes cantidades de gas cuando se presenta atomizado durante el decapado y el cromado, causa un importante desprendimiento de este gas cuando las trasas atómicas son removidas por la presencia de una película aplicada o por el hidrógeno producido en el proceso.

3) Cuando esa efusión ocurre en un recubrimiento como el cromado, éste puede ser levantado del metal base (particularmente si este es fierro); o quebrado por la presión del gas acumulado.

4) Si el baño se calienta, como en el cromado, entonces la efusión aumenta.

Debido a lo anterior, es importante revisar las condiciones de desprendimiento de hidrógeno del baño, además, efectuar una eliminación del hidrógeno⁽¹⁰⁾ en la pieza cromada como se indica a continuación.

El hidrógeno indeseable, desaparece en instantes cuando se calienta la pieza hasta alcanzar una temperatura de los 500 °C. Pero con esta operación se corre el riesgo de modificar peligrosamente la contextura cristalina de la pieza y en consecuencia sus características mecánicas, pudiendo ocasionar inclusive la fractura del material base. Un calentamiento a 190 °C durante unas dos horas, preferentemente en baño de aceite es suficiente para eliminarlo por completo.

2.6 EFECTOS DEL CROMO TRIVALENTE.

Todos los baños operan con cromo hexavalente y con cromo trivalente. Bajo condiciones de operación óptimas, el contenido de ambas formas de cromo en el baño tiende a alcanzar el equilibrio, debido a que el ácido crómico es reducido parcialmente en el cátodo y el cromo trivalente se vuelve a oxidar en el ánodo.

Sin embargo, si se llega a trabajar a temperaturas altas, aumenta la presencia del cromo trivalente dentro del electrolito. Si la concentración del cromo trivalente es mayor al 2%, ocasiona problemas, a tal grado que puede inhibir por completo la deposición del cromo, resultando incosteable la recuperación, generándose desperdicio.

Por eso es importante controlar su concentración, cuidando que no exceda el 1%. En ese rango, el cromo trivalente es necesario, pues imparte dureza y brillantez. Con objeto de mantener esta concentración, es necesario mantener el área anódica con relación al área catódica de 4:1⁽¹¹⁾; usando ánodos de plomo-estaño. Si el contenido de cromo trivalente es alto, éste puede oxidarse a cromo hexavalente electrolizando; empleando una lámina pequeña manteniendo la relación de áreas anterior, esto para tener una densidad de corriente anódica pequeña y una de corriente catódica grande.

2.7 ANALISIS DEL ELECTROLITO⁽¹²⁾.

2.7.1 Determinación de ácido crómico.

Pipetear 10 ml de muestra en un matraz volumétrico de 500 ml, adicionara agua destilada y aforar, agitar perfectamente.

Tomar 10 ml de esta solución, pasarla a un matraz Erlenmeyer de 500 ml, adicionar 200 ml de agua destilada y 15 ml de ácido clorhídrico R. A. bajo la campana de extracción y 15 ml de yoduro de potasio al 30%, sirviendo como indicador solución de almidón al 1%.

Titular con solución valorada de tiosulfato de sodio 0.10 N hasta vire azul-verde claro.

Cálculos: ml gastados de Na_2SO_3 0.10 N x 16.6 = gr/lt de trióxido de cromo presente en la solución.

2.7.2 Determinación de ácido sulfúrico.

Filtrar aproximadamente 50 ml de solución para suspender sólidos insolubles. Pipetear 10 ml de muestra de electrólito, pasarla por un tubo de Kocour, adicionar 10 ml de agua destilada, 5ml de ácido clorhídrico R. A. y 5 ml de solución de cloruro de bario al 30%, agitar perfectamente hasta que resulte una mezcla homogénea.

Colocarlo en la centrífuga en una de las fundas de aluminio, usando como contrapeso otro tubo de Kocour al cual se le han agregado 10 ml de muestra y agua destilada hasta igualar el nivel del otro tubo.

Esto se hace de testigo por si tiene aún sólidos a centrifugar, esta cantidad (si es que existiese) se resta del precipitado obtenido del otro tubo y un posible error queda eliminado de esa forma.

Se centrifuga hasta que el nivel del vástago sea constante.

Cálculos: Número de rayas en el vástago de Kocour x 0.3= gr/lit de H_2SO_4 presente en la solución.

2.7.3 Determinación de cromo trivalente.

Se toma una muestra consistente en 10 ml de la solución del electrólito de cromado diluida en una relación 1:50 .

Esta muestra se diluye a su vez con unos 250 ml de agua en un matraz Erlenmeyer, se añaden 30 ml de ácido sulfúrico en solución 1:10, y luego persulfato de potasio o también de sodio, llevándose la solución hasta ebullición, de manera que se destruya el exceso de persulfato.

Entonces se enjuagan cuidadosamente las paredes del matraz con el frasco lavador (pizeta), y se verifica la determinación del trióxido de cromo, la diferencia con la primera determinación del mismo se multiplica por un factor de 0.76.

Como se comprende, la cantidad adecuada de oxidante no se puede fijar en forma general, ya que depende del contenido en cromo trivalente; por lo tanto, habrá que añadirlo abundantemente, calentándolo lo suficiente para eliminar su exceso.

La siguiente tabla muestra la manera práctica de controlar la solución:

Tabla 8. Control de la solución ⁽¹³⁾.

Constituyente	Defecto	Corrección	Observaciones	
Acido sulfúrico	Exceso	Agregar	1 gr de ácido	
		carbonato de	equivale a 2	
		bario	de carbonato	
	Falta	Agregar		
Cromo trivalente	Exceso	Celda de oxidación		
	Falta	Agregar 0.5 ml/lit	Muy raro	
		de alcohol etílico		
Cobre	Presencia	Acido oxálico	1 gr de cobre	
			equivale 0.4	
			de a. oxálico	
			disuelto en 4	
			ml de agua	
Fierro	Presencia	Barita	1 gr de fierro	
			hidratada	equivale a 3
				de barita h.

Es de interés notar que para adicionar trióxido de cromo al electrólito, se toma agua destilada a la temperatura de trabajo, se disuelve el trióxido de cromo que el baño requiere y se adiciona lentamente, agitando.

2.8 MEDICIONES FISICAS DE LOS DEPOSITOS.

El examen de la utilidad de los depósitos metálicos tiene tanta importancia como el análisis del electrólito. Comprende principalmente la investigación de espesor, resistencia mecánica, dureza, adherencia, resistencia a la abrasión y pulimento del depósito. Daremos a continuación algunos lineamientos generales de las pruebas físicas del depósito de cromo.

2.8.1 Mediciones del espesor.

El método más sencillo consiste en utilizar el micrómetro para medir el incremento de espesor de la pieza debido a la capa de cromo.

Existe una fórmula por Blum⁽¹⁴⁾ según la cual si se conoce el radio "r" de la muela de afilar empleada en limar el depósito hasta la aparición del metal base y de la longitud "L" del corte, se conoce el espesor "d" de la capa de cromo, por la ecuación:

$$d = L^2 / 8r$$

Existen aparatos medidores que están basados en registrar la diferencia de propiedades electromagnéticas del metal base y el recubrimiento electrolítico⁽¹⁵⁾. Uno de ellos es el Wildbald MI, de alta sensibilidad; el cual trabaja como un puente medidor, con dos imanes auxiliado con un potenciómetro. Una variante de este

aparato, el medidor Kolb, utiliza una microbobina que da lugar a corrientes parásitas en la superficie, cuya fase es en función del espesor de la capa de cromo. Otros instrumentos de medición utilizan rayos x reflejados. El grueso del depósito se determina por fotometría, una vez recogida la impresión del rayo incidente y el reflejado en una placa fotográfica.

2.8.2 Ensayos de la resistencia, de la extensión y de la adherencia⁽¹⁶⁾

La resistencia de un metal se entiende como la magnitud de la oposición a la rotura, es decir la carga necesaria por mm^2 de sección para que la pieza se rompa.

El alargamiento que se produce antes de la rotura dado en porcentaje de la longitud primitiva se conoce como la extensión.

Ambos ensayos se dificultan en los recubrimientos electrolíticos debido al escaso espesor y su fuerte unión al metal base.

Se necesita desprender y cortar láminas del mismo recubrimiento y cortarla en secciones rectangulares lisas, pues cualquier irregularidad produciría desgaste lateral ya a pequeñas cargas.

Para la estimación de la adherencia se utiliza el ensayo de Erichson: un punzón redondeado se clava con ayuda de una prensa y se mide la profundidad cuando se observan los primeros agrietamientos.

2.8.3 Ensayos de la dureza.

En mineralogía la dureza se determina de acuerdo con la escala de dureza Mohs, constituida por una sucesión de minerales de dureza creciente, cada uno de los cuales raya al anterior; la escala se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 9. Escala de dureza Mohs⁽¹⁷⁾.

1.Talco	6.Fesdelpato
2.Yeso	7.Cuarzo
3.Espato calizo	8.Topacio
4 Espato flúor	9.Corindón
5.Apatita	10.Diamante

La dureza del recubrimiento en esta escala debe estar entre los valores 8 y 9.

Otro ensayo de la dureza es el del método Brinell; una bola de diámetro determinado, se mantienen durante 30 sg bajo una carga también determinada contra la superficie. El índice de dureza se obtiene al dividir la carga por la superficie de la huella dejada por la bola.

2.8.4 Ensayos sobre la corrosión.

Se dividen en 2 tipos principalmente: ensayos en condiciones naturales y en ambientes acelerados.

La clasificación dentro de ambos tipos para los recubrimientos de cromo en porcentaje de área corroída, según Gilliet⁽¹⁸⁾ es:

Tabla 10. Clasificación de la corrosión según Gilliet

Clasificación	Hasta
10	0
9	.10
8	.25
7	.50
6	1
5	2.5
4	5
3	10
2	25
1	50
0	100

La prueba acelerada consiste en lo siguiente; se sumerge la pieza recubierta en una solución que contenga nitrato cúprico, clorito férrico, clorato de amonio, caolín y agua destilada en un ambiente de humedad del 90% a 38°C.

Después de 24 hr, se saca la pieza y se cuentan las burbujas y manchas que pudiera tener, se compara con el área obteniéndose una relación en porcentaje.

Se esprea con agua de sal durante 4 hr y se inspecciona nuevamente.

