



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
Y METALURGIA

“IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO PARA ANÁLISIS DE BAÑO DE CROMADO”

Memoria de prácticas profesionales

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presenta

Sara Melissa Villegas Castro

Hermosillo, Sonora

Junio 2016

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

DEDICATORIA

A Dios por ser la fuerza que nos impulsa cada día para vencer los retos que ésta nos presenta.

A mis padres Sergio y Laura, por ser mis guías en la vida, por darme los mejores consejos para que pueda tener éxito en mi vida. GRACIAS por enseñarme a ser la persona que soy, por motivarme a mejorar siempre, y mostrarme que la adversidad no es nada más que el momento en el que nos haremos fuertes y podremos enfrentar cualquier problema. Son mi impulso y mi vida entera es fruto de su amor.

A mis hermanos, Giselle y Sergio, por ser mis compañeros de vida, de aprendizaje, de tropiezos, mis mejores amigos, mis cómplices y mis más grandes regalos. Por enseñarme a valorar y amar sin