2.9 DIAGNOSTICO PRACTICO DE DEFECTOS DEL CROMO DURO⁽¹⁹⁾

<i>DEFECTO</i>	<i>CAUSA PROBABLE</i>	<i>SOLUCION</i>
Adherencia imperfecta,	a) Grasa presente visible al terminar la operación b) Cromado con óxidos c) Cromado sobre película de cromo d) La película intermedia se exfolia	a) Verificar eficacia del desengrase b) Revisar decapado c) Desnudar y cromar d) Desnudar y cromar
Recubrimiento áspero	a) "Quemado" debido a exceso ampérico b) Sólidos en suspensión	a) Reducir amperaje b) Reposar solución
Recubrimiento con alveólos	a) Grasa presente b) Burbujas retenidas	a) Verificar desengrase b) Cambiar posición
Recubrimiento blando	a) Densidad ampérica baja	a) Aumentar amperaje
Recubrimiento frágil	a) Hidrógeno ocluido	a) Calentar
Recubrimiento opaco	a) Poca temperatura	a) Aumentar

Recubrimiento irregular	<p>y alta densidad de corriente</p> <p>a) Pasividad local</p> <p>b) Electrolito desequilibrado</p> <p>c) Corriente mal distribuída</p> <p>d) Densidad ampérica baja</p> <p>e) Temperatura alta</p> <p>f) Exceso de cromo trivalente</p>	<p>temp. y bajar corriente</p> <p>a) Decapar</p> <p>b) Analizar y corregir</p> <p>c) Modificar ubicación</p> <p>d) Aumentar amperaje</p> <p>e) Enfriar</p> <p>f) Eliminar parte de la solución y aumentar superficie anódica</p>
<p>No se produce recubrimiento en contactos</p>	<p>a) Conexiones eléctricas malas</p> <p>b) Exceso de sulfatos</p>	<p>a) Verificar polaridad, limpiar y ánodos</p> <p>b) Analizar y eliminar con carbonato de bario</p>

2.10 DESNUDADO DE LA CAPA DE CROMO DURO.

Como ya se ha visto, algunas ocasiones es necesario desnudar a la pieza que se trabaja, eliminando la capa de cromo; las causas principales son dos; defectos visibles, exfoliaciones o porosidades en la capa de cromo y porque la pieza a cromar llega a la planta con trasas de recubrimientos de cromo.

El procedimiento para descromar⁽²⁰⁾ es el siguiente: se convierte a la pieza en ánodo dentro de una solución de hidróxido de sodio son cátodos de acero, utilizando una tensión de 6 volts; esto es más efectivo cuando la pieza es de acero.

Una solución de ácido clorhídrico al 10% en volumen puede ser usada también para descromar de cobre, latón o níquel.

2.11 LIMITES DE LA OPERACION DE RECUBRIMIENTO.

Las superficies sumergidas recibirán más o menos depósito durante la operación dependiendo del poder de penetración del baño.

El metal no se deposita uniformemente con respecto al grueso de todas las superficies.

Normalmente, la corriente electro-recubridora se concentrará en filos y rugosidades de la superficie, y fluirá hacia las cavidades con una menor penetración.

Una distribución de ánodos y piezas por cromar como la mostrada a continuación (posición normal de los ánodos) la relación del recubrimiento de cromo de los extremos al centro de la pieza es 2:1.

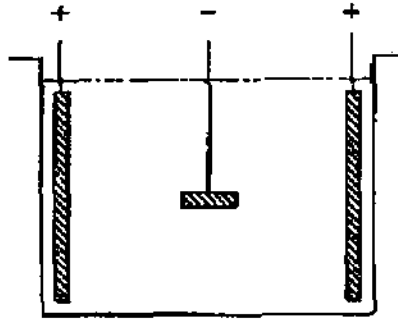


Figura 4. Relación de recubrimiento: pieza con aristas

Cromando una superficie semicircular tenemos un distribución de corriente de 1.1:1, como se muestra en la figura:

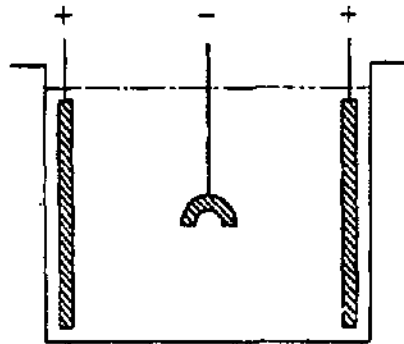
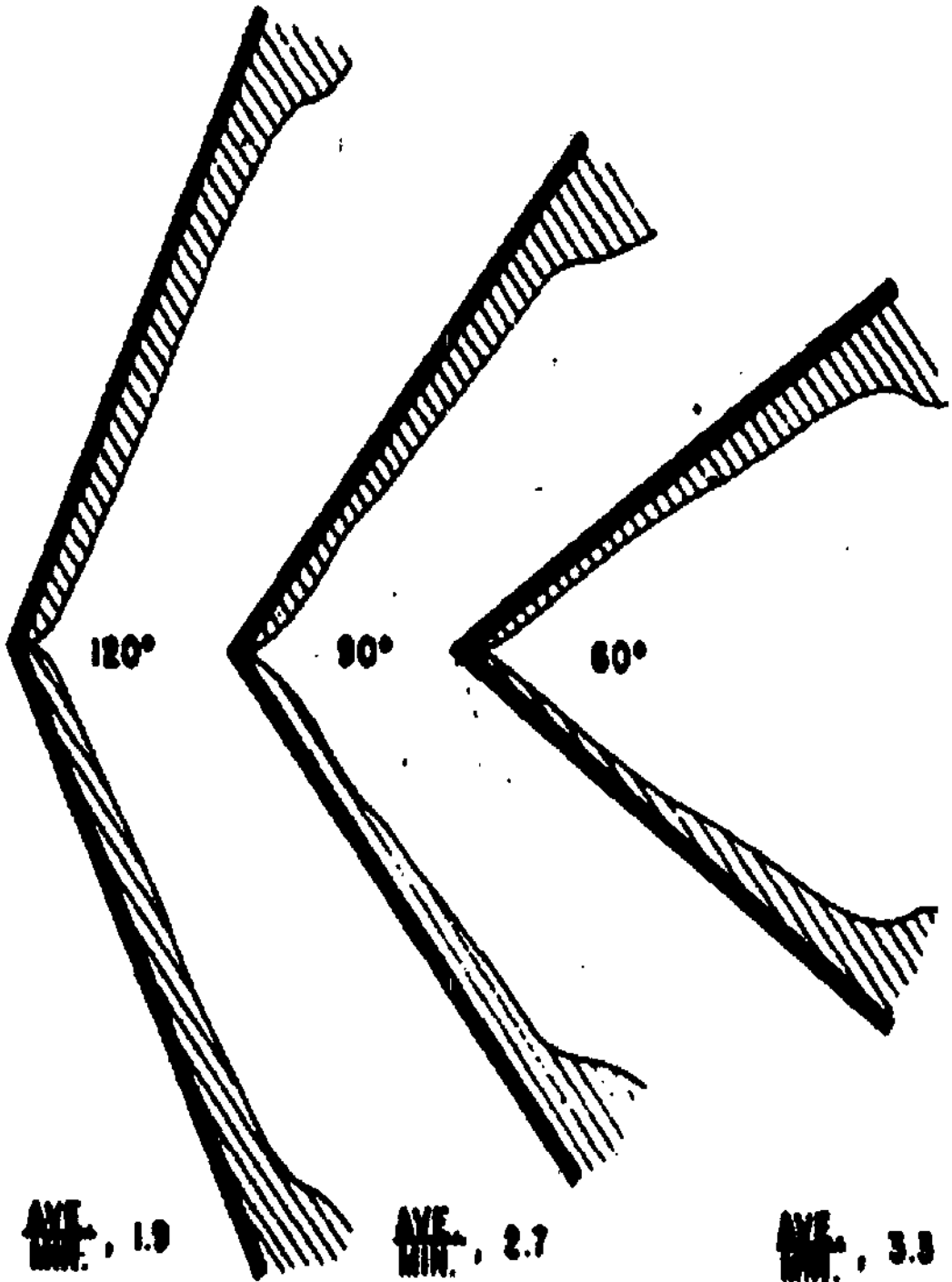


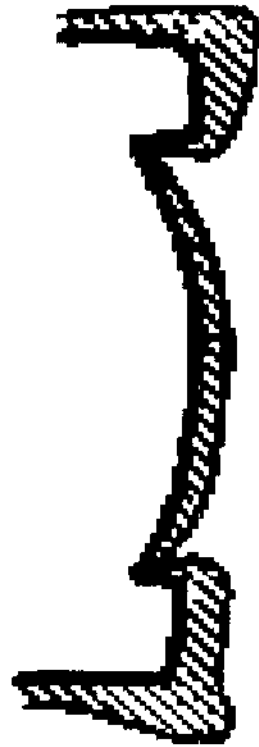
Figura 5. Relación de recubrimiento: pieza libre de aristas

Por otra parte, la distribución del recubrimiento respecto a la inclinación de la pieza a cromar es como se muestra:

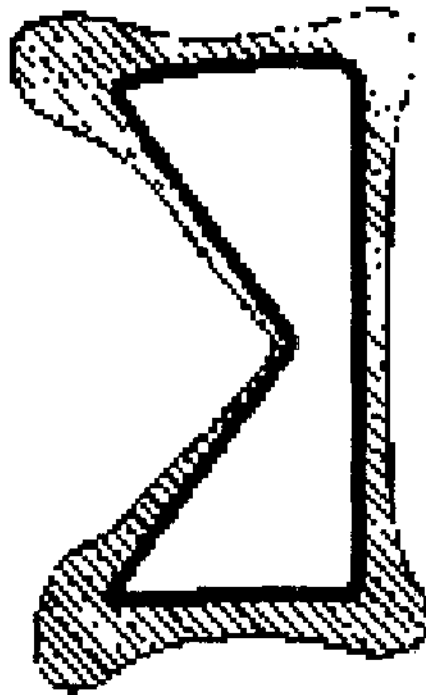
R= extremos/ centros

< 120° < 90° < 60°
1.9/1 2.7/1 3.3/1

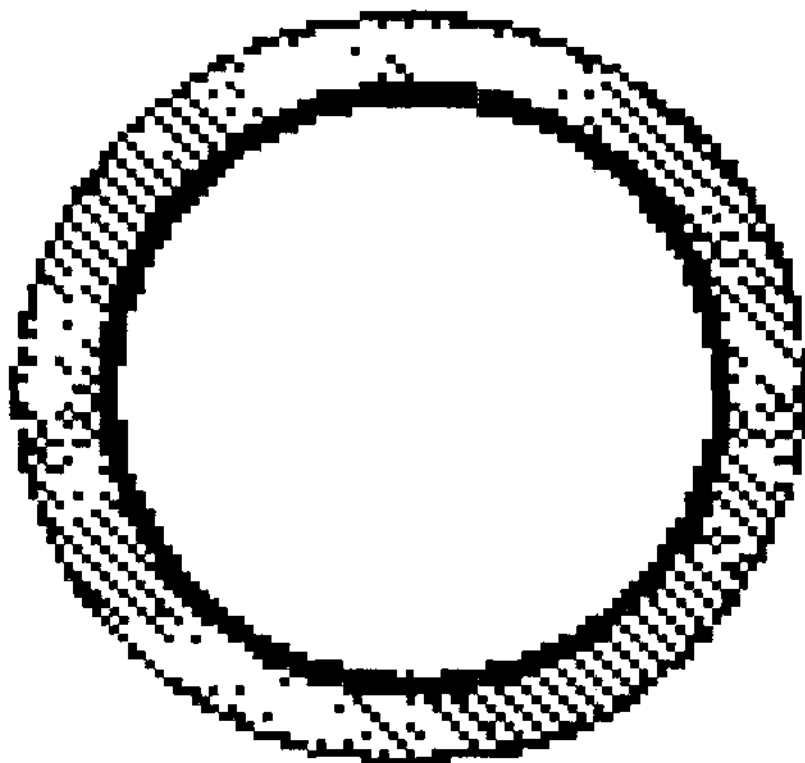




R=9/1



R=6.5/1



$$R=1.06/1$$

Figura 6 Distribución del revestimiento.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO 2.

1. Fedotev, N.

Electropolishing, Anodizing and electrolytic pickling of metals.

Robert Draper LTD.

1st English Edition. Teddington, England, 1975.

- 6 pag. 42
- 7 pag. 45
- 14 pag. 218
- 17 pag. 220

2. Gilliet, E.

Manual de los usuarios de revestimientos de cromo duro.

Ediciones URMO.

1^{era} Edición, Barcelona, 1973.

- 1 pag. 49
- 2 pag. 50
- 10 pag. 70
- 11 pag. 82
- 18 pag. 91

3. Graham, K.

Electroplating Engineering Handbook.

Van Nostrand Reinhold Company.

3rd Edition. New York, 1971.

- 3 pag. 126
- 5 pag. 127
- 9 pag. 90
- 20 pag. 57

4. Harshaw Chemicals.

Harshaw hard chromium plating process.

Technical bulletin no. HC 700-1068.

Harshaw Co. LTD, Indiana, 1985.

4 pag. 2

8 pag. 1

12 pag. 4

13 pag. 5

19 pag. 8

5. Krause, Hugo.

Análisis y control de baños en galvanotecnia.

José Montesó, Editor.

2ª Edición, Barcelona, 1970.

15 pag. 219

16 pag. 54

CAPITULO 3

FUNDAMENTOS FISICOQUIMICOS

3.1 DEFINICION DE ELECTROQUIMICA⁽¹⁾.

Es la rama de la fisicoquímica que trata de la interpretación de los fenómenos químicos y eléctricos, así como las propiedades de los electrolitos estableciendo una relación entre las acciones química y eléctrica de tales soluciones.

3.2 PRINCIPIOS DE LA CONDUCCION ELECTROLITICA.

El flujo de electricidad por un conductor involucra una transferencia de electrones desde un punto de potencial más negativo a otro de menor negatividad.

El mecanismo de transferencia de un conductor electrolítico, es por medio de migración iónica, positiva y negativa hacia los electrodos del sistema. Esta migración no sólo involucra transmisión de energía eléctrica sino también al transporte de materia de una parte a otra del conductor.

Además, el flujo de corriente en este sistema va siempre acompañado de cambios químicos en los electrodos; por otro lado, la resistencia de los conductores electrolíticos es inversamente proporcional al aumento de temperatura. Para ilustrar mejor la conducción electrolítica, analizaremos el siguiente ejemplo mostrado en la figura :

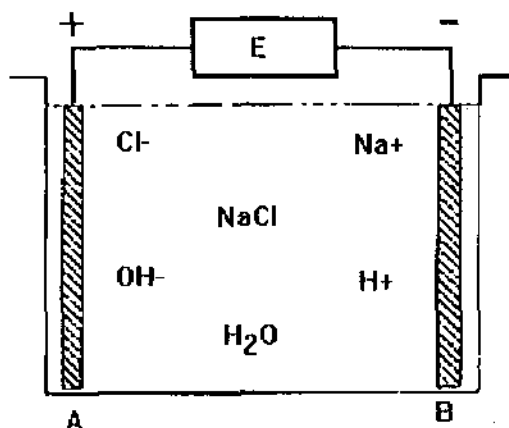


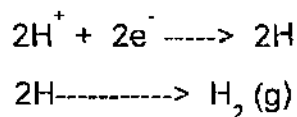
Figura 7. Ejemplo de electrólisis.

Consideramos aquí una celda específica, compuesta por 2 electrodos inertes, en este caso pudiendo ser de platino; conectados a una fuente de poder (E), y sumergidos en una solución acuosa de cloruro de sodio (NaCl).

El electrodo (B), conectado del lado negativo de E, se denomina cátodo y es aquél por el cual entran los electrones a la solución procedentes de E. El electrodo (A) conectado del lado positivo de E, se denomina ánodo, por el cual salen los electrones de la solución y regresan a E.

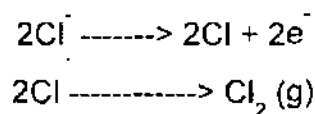
En la solución tenemos iones Cl^- y Na^+ ; además H^+ y OH^- , debido a la ionización muy ligera del agua. Ahora bien, cuando el circuito se cierra y pasa corriente por la solución, se encuentra que el gas Cl se escapa del ánodo y el gas H por el cátodo mientras que se forma hidróxido de sodio en la solución inmediata al cátodo. Esto es debido a lo siguiente: los electrones (e^-) entran a la solución por el cátodo B y al combinarse con los iones hidrógeno (H^+) forman el elemento monoatómico. Entonces se combinan 2 átomos de hidrógeno formando una molécula de gas que escapa del electrodo.

Las reacciones presentes pueden representarse así:



Los e^- abandonan la solución por el ánodo a través de una descarga de iones Cl^- y cada uno de éstos produce un e^- convirtiéndose en un átomo de Cl_2 .

Los e^- libres de esta manera, fluyen por el circuito externo desde el electrodo a la fuente de potencial, mientras que los átomos de cloro se combinan entre sí para formar $\text{Cl}_2(\text{g})$ que escapa. Las reacciones son:



Vemos pues, que 2 electrones desaparecen en el cátodo para formar una molécula de hidrógeno y simultáneamente otros 2 se forman en el ánodo. El resultado neto de lo anterior, es una transferencia de 2 electrones del cátodo al ánodo.

Los cationes se mueven hacia el ánodo de aquí que los electrones son transportados por estos iones desde el cátodo. De nuevo, como el flujo de cargas negativas es hacia la derecha, la migración de cationes hacia el ánodo es equivalente al flujo de electrones en direcciones opuesta. En consecuencia, el resultado neto de la migración es un desplazamiento de los iones por la solución en la dirección de la corriente y cada uno transporta una parte de la corriente total de electricidad a través de la solución.

La formación de NaOH en la porción catódica de la celda se comprende cuando recordamos que de ésta parte de la solución los iones H^+ han sido removidos por descarga en los electrodos, dejando en la solución un exceso de iones OH^- . Como

éstos no tienen la estabilidad de los positivos, los iones Na^+ emigran al compartimiento catódico en cantidad suficiente para formar una solución eléctricamente neutra (el NaOH).

Se concluyen pues 3 principios fundamentales de la conducción electrolítica:

- 1) El proceso del paso de corriente por un conductor electrolítico con todos los cambios químicos y físicos (migración) asociados, se denomina electrólisis.
- 2) Los electrones entran y salen de la solución a consecuencia de los cambios químicos que se efectúan en los electrodos.
- 3) Los electrones pasan por la solución debido a una migración iónica, y lo hacen de manera que entran tantos como salen.

3.3 LEYES DE FARADAY PARA LA ELECTROLISIS⁽²⁾

Estas leyes se refieren a las relaciones que existen entre los fenómenos químicos y físicos desarrollados en una electrólisis, principalmente tratan de las masas de las sustancias simples que aparecen como productos primarios durante la electrólisis.

Primera ley: las masas de las sustancias simples que aparecen como productos primarios de la electrólisis no dependen de la concentración del electrólito en la solución, ni de la temperatura, ni de la naturaleza química del electrólito, a condición de que el elemento que forma la sustancia simple, actúe con la misma valencia, en los distintos electrólitos.

Segunda ley: las masas de un mismo elemento que aparecen formando sustancias simples, como productos primarios de la electrólisis, son directamente proporcionales a las cantidades de electricidad que han circulado por las cubas

electrolíticas, en cada caso, siempre que el elemento actúe con la misma valencia en los diferentes electrólitos. La expresión matemática de esta ley es:

$$m_1/q_1 = m_2/q_2 \dots m_n/q_n = eE$$

Siendo $m_1, m_2 \dots m_n$, las masas del elemento que forman la sustancia simple que ha aparecido en la electrólisis, cuando han circulado las cantidades $q_1, q_2 \dots q_n$ de electricidad. La cantidad de electricidad se expresa en coulombs, la intensidad de la corriente en amperes.

Tercera ley: las masas de las sustancias simples formadas por distintos elementos que aparecen como productos primarios de una misma electrólisis, se hallan entre sí como los equivalentes gramo de los respectivos elementos. También se puede establecer la ley de otra manera diciendo que la misma cantidad de electricidad producirá cantidades equivalentes de acuerdo a la naturaleza química de todas las sustancias que resulten de este proceso.

Una consecuencia de esta ley, comprobada experimentalmente es que 96,487 coulombs depositan un peso equivalente de las sustancias simples.

Esto se ha observado sin variación a través de experimentación continua y a esta cantidad se le ha asignado un valor constante y el nombre de Faradio, el símbolo \mathcal{F} y que en cálculos ordinarios se ha redondeado a 96,500 coulombs.

Es esencial tener en cuenta que un faradio producirá un equivalente de cada uno de los productos primarios de la electrólisis, es decir, de uno de los formados directamente por corriente y no por subsecuente acción química, pues en este caso no tienen vigencia las leyes de Faraday. La expresión matemática de esta ley es:

$$me_1/qE_1 = me_2/qE_2 \dots = me_n/qE_n$$

En donde $m_1, m_2 \dots m_n$ son las masas de los elementos $E_1, E_2 \dots E_n$; siendo $qE_1, qE_2 \dots qE_n$, los equivalentes gramo de los respectivos elementos.

3.3.1 Equivalentes electroquímicos.

Las expresiones algebraicas de las leyes de Faraday pueden ser resumidas en una sola:

$$\begin{array}{ll} m_1 = eE_1q & m_2 = eE_2q \\ \text{electrólisis 1} & \text{electrólisis 2} \end{array}$$

Y si la cantidad de electricidad es la misma en ambas electrólisis:

$$\begin{aligned} m_1 &= eE_1q \text{ y } m_2 = eE_2q \\ q &= m_1/eE_1 \text{ y } q = m_2/eE_2 \text{ y} \\ m_1/eE_1 &= m_2/eE_2 \end{aligned}$$

Esto nos dice que las masas de dos elementos que forman sustancias simples que aparecen como productos primarios de la misma electrólisis, se hallan entre sí relacionados con las constantes de proporcionalidad E_1 y E_2 .

De acuerdo con la tercera ley de Faraday, esas masas son proporcionales a los respectivos equivalentes gramo de los elementos que intervienen en la electrólisis, lo cual quiere decir que las constantes de proporcionalidad de la segunda ley de Faraday, para distintos elementos se hallan en la misma razón que los respectivos equivalentes gramo.

La "eE" de la expresión de la segunda ley, es numéricamente igual a la masa del elemento que forman la sustancia simple que aparece en la electrólisis. Cuando circula la corriente de un coulomb por la tina de electrólisis correspondiente, dicha masa se define como equivalente electroquímico.

Si consideramos que en la solución existen partículas con cargas eléctricas; si entre los electrodos aplicamos una diferencia de potencial Δv ; ello equivale a crear un campo eléctrico de módulo $E = \Delta v / \Delta x$, siendo Δx la distancia entre los dos electrodos.

Se puede decir en general, que si un ión tiene "Z" cargas elementales, la fuerza a él aplicada en un campo eléctrico de módulo "E", está expresada por:

$$F = Z E$$

Considerando que una partícula en un medio viscoso tiene aplicada una fuerza constante, se mueve en el sentido de la fuerza con una velocidad constante, que resulta ser proporcional a la fuerza aplicada. Si llamamos " V^+ " y " V^- " a las velocidades de traslación con que se mueven los iones "x" y "y" hacia los electrodos respectivos, resulta:

$$V^+ = k^+ F^+ \quad V^- = k^- F^-$$

En donde " k^+ " y " k^- " son las constantes de proporcionalidad. Cualquiera que sea el lugar en donde se encuentra un ión que se mueve en la solución, dado que su velocidad es finita, llegará un instante en el que entre en contacto con el electrodo hacia el cual se mueve.

En las cubas electrolíticas de formas comunes las regiones anódicas y catódicas se hallan imprecisamente definidas, y en la región central se operan diferencias en la concentración.

Esto da origen a la difusión, que es el principio de los recubrimientos electrolíticos.

Ahora bien, la disminución total de la masa del electrólito es $- \Delta m$ durante un cierto tiempo en que se lleve a cabo la electrólisis y las disminuciones de masas del mismo en las regiones anódicas y catódicas son $- \Delta m^-$ y $- \Delta m^+$. Se definen como números de transporte del catión, t^+ y del anión t^- , las razones:

$$t^+ = - \Delta m^+ / \Delta m \quad \text{y} \quad t^- = - \Delta m^- / \Delta m$$

$$t^+ + t^- = 1$$

La disminución de masa del electrólito, en la región anódica; depende de la velocidad del catión y de la región catódica del anión. Se puede demostrar que, para lo que hemos denominado una misma electrólisis, las disminuciones de masas del electrólito en ambas regiones son proporcionales a la respectiva velocidad de migración de los iones y la disminución total de masa del mismo es proporcional a la suma de dichas velocidades.

Si ahora definimos a la movilidad de un ión como el cociente entre la velocidad de migración y el módulo del campo eléctrico, $E = \Delta v / \Delta x$, tendremos llamando U^+ y U^- , dichas movilidades:

$$U^+ = V^+ / E \quad \text{y} \quad U^- = V^- / E$$

O sea, se tratan de valores numéricamente iguales a las velocidades con los iones respectivos se moverían con un campo aplicado de un volt/cm; ya que, las velocidades de partículas que se mueven en las condiciones de los iones por acción de un campo eléctrico son proporcionales a las fuerzas aplicadas y éstas, en el caso que estamos considerando son, para un ión dado, proporcionales al campo eléctrico. Las dimensiones de las velocidades de migración son cm/sg y las de las movilidades $\text{cm}^2/\text{sg-volt}$.

3.4 ELECTROLISIS DEL CROMADO,

En el baño de cromo se utilizan ánodos insolubles de plomo aleado, debido a que es más económico reponer al cromo por medio de adiciones de trióxido de cromo (CrO_3), que tenerlo en ánodos solubles, de tal manera que el cromo depositado de la solución a la pieza se reponga de los mismos.

En el electrólito se llevan a cabo las reacciones siguientes:

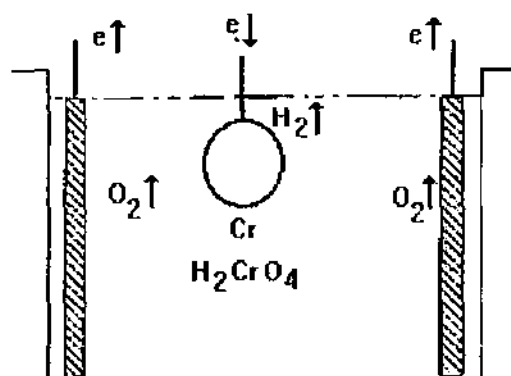
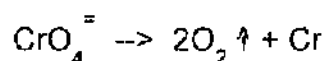
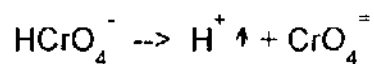
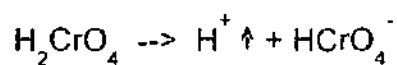
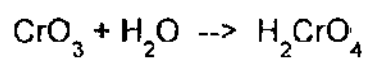


Figura 8. Electrólisis del Cromado

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO 3.

1. Maron, Samuel H. / Prutton, Carl F.

Fundamentos de fisicoquímica.

Editorial LIMUSA.

2ª Edición. México, 1987.

1 pag. 405

2 pag. 410

CAPITULO 4

DISEÑO DEL EQUIPO.

4.1 DIMENSIONES DE LA PIEZA POR CROMAR.

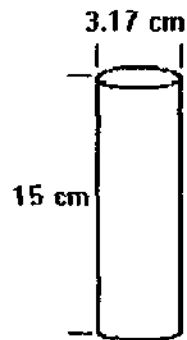


Figura 9. Dimensiones de la pieza.

En el cromado duro, ya se ha mencionado que una condición determinante del proceso es el tamaño y el número de piezas por cromar.

Para los fines del presente trabajo, se considera adecuado el cromado de una pieza con las siguientes características: una flecha metálica de sección circular con las siguientes dimensiones:

Diámetro : 3.17 cm (1 pulgada 1/4).

Largo total: 15 cms.

Superficie total: 1.49 dm².

4.2 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS TANQUES.

Existen 3 requerimientos generales para el diseño y la construcción de tanques para cromado :

- 1) El primero es evitar fugas o goteos, así como la contaminación de la solución contenida.
- 2) El tipo de la solución; para este caso, el ácido crómico.
- 3) El uso que se le dará al tanque y las condiciones de trabajo; como puede ser el tamaño de las piezas, el área efectiva por cromar, la temperatura que deba alcanzar la solución, etc.

Tomando en cuenta todos los factores anteriores, se procede a la selección de los materiales de fabricación.

Estos deberán ser químicamente resistentes a la solución y al mismo tiempo evitar su contaminación por ataque de la superficie en contacto con el electrólito.

El tanque seleccionado es de acero, debido a sus características de bajo costo, alta resistencia y facilidad de fabricación. Este es adecuado para baños alcalinos, para baños ácidos, siempre y cuando cuente con un recubrimiento interior, que puede ser a base de polímeros, como poliéster isoftálico o neopreno.

El espesor mínimo de trabajo de las paredes de un tanque en placa de acero⁽¹⁾ es de 3.25 mm (1/8 de pulgada) para tanques hasta 1 m³ de capacidad. Esto es debido a la facilidad que la placa de acero da para ser soldada.

La forma general de un tanque de cromado es el de un prisma rectangular, sin tapadera en la parte superior. Las paredes deben estar unidas con un cordón de soldadura continuo a fin de evitar porosidades, soldado con soldadura 6013 según la clasificación de la AWS (American Welding Society).

Las bases en las que se soporta el tanque, deberán tener una altura mínima de 0.10 m, esto es para evitar que el fondo del tanque esté en contacto con el suelo de la planta, exponiéndose a la corrosión del suelo sucio y húmedo.

Los bordes del tanque⁽²⁾ deberán tener resistencia estructural, para lo cual ha demostrado su eficacia el ángulo de fierro estructural, soldado por la junta superior con cordón completo y con "puntos" de soldadura de 2.54 cm aproximadamente cada 25 cm de distancia por la junta inferior, como lo muestra la figura siguiente:

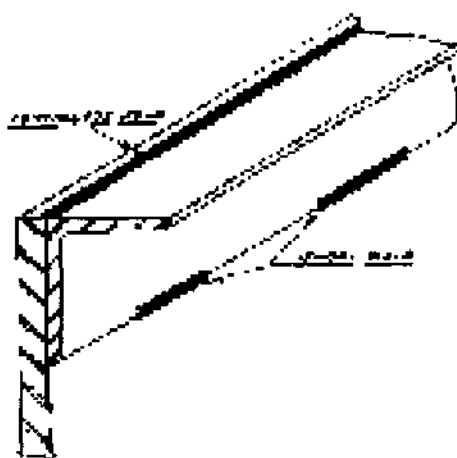


Figura 10. Detalle del borde del tanque.

Si el tanque tiene una capacidad mayor que un m³, deberá tener forzosamente un pendiente para el drenaje de la solución y lodos que se pueden acumular.

En un arreglo de multitanques deberán estar todos los drenajes de un solo lado para facilitar la limpieza. El tamaño de los tanques está determinado por el tamaño de las piezas por cromar y del número de éstas que se piensan procesar por jornada de trabajo. En caso de necesitarse dispositivos de calentamiento, éstos se deben disponer en el lugar menos usado por el operador.

4.2.1 Recubrimientos interiores.

Su función principal es proteger al tanque contra la corrosión. Se usan en variedad de formas; hojas, forros que se aplican en estado líquido, y forros que son en sí tanques internos. Se clasifican principalmente en dos tipos, de acuerdo a su resistencia química:

1) Para baños alcalinos; pueden permanecer sin recubrimiento especial las tinajas que son de acero, y en casos muy cáusticos ($\text{pH} > 12$), se recomiendan forros de neopreno.

2) Para baños ácidos, se recomiendan forros de P.V.C., neopreno o una capa triple de poliéster isoftálico reforzado con fibra de vidrio.

La temperatura viene a ser otra limitante en la selección del revestimiento interior de los tanques; se eligió al poliéster isoftálico reforzado con fibra de vidrio, debido a que es el método más económico, es fácilmente renovable y además de que soporta una temperatura de trabajo de hasta $93^{\circ}\text{C}^{(3)}$ y nosotros trabajaremos con un rango de 44 a 55°C .

Todo recubrimiento deberá acondicionarse para su uso; esto se logra recubriendo con ácido sulfúrico diluido para establecer una capa pasiva protectora para la superficie, después se debe enjuagar con agua corriente.

El mantenimiento preventivo general de los tanques consiste en una limpieza generosa intermitente, evitando que restos de sales corrosivas o líquidos atacantes permanezcan en sus superficie, cuando sea necesario, se debe aplicar una capa de pintura anticorrosiva y vigilarse el buen estado de los forros interiores para que sean renovados si es necesario.

4.2.2 Especificaciones de los tanques.

La planta piloto de cromo duro, es básicamente un conjunto de seis tanques en el orden siguiente, según su uso específico: un tanque para desengrase alcalino, un tanque para enjuague, un tanque para decapado, un tanque de enjuague, el tanque para cromado duro y el tanque para enjuague final.

Los seis están dispuestos en 2 líneas paralelas, soportados por una estructura de fierro, fabricada con ángulo estructural de 25.4 mm x 3.25 mm (1 x 1/8 "). La estructura y disposición geométrica de la planta son las siguientes:

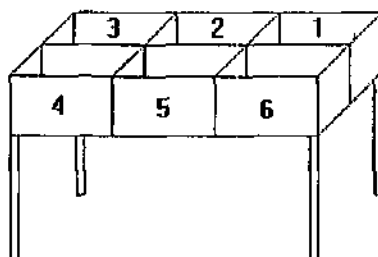


Figura 11. Arreglo de los tanques de la planta piloto.

Todos los tanques; excepto el de cromado, son tinas de plástico (PVC), el cual es adecuado para los fines a que están destinadas todas y cada una de ellas. Las dimensiones y la forma de cada tina son:

34.5 x 29 x 14 cm.

Capacidad nominal: 13.8 lt.

Volumen útil: 8 lt.

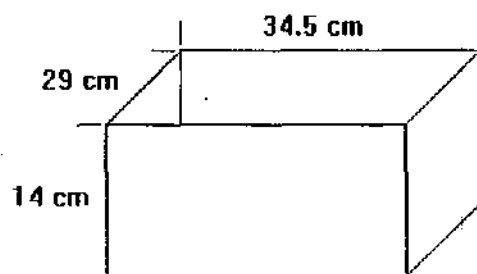


Figura 12. Dimensiones de las tinas.

El tanque para el cromado, está fabricado de acuerdo a las especificaciones que señalamos con anterioridad; con placa de acero de 3.25 mm (1/8"), ángulo estructural de fierro de 25.4 mm x 3.25 mm (1 x 1/8") y soldadura 6013. El revestimiento interior es de una capa triple de resina poliéster isoftálico con reforzamiento de fibra de vidrio (colchoneta). Las dimensiones del tanque son:

34 x 29 x 30 cm.

Capacidad nominal: 29 lt.

Volumen útil: 25 lt.

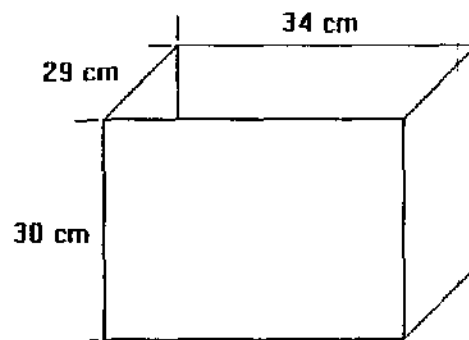


Figura 13. Dimensiones del tanque de cromado.

4.3 DISEÑO DE LOS SOPORTES (RACKS).

Un soporte, bastidor o "rack", es un instrumento diseñado para sostener las piezas dentro del electrólito y al mismo tiempo conducir corriente dentro de él.

Deben ser de cobre para asegurar una buena conducción, por lo dúctil de material y su alta resistencia mecánica. Las formas de los soportes dependen de las siguientes condiciones:

- 1) La pieza por revestir (forma y tamaño).
- 2) Las especificaciones del recubrimiento (parcial o total).
- 3) El número de piezas por recubrir (soportes individuales o múltiples).
- 4) Si la operación es manual o automatizada.

La función principal de los soportes es la de conducir corriente hacia la pieza como lo muestra la figura:

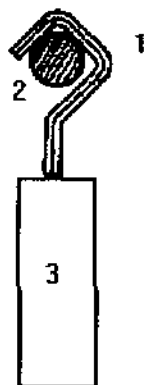


Figura 14. Funcionamiento de los soportes.

Donde 1 es el soporte o rack, 2 es la barra conductora de electricidad y 3 es la pieza a cromar.

Otra función importante de los soportes es evitar excesos locales de densidad de corriente en ciertas áreas de la pieza por cubrir. Cuando es necesario, se utiliza una barra que produzca sombras al flujo de corriente, llamada "electrodo fantasma" tal como se muestra en la figura:

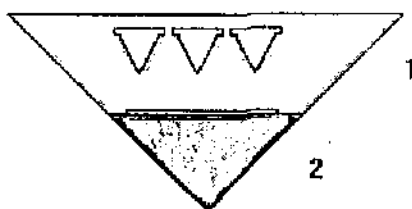


Figura 15. Anodos "fantasmas".

Donde 1 es la pieza por cromar y 2 el electrodo fantasma.

Por regla general los soportes se utilizan aislados; así se evita desperdicio de metal depositado, conserva al metal constituyente del soporte, disminuye la contaminación de la solución y economiza energía eléctrica.

Los mejores recubrimientos para soportes son los fabricados de plastisol de vinilo, y que se aplican como barniz al cuerpo del soporte.

4.3.1 Dimensiones del soporte.

Debido a las características de la pieza por cromar, el modelo de soporte escogido es el de "gancho", con un extremo unido a un tornillo también de cobre. El diámetro del cable de cobre se eligió de acuerdo a la ecuación⁽⁴⁾ siguiente:

$$\text{Diámetro del cable de cobre} = 7.350 (A)^2 / 3 \quad (4.1)$$

Donde A es la intensidad de corriente que se proyecta conducir a través del soporte.

La densidad de corriente necesaria para recubrirla es de 30 A.

Utilizando la ecuación anterior tenemos:

$$D = 7.350 (30)^2 / 3 = 70.9 \text{ mils}$$

70.9 mils equivalen a un cable de cobre de calibre 13.

4.4 ANODOS INSOLUBLES.

Su función principal es completar circuito eléctrico, de aquí que sea necesario que sean buenos conductores y que no sufran ataques corrosivos.

Para baños de cromado duro; los indicados⁽⁵⁾ son de la siguiente aleación: Pb, 99.9%; Ag, 0.02%; Cu, 0.08%.

Se disuelve una pequeña cantidad del ánodo en la formación de cromatos; esto se evita si el ánodo tiene una capa de peróxido de plomo, la cual se forma por medio de

un tratamiento anódico dentro de un baño electrolítico que contenga ácido sulfúrico por 24 horas; su color es pardo y se aprecia visualmente.

La relación óptima del área del cátodo con respecto a la pieza por cromar es de 1.5:1. La forma más común en la que se presentan los ánodos es la de barra de sección rectangular (solera) que puede ser cortada de una placa o fundida.

4.4.1 Dimensiones de los ánodos.

En nuestro caso los ánodos deberán tener una área mínima de 3.15 dm^2 ; por lo cual se escogieron como ánodos dos soleras con las siguientes dimensiones:

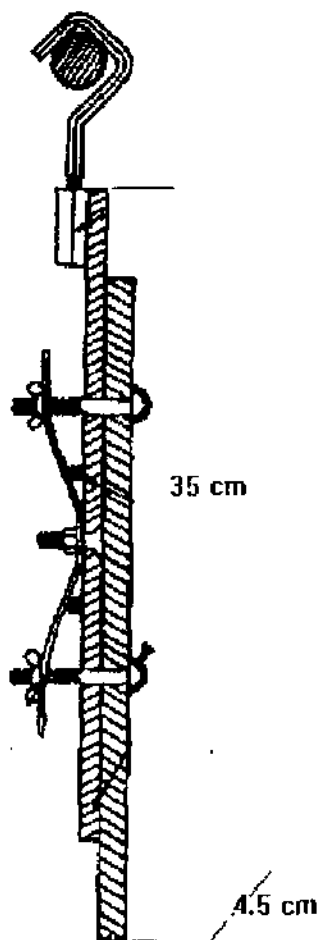


Figura 16. Dimensiones de los ánodos.

4.5 REQUERIMIENTOS DE CALOR Y POTENCIA.

4.5.1 Tipos específicos de calentadores para cromado.

4.5.1.2 Serpentes por inmersión.

El sistema más frecuente de este tipo de calentamiento consiste en hacer pasar vapor a través de una tubería en forma de serpentes que están sumergidos en la solución.

Los serpentes pueden ser usados también para enfriar la solución haciendo pasar por ellos agua, pero a menos que la solución sea vigorosamente agitada, la transferencia de calor es pobre, debido a la convección y al diferencial pequeño de temperatura.

Los serpentes deberán colocarse en las paredes del tanque y no en el fondo para no interferir con la limpieza del mismo.

Deben permanecer aislados para evitar cualquier conducción de electricidad. El diámetro de la tubería debería ser lo suficiente para manejar la cantidad de vapor requerida.

La tubería mas usada para el cromado es la de titanio.

4.5.1.2 Calentadores eléctricos para inmersión.

Aún cuando el costo de la electricidad es más alto que el del vapor, los calentadores eléctricos de inmersión se prefieren por sus muchas ventajas. El control de la temperatura es más fácil y preciso, los calentadores son portátiles y fácilmente instalables, y la utilización de la energía eléctrica es casi del 100% de eficiencia.

Los calentadores eléctricos deberán estar recubiertos por metales resistentes a la corrosión; como el titanio; el aluminio y el acero inoxidable.

El calor se transfiere a la solución por convección y se ocupa poco espacio ; se sugiere agitación ocasional para evitar sobrecalentamiento de áreas locales. Deben limpiarse periódicamente para no entorpecer la transferencia de calor.

4.5.1.3 Intercambiadores externos de calor.

Su uso es poco común dentro de esta industria, excepto para los casos en que se desee enfriar la solución electrolítica con rapidez; este puede ser el caso de un sobrecalentamiento debido al paso de una gran cantidad de corriente, al manejar superficies muy grandes con relación al volumen del tanque. El aumento descontrolado de la temperatura provoca en el cromado un debilitamiento de las propiedades físicas del recubrimiento.

4.5.2 Balance de calor:

Se debe calcular la carga total de calor para alcanzar las condiciones de operación adecuadas para lograr un depósito óptimo de cromo; siendo aquella la suma de todas las cargas de calor que requiere el cromado. Se tomó como base una hora de operación para todos los cálculos.

4.5.2.1 Calor necesario para calentar la solución.

El cálculo consiste en aplicar el balance de calor propuesto por Smith⁽⁶⁾ para un proceso a presión constante, significado por la ecuación:

$$Q = m C_p \Delta T \quad (4.2)$$

Donde Q= calor necesario para calentar la solución.

m= es la masa total de la solución.

C_p= la capacidad calorífica de la solución dentro del rango de temperatura de la operación de calentamiento .

ΔT= incremento de temperatura, resultante de restar el valor de la temperatura ambiente a la temperatura que desea calentar la solución (temperatura de trabajo).

Sustituyendo los datos tenemos, para un volumen de la solución de 25 lts, y una concentración de 250 gr/lit:

La masa la obtendremos utilizando los datos de densidad y volumen total de la solución, para resolver la ecuación :

$$m = \rho / v \quad (4.3)$$

Donde ρ = la densidad de la solución a temperatura ambiente (20 °C), = 1.04 gr/lit.

Y v= volumen total ocupado por la solución, v= 25 lts

$$m = (1.04 \text{ gr/lit}) (25 \text{ lts})$$

$$m = 26,000 \text{ gr}$$

La capacidad calorífica⁽⁷⁾ dentro del rango de trabajo de la temperatura es; C_p= 0.95 cal/gr °C.

El incremento de temperatura resulta de la resolución de la ecuación:

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (4.4)$$

Donde T_2 = temperatura de trabajo, $T_2 = 50^\circ\text{C}$ (Tabla 7) y $T_1 = 20^\circ\text{C}$.

$$\Delta T = (50 - 20)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 30^\circ\text{C}$$

Sustituyendo todos los valores en la ecuación (4.2), tenemos:

$$Q = (26,000 \text{ gr}) (0.95 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}) (30^\circ\text{C})$$

$$Q = 741,000 \text{ cal}$$

Que es el calor necesario para calentar la solución en una hora.

4.5.2.2 Calor absorbido por el material procesado.

El metal que está siendo procesado, es receptor de cierta cantidad de calor que le transmite la solución directamente, y esta cantidad está en función de la masa y capacidad calorífica del metal, así como del incremento de temperatura que debe sufrir el metal al ser depositado dentro de la solución, por lo cual utilizaremos nuevamente la ecuación (4.4) donde ahora todos los datos son del metal por procesar, que en el caso presente es cobre.

Datos:

$$m = 945.52 \text{ gr}$$

$$C_p = 0.092 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 30^\circ\text{C} \quad (\text{Ec.4.4})$$

Sustituyendo en la ecuación (4.2) tenemos:

$$Q = (945.52 \text{ gr}) (0.092 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}) (30^\circ\text{C})$$

$$Q = 2,609 \text{ cal}$$

Que es el calor pasado de la solución al metal por hora de trabajo.

4.5.2.3 Pérdida de calor por radiación del tanque al medio ambiente.

Existe una figura descrita por Graham⁽⁸⁾ que relaciona esta carga calorífica con las dimensiones del tanque de cromado, de la cual se obtiene el dato de que se transfieren aproximadamente del tanque de cromado, (sin considerar aislamiento térmico) aproximadamente 100 Btu/ hr.ft^2 , en donde ft^2 es la superficie de las paredes del tanque expresada en pies cuadrados de área. Haciendo las conversiones pertinentes, esto equivale a que existe una pérdida de calor de $271.26 \text{ cal/hr m}^2$ y si el área total de las paredes del tanque es de 0.4628 m^2 , se utiliza la ecuación:

$$Q = (\text{pérdida de calor}) (\text{área de las paredes}) \quad (4.5)$$

Sustituyendo:

$$Q = (271.26 \text{ cal/hr m}^2) (0.4628 \text{ m}^2)$$

$$Q = 125.54 \text{ cal/hr}$$

Que es el calor disipado por la radiación de las paredes hacia el medio ambiente por hora de trabajo.

4.5.2.4 Pérdida de calor por radiación de la superficie al medio ambiente.

De la anterior gráfica se obtiene también la pérdida de calor de aproximadamente 480 Btu/hr ft^2 que equivale a $1302.04 \text{ cal/hr m}^2$; siendo el área de la superficie de la solución de 0.0938 m^2 ; sustituyendo estos datos en la ecuación siguiente:

$$Q = (\text{pérdida de calor}) (\text{área de la solución}) \quad (4.6)$$

$$Q = (1302.04 \text{ cal/hr m}^2) (0.0938 \text{ m}^2)$$

$$Q = 122.13 \text{ cal/hr}$$

Que es el calor disipado por la superficie de la solución al medio ambiente.

4.5.2.5 Cálculo de la carga total de calor.

Calor para llevar la solución de la temperatura ambiente a la de trabajo:

Calentamiento de la solución	741,000 cal/hr
Pérdida por paredes	125.54 cal/hr
Pérdida por superficie	122.13 cal/hr

Carga total 1 741,247.67 cal/hr

Calor necesario para mantener la solución a la temperatura de trabajo:

Pérdida por material procesado	2,609 cal/hr
Pérdida por paredes	125.54 cal/hr
Pérdida por superficie	122.13 cal/hr

Carga total 2 2856.67 cal/hr

Para fines de diseño, se toma en cuanto a la carga de calor más grande; resultando en el presente caso la carga 1.

4.5.3 Selección del calentador.

Realizando las operaciones de conversión convenientes tenemos que se requiere un calentador con una potencia de calentamiento de 861.5 W como mínimo.

Utilizando el criterio de la sección 4.5.1.2, se eligió un calentador tubular para inmersión con las siguientes características:

Calentador de aluminio.

250 mm de longitud por 38.1 mm de diámetro.

1000 W para una entrada de 127 V.

En forma de rizo.

Caja de terminales cubiertas con plastisol.

Soldadura de argón a prueba de corrosión.

El tiempo de calentamiento de la solución será:

$$t = (861.5 \text{ W-hr}) / (1500 \text{ W}) \quad (4.7)$$

$$t = 0.57 \text{ hr} = 34.45 \text{ min aprox.}$$

4.6 REQUERIMIENTOS DE ENERGIA ELECTRICA.

Siendo la electrólisis, el fundamento del proceso; necesitamos un aparato eléctrico capaz de proveernos de corriente continua.

Los más usados en la industria son los generadores de corriente y los rectificadores de estado sólido. A continuación presentamos una tabla de comparación⁽⁹⁾ de ventajas y desventajas de ambos equipos.

Tabla 11. Comparación entre rectificadores y generadores de corriente.

Concepto	rectificadores	generadores
Eficiencia	70-85%	65-70%
Eficiencia de carga	cargas altas	cargas pequeñas
Continuidad de corriente	depende del circuito	depende del diseño
Facilidad de control	La misma para ambos aparatos	
Costo inicial	Generalmente es más bajo para rectificadores	
Costo mantenimiento	Menor para rectificadores	
Flexibilidad	Son más flexibles los rectificadores.	
Tratándose de factores físicos y eléctricos)		

como se aprecia en la tabla anterior las ventajas de utilizar rectificadores son significativas, por lo cual hemos decidido utilizar un rectificador.

4.6.1 Rectificadores de corriente.

La característica esencial de un rectificador, es que la resistencia al flujo de corriente es en un sentido más alta que su resistencia en el otro sentido. En otras palabras, un rectificador exhibe conductividad asimétrica.

Si un rectificador se inserta en un circuito cerrado de corriente alterna, el rectificador va a impedir el flujo de corriente en una dirección y presentará una impedancia más baja en el otro sentido; resultando así un flujo de corriente unidireccional "pulsante". Debido a que en la industria de los recubrimientos electrolíticos se utilizan voltajes bajos y grandes cantidades de corriente, han tenido éxito en ella, los rectificadores contruidos con materiales semiconductores; esto es que comparten dentro de sus elementos celdas hechas con placas de selenio, silicio, óxido de cobre o sulfato de cobre. Más tarde se han incorporado otra clase de materiales en su fabricación, como son el germanio, el silicón o el telurio.

Estas placas en celdas reciben el nombre de "stacks", a los elementos simples de cada "stack", se le llaman diodos. Analizaremos a estos elementos en particular:

Elementos de óxido de cobre, de sulfato de cobre y selenio.

Estos tipos de rectificadores se usaron por igual durante la 2ª guerra mundial, pero después de ella, el de selenio se ha usado mucho más. El elemento de selenio tiene la misma eficiencia de conversión que el elemento de óxido de cobre y mucho más que el de sulfato de cobre. Puede operar a temperaturas más altas que el de óxido de cobre y es mas adecuado para el trabajo con voltaje inverso. Su compatibilidad y mayor vida, lo han hecho preferencial.

Todo sistema de rectificado de corriente consta de los siguientes elementos:

Un transformador de corriente, protegido adecuadamente con relevadores de sobrecarga.

El sistema de diodos interconectados que son propiamente la unidad de rectificado, protegidos con fusibles y equipados con disipadores de calor.

Los sistemas de enfriamiento, pueden ser por convección, aire forzado, aceite o agua.

Conductores con aislamiento para hasta 600 V, que resisten altas temperaturas y atmósferas corrosivas.

Todo esto está integrado en un gabinete de construcción rígida en lámina galvanizada y pintado para evitar corrosión.

4.6.2 Especificaciones del rectificador.

Para la planta piloto se mandó a fabricar un sistema de rectificación de corriente suficiente para las necesidades de la pieza de prueba (sección 4.1), lo que nos indica una salida de corriente directa 30 Amperes.

Por lo consiguiente las especificaciones del rectificador son:

Condiciones de alimentación:	De salida:
Corriente: alterna.	Corriente: directa.
Voltaje: 127 V.	Intensidad: 30 A.
	Voltaje: 4-7 V.

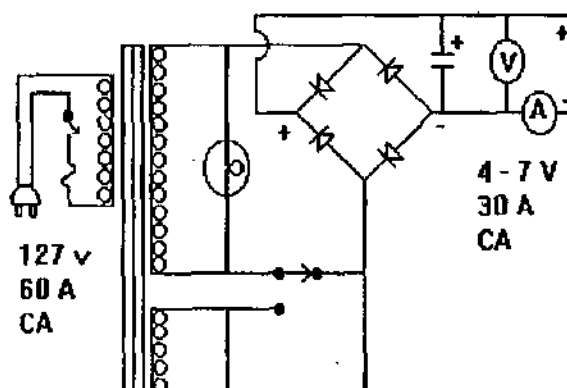


Figura 17. Diagrama del rectificador.

4.7 INSTRUMENTACION Y CONTROL.

Reconociendo la importancia de mantener la temperatura de trabajo adecuada; se eligió para ello, un termostato que tiene las siguientes especificaciones:

Pieza de control de temperatura Robertshaw, modelo B-10, con un rango de control de 15 a 120 °C, con bulbo corto.

Para evitar un ataque corrosivo por parte del electrólito, se procedió a insertarlo en un termopozo, fabricado de acero y recubierto con poliéster y fibra de vidrio al igual que el interior del tanque.

4.8 EQUIPOS AUXILIARES PARA LA PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE.

Debido a que la preservación del medio ambiente significa la conservación de la vida, principalmente la del género humano; como complementos dentro de una planta de cromo duro, deben existir equipos auxiliares como los son un sistema adecuado de ventilación y un equipo para el tratamiento de aguas de desecho.

Siendo ambos sistemas materias para desarrollos de otros trabajos, se darán los lineamientos generales de ambos, dejando la opción abierta, para que algún compañero de la carrera los desarrolle.

4.8.1 Ventilación

Son absolutamente necesarios equipos de ventilación en la cromadora, siendo un seguro de vida para los operarios y el medio ambiente; pues los vapores del ácido crómico pueden dañar irreversiblemente las mucosas nasales y oculares.

Se muestran en la tabla los contaminantes volátiles que se liberan regularmente en las cromadoras y los límites permisibles según la EPA (Environmental Protection Agency)⁽¹⁰⁾, que es la regulación más estricta para toda América.

Tabla 12. Contaminantes volátiles usuales en el cromado.

Proceso	Componente volátil	Límite(ppm)
Decapado	Tipo de metal base	
Aluminio	Oxidos de nitrógeno	5
Cobre	Acido sulfúrico	10
Aceros e hierro	Acido sulfúrico	10
Desengrase Alcalino	Nieblas de sodio	2
Desengrase por solventes	Vapor hidrocarburos	
	Tetracloruro de carbono	10
	Tetracloroetileno	100
	Tricloroetileno	100
Cromado	Acido crómico	5
Descromado	Neblinas de sodio	2

4.8.2 Sistemas de ventilación.

La ventilación industrial, cuyo propósito principal es el controlar la contaminación atmosférica es de dos clases; general o de dilución y local.

La primera se basa en el principio de introducir en la nave del cromado un exceso de aire del exterior que se encuentra relativamente "limpio" para mezclarlo con los vapores de la planta; a este sistema sirven los ventiladores de ventana o de techo.

La ventilación local, por otra parte, funciona al capturar el grueso del aire contaminado, pasarlo a través de un filtro y expulsarlo a la atmósfera. Las campanas de extracción son el instrumento adecuado para ello. El criterio de selección del método depende de la relación de aire contaminado/ aire del exterior.

Para el tipo de operaciones que requiere el cromado, son indispensables los métodos locales de ventilación. Siendo el sistema más conveniente el de captación de neblina por soplado y extracción⁽¹¹⁾

Este sistema consiste en un sistema de inyección de aire constante en una dirección paralela a la superficie del tanque, formándose una capa gruesa de aire que evita la difusión de la neblina de ácido crómico dentro del local, y que al mismo tiempo arrastra en su parte inferior la neblina hacia la campana de extracción colocada en el extremo de la tina.

La campana de extracción conduce a través de un ducto, dicha neblina, hacia una unidad filtradora que purifica la misma expulsándola a la atmósfera con el contenido límite de ácido crómico requerido.

Las dimensiones de las dos campanas y de la unidad filtrante deben ser determinadas en función del tamaño del tanque .

Las características de construcción del sistema, son:

Sistema de inyección.

Ventilador acabado en lámina galvanizada.

Filtros de aire, con napa , para evitar contaminación.

Ducto y campana terminados en lámina galvanizada, calibres 22 y 18 respectivamente.

Sistema de extracción.

Ventilador acabado en acero inoxidable tipo 306.

Ductos y campana terminados en acero inoxidable tipo 306, calibres 22 y 18 respectivamente.

Sistema de filtración.

Unidad cúbica filtrante, estructura en acero inoxidable tipo 306.

Charolas con cartuchos intercambiables de carbón activado.

Dichas charolas están construidas en lámina galvanizada de calibre 18. La duración de la parte metálica se estima en quince años y el cartucho de carbón activado se deberá cambiar dependiendo de las condiciones de trabajo.

La siguiente figura muestra una aproximación del sistema de ventilación propuesto.

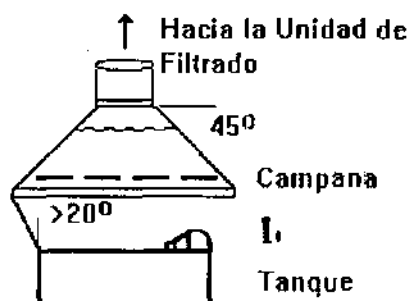


Fig. 18. Sistema de ventilación.

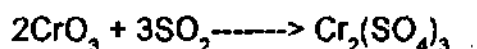
4.8.3 Aguas de desecho, control y tratamiento.

Conociendo la importancia del medio ambiente, es necesario tomar como parte del costo de instalación de la planta el costo del sistema de control y tratamiento de aguas de desecho. Según la EPA⁽¹²⁾, las concentraciones de cromo en el agua de desecho de la industria no deben existir en el caso de ser hexavalente, y siendo trivalente de 0.05 mg/lt. El hierro tiene por su parte el tope de 0.3 mg/lt y los sulfatos de 12.5 mg/lt.

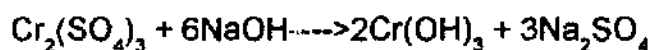
Para controlar el desecho de éstas y otras sustancias nocivas para el hombre es necesario utilizar un sistema de recuperación, control y expulsión de las aguas.

Es interesante conocer sobre todo, el tratamiento químico requerido para las aguas de desecho de la planta de cromado. Este tipo de tratamiento tiene un triple objetivo; destruir o separa toda materia tóxica, usualmente a manera de pretratamiento, separa esencialmente toda trasa de metal y la neutralización química.

La sustancia más tóxica⁽¹³⁾ involucrada en una planta de cromado duro es precisamente el cromo hexavalente. El tratamiento⁽¹⁴⁾ consiste primero en remover el agua residual; para esto el cromo hexavalente se reduce a trivalente con dióxido de azufre, según la reacción:



Este sulfato precipita como hidróxido de cromo agregándole hidróxido de sodio, según la reacción:



Este pasa a su vez a un depósito para sulfitación o sedimentación.

Existen métodos más sofisticados⁽¹⁵⁾ por medio de resinas de intercambio iónico que aseguran un recuperación bastante aceptable del cromo.

La unidad de tratamiento de aguas propuesta para esta planta de cromado duro contiene los siguientes elementos:

Un componente de neutralización química, en el cual se lleva a cabo la reacción descrita anteriormente. Consiste en un filtro prensa con placas de polipropileno. En esta unidad se concentra en la torta el resto del metal que pudiera existir en el agua de desecho; la cual puede ser destinada a afluentes municipales ya que esta garantizado que el agua tendrá el contenido límite de contaminante requerido por las regulaciones existentes.

Por otro lado, de los 120 contaminantes en aguas residuales, un tercio son varios derivados halogenados⁽¹⁶⁾, dentro de los cuales se encuentran los listados en la tabla 12 y que son los utilizados en la operación de desengrase por solventes. La forma comercial idónea de eliminarlos⁽¹⁷⁾ es utilizando medios filtrantes que contengan carbón activado, arena sílica, grava de cuarzo, antracita, o tierras de infusorios.

4.9 CONSIDERACIONES DE INGENIERIA.

Son básicas para instalación de una planta de cromado las siguientes consideraciones:

- 1) Producción estimada: va a ser determinada por el número de piezas requeridas por día, semana o mes.
- 2) Especificaciones del recubrimiento: espesor, tamaño y forma de las piezas, resistencia a la corrosión.
- 3) Datos del área de cromado: tamaño y forma de los tanques, tamaño y forma de los soportes, capacidad de energía eléctrica suficiente, un balance de calor para asegurar la correcta preparación y funcionamiento del electrólito, equipo de filtración,

equipo de ventilación y una instalación hidráulica adecuada, incluyendo un programa para las aguas de desecho.

4) Tiempos y movimientos de transferencia de materiales, así como un correcto control de inventarios.

4.10 ARREGLO TIPICO DE UNA PLANTA DE CROMADO.

Los detalles del arreglo o "lay out" de la planta cromadora, varían grandemente con la producción requerida, el tipo y tamaño de artículos que se procesarán. Sin embargo, se pueden señalar como fundamentales:

- 1) Un almacén temporal de producto por procesar, de ingreso a la planta.
- 2) Una o más estaciones para colocación de las piezas por cromar en los soportes.
- 3) Departamento de construcción, reparación y aislamiento de soportes.
- 4) El área de proceso adecuada para incluir las operaciones siguientes: pretratamientos, electrólisis y tratamientos posteriores.
- 5) Almacén para productos en proceso.
- 6) Pasillos o espacios libres, adecuados para el manejo de material en proceso.
- 7) Estaciones de inspección del proceso.
- 8) Almacén de insumos (productos químicos, ánodos, tornillería).
- 9) Laboratorio para pruebas y control analítico del proceso.
- 10) Almacén temporal de producto procesado.
- 11) Espacio adecuado para la fabricación de soluciones, purificación y almacenaje.
- 12) Areas protegidas para rectificadores.
- 13) Areas separadas del cromado para el tratamiento de superficies.
- 14) Area para el recuperamiento de materiales y piezas.

- 15) Espacio de oficina para el personal técnico y administrativo.
- 16) Espacio para lockers y botiquín de primeros auxilios.
- 17) Instalaciones sanitarias en uso, incluyendo regaderas de emergencia.

4.11 HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.

Daremos los criterios importantes para el funcionamiento seguro de una planta de cromado. Las consideraciones a tomar en cuenta son:

Toxicidad de los materiales. En el cromado se manejan materiales altamente tóxicos, con los riesgos consiguientes para la salud de los operarios y el medio ambiente. Nunca deberá exponerse al operador hacia ambientes nocivos que excedan el límite del umbral de seguridad (LUS).

La lista de LUS más extensa⁽¹⁸⁾ ha sido publicada por la Conferencia Industrial Americana de Higiene, son revisados cada año y se han vuelto oficiales para especificaciones gubernamentales. Nosotros ya las hemos mostrado en la sección de ventilación. El turno de trabajo no deberá exceder de las ocho horas reglamentarias.

Control de los contaminantes del aire. Remarcando la importancia del control de tóxicos volátiles, recomendamos las siguientes medidas de seguridad: aislamiento del proceso peligroso en cuestión, protección, capacitación y supervisión adecuadas de la seguridad del operario y finalmente la ventilación adecuada.

Quemaduras químicas, existe un riesgo enorme de sufrir quemaduras severas por contacto directo con ácidos o álcalis para cualquier operario dentro de la planta, un tambor roto, una salpicadura, una inmersión accidental y otras situaciones semejantes pueden derivar en una desgracia.

Por ello existen deben tomarse precauciones adecuadas para evitar este tipo de accidentes, como son:

1) El personal deberá usar el equipo adecuado. Ropa de seguridad, como pueden ser un mono de mezclilla, petos de cuero, botas y guantes de hule, guantes de carnaza y casco. Deberán usar también indispensablemente; caretas, goggles, mascarilla antipolvos y respiradores antineblinas tóxicas (con cartuchos filtrantes de carbón activado).

2) Exigir a los trabajadores cuya ropa está en contacto con químicos corrosivos, el cambio de la misma y el baño total después de cada turno. Esto requiere siempre de meticulosa supervisión.

3) Proveer a la instalación con regaderas de emergencia, en las áreas potencialmente peligrosas, al igual que estaciones lava-ojos. La rapidez de la atención es más importante en el caso de un contacto ocular que en el caso de piel o ropa.

4) Dar a los tanques una altura no menor de 90 cm para evitar que el trabajador caiga dentro de alguno.

5) Emplear un código de colores para evitar la apertura equivocada de una válvula o de una mezcla indeseable de reactivos.

6) Usar aparatos mecánicos de preferencia para el transporte de sustancias químicas.

7) Cableado preferentemente subterráneo, como una medida más de seguridad se deben cablear todos los motores por debajo del suelo, el rectificador y las barras conductoras deberán estar correctamente aisladas para evitar un electrocutamiento.

4.11.1 Primeros auxilios

Como la aplicación de éstos pueden ser la diferencia entre la vida o la muerte de gente involucrada en los procesos de recubrimientos electrolíticos damos los siguientes lineamientos:

Bases de los primeros auxilios; acción inmediata, obtener los servicios de un médico lo más rápido posible, parar hemorragias, restaurar la respiración y circulación correcta de la sangre y nunca administrar líquidos a una persona inconsciente.

Tratamiento de emergencia para un envenenamiento por ingestión. Llamar al médico; inducir al vómito, excepto cuando el envenenamiento es debido a la ingestión de ácidos o álcalis severos, o destilados del petróleo. El método más común es usar media cucharada de mostaza en medio vaso de agua tibia, pudiendo ser también sal o jabón disueltos en el agua. En caso de haber ingerido sustancias corrosivas, dar bebidas reparadoras para reponer tejidos dañados; lo más común es clara de huevo disuelta en leche. Cuando el antidoto sea desconocido, administre antidoto universal, preparado de la siguiente manera: 2 partes de carbón en polvo, 1 de óxido de magnesio y 1 de ácido tánico. Dosis: una cucharada en un vaso de agua tibia. En cualquier caso debe mantenerse al paciente caliente.

Tratamiento de emergencia para envenenamiento por inhalación; mueva al paciente hacia una toma de aire fresco, aplique respiración artificial y mantenga al paciente caliente, llame al médico.

Quemaduras y escoriaciones. Quemaduras de origen químico; en el caso de quemadura por contacto con álcali, lavar con vinagre la parte afectada y en caso de ser quemadura ácida, lavar con una solución ligeramente alcalina y jabón. En caso

de quemaduras en los ojos, exponga éstos a un flujo continuo de agua por lo menos por dos minutos. Si son quemaduras térmicas, cubra a la víctima con ropa seca y llévela al hospital.

Shock eléctrico. Cierre la corriente y mueva al electrocutado utilizando un material aislante; si no respira, aplique respiración artificial y masaje cardíaco, mantenga al paciente caliente y llame al médico.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO 4.

1. Bolaño, T.

El impacto biológico, problema contemporáneo.

Ediciones de la Universidad Nacional Autónoma de México.

1^{era} Edición. México, 1990.

13 pag. 18

16 pag. 42

2. Environmental Protection Agency.

Determining persistence and rules of degradation of chemicals substances in environment.

EPA Bulletin no. 56015-75-00605. Washington, D. C. , 1991.

10 pag. 20

12 pag. 25

3. Graham, K.

Electroplating Engineering Handbook.

Van Nostrand Reinhold Company.

3rd Edition. New York, 1971.

1 pag. 551

2 pag. 553

3 pag. 560

4 pag. 42

5 pag. 677

7 pag. 92

8 pag. 574

9 pag. 715

14 pag. 214

15 pag. 215

18 pag. 390

4. Sanks, Robert L.

Water treatment plant design.

Ann Arbor Science.

1st Edition. Montana, 1990.

17 pag. 62

5. Smith, J. / Van Ness.

Introducción a la termodinámica en ingeniería química.

Mc Graw Hill.

2^a Edición. México, 1981.

6 pag. 55

6. Soler y Palau.

Prontuario de ventilación.

Ediciones de Soler y Palau.

1^{era} Edición. Madrid, 1972.

11 pag. 11

CAPITULO 5

PRACTICA OPERATORIA

5.1 PREPARACION DE LA SOLUCIONES.

5.1.1 Electrólito de cromo.

Para la preparación y correcto funcionamiento de la solución de cromado se usan 2 componentes; el trióxido de cromo y agua destilada.

El trióxido que se utilizó fue el DC-700 de Harshaw , específica para cromado duro.

El tanque debe estar perfectamente limpio. Se procede a llenar el tanque hasta las dos terceras partes de sus capacidad (o sea, hasta 16.6 lt), con agua destilada que esté a una temperatura superior en 10 grados centígrados a la temperatura de trabajo. Se agrega lentamente el trióxido de cromo requerido para tener la concentración óptima (Tabla 7), o sea 6.250 kg; al tiempo que se agita, posteriormente se agrega el resto del agua hasta alcanzar el volumen de 25 lt.

Se recomienda agitar por lo menos durante media hora.

Se ponen los ánodos en su lugar y se electroliza a 6 volts , a la temperatura de trabajo por un par de horas.

No es necesario agregar ácido sulfúrico, puesto que el DC-700 ya lo incluye en la cantidad adecuada (1.5 %).

La solución ya está lista para usarse.

5.1.2 Solución de desengrase.

Esta se prepara agregando a 7.2 lt de agua, 800 gr de sosa cáustica (NaOH) en escamas, dentro de la tina de desengrase. Se agita perfectamente hasta la disolución completa, teniendo cuidado pues existe un desprendimiento de calor alto en esta operación.

5.1.3 Solución de decapado.

Se prepara agregando 800 gr de ácido sulfúrico Q.P. a 7.2 lt de agua, en la tina dispuesta para ello.

La operación es altamente exotérmica, y nunca deberá realizarse en el sentido opuesto, porque puede ser explosiva.

5.2 PUESTA EN MARCHA.

Se debe seguir esta secuencia de pasos:

Activar el calentador por inmersión; debe ser lo primero puesto que va a llevar a la solución de la temperatura ambiente a la de trabajo. A su vez, el termostato deberá

estar calibrado para controlar las fluctuaciones de esa temperatura, activando al calentador cuando sea necesario.

Posteriormente, se procede a activar el rectificador con las condiciones de salida requeridas (sección 4.6.2), se inserta la pieza, previamente tratada, a manera de cátodo colocándola en la barra contactora por medio del soporte adecuado.

5.3 PRACTICA OPERATORIA.

La práctica operatoria se limita al cromado de una pieza que caiga dentro del rango de las condiciones de trabajo de la planta. En el caso presente, la pieza es la descrita con anterioridad (sección 4.1). La secuencia es la siguiente.

- 1) Se pule la pieza con medios mecánicos.
- 2) Se desengrasa, sumergiéndola en la solución de desengrase alcalino durante 5 minutos.
- 3) Se sumerge en la tina de enjuague correspondiente.
- 4) Se pasa a la tina de decapado, sumergiendo la pieza en la solución durante aproximadamente 5 min.
- 5) Se enjuaga en la tina correspondiente.
- 6) Se inserta la pieza en el electrólito de cromo durante un tiempo razonable, de acuerdo a la velocidad del recubrimiento, siendo un tiempo óptimo de prueba de 1 a 2 horas.

5.3.1 Corridas.

La pieza elegida para llevar a cabo la práctica fue un cilindro macizo de cobre de diámetro de 2.54 cm y largo de 11.2 cm , que reportó tener un peso previo al cromado de 488.5 gr. Se eligió como metal base al cobre debido a su gran conductividad eléctrica, a la suavidad que posee (siendo más fácil apreciar el

cambio en la dureza después del cromado) y por su color, ya que visualmente se aprecia de inmediato el cromado sobre él.

Se le dio a la pieza los tratamientos del 1 al 6 de acuerdo a la sección anterior y se obtuvo un incremento en peso de 1.5 gr, y después de 2 hrs de cromado constante con 5 volts y 25 amperes como condiciones de la corriente rectificada.

La intensidad ampérica utilizada corresponde a 25 A; aplicados durante 3600 sg, resulta en una transmisión de corriente de 90,000 Coulombs.

Estos de acuerdo a la sección 3.3 equivalen a 0.932 Faradios, lo cual indica que se depositaron un total de 0.932 equivalentes gr del cromo siendo éstos de un valor de 8.67 gr⁽¹⁾ indica una masa total de 8 gr de metal depositado.

Como se puede apreciar, la eficiencia real de la corriente fluctúa en un valor del 19 %.

De acuerdo a la figura 2, cae dentro del rango de la zona de cromado duro brillante.

Esta misma corrida se repitió 5 veces reportando los siguientes resultados:

Tabla 13. Resultados de las corridas del cromado.

No. de corrida.	Incremento en peso de la pieza.
1,	1.5 gr
2	1.6 gr
3	1.5 gr
4	1.4 gr
5	1.6 gr

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO 5.

1. Graham, K.

Electroplating Engineering Handbook.

Van Nostrand Reinhold Company.

3rd Edition. New York, 1971.

1 pag. 17

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Realizado el presente trabajo, se concluyen los siguientes puntos:

- 1) Es primordial diseñar el equipo de acuerdo a las necesidades de producción y todo lo que esto lleva consigo, siendo el otro factor importante el cúmulo de limitaciones que puedan existir; económicas, geográficas, de mercado
- 2) Que una de las aplicaciones prácticas de la electroquímica, es precisamente la industria de los recubrimientos electrolíticos.
- 3) Que es prioritario recabar toda la información posible; de libros, manuales, hojas técnicas y experiencias de trabajo para el diseño y construcción óptimas de una planta piloto.

Se recomienda seguir la secuencia mencionada en la sección 5.3 , utilizar el equipo de seguridad recomendado en la sección 4.11 siempre que se desee realizar alguna práctica , mantener la planta en un lugar ventilado dentro del laboratorio y mantenerla cubierta para evitar cualquier accidente, contaminación de las soluciones y pérdidas de la mismas por evaporación.

BIBLIOGRAFIA GENERAL.

1. Alvarez, Juan.

Propiedades de la película de cromo duro.

Boletín CA-1, Cromo duro Almothy S.A. de C.V.

Puebla, 1973.

2. Bolaño, T.

El impacto biológico, problema contemporáneo.

Ediciones de la Universidad Nacional Autónoma de

México. . Coordinación de Estudios de Postgrado.

1^{era} Edición. México, 1990.

3. Enviromental Protection Agency.

Determining persistence and rules of degradation of chemicals substances in enviroment.

EPA Bulletin no. 56015-75-00605. Washington, D.C., 1991.

4. Fedot'ev, N.

Electropolishing, anodizing and electrolytic pickling of metals.

Robert Draper LTD.

1st English edition. Teddington, England, 1975.

5. Gilliet, E.

Manual de los usuarios de revestimientos de cromo duro.

Ediciones URMO

1^{era} Edición. Barcelona. 1973.

6. Graham, K.
Electroplating Engineering Handbook.
Van Nostrand Reinhold Company.
3rd Edition. New York, 1971.

7. Harshaw Chemicals.
Harshaw Hard Chromium plating process.
Technical bulletin no. HC 700-1068.
Harshaw Co. LTD. Indiana, 1985.
(

8. Kirk, Oyhmer.
Enciclopedia de la tecnología química.
UTEHA.
1^{era} Edición. Madrid, 1972.

9. Krause, Hugo.
Análisis y control de baños en Galvanotecnia.
José Montesó, Editor.
2^a Edición. Barcelona, 1970.

10. Maron, Samuel H. / Prutton, Carl F.
Fundamentos de fisicoquímica.
Editorial LIMUSA.
2^a Edición. México, 1987.

11. Mingot, Tomás de Galiana.
Larousse de Ciencias y Técnicas.
Editorial Larousse.
1^{era} Edición. México, 1975.

12. Sanks, Robert L.

Water Treatment Plant Design.

Ann Arbor Science.

1st Edition. Montana, 1990.

13. Smith, J. M. / Van Ness.

Introducción a la termodinámica en ingeniería química.

McGraw Hill.

2^a Edición. México, 1985.

14. Soler y Palau.

Prontuario de ventilación.

Edición de Soler y Palau.

1^{era} edición. Madrid, España, 1972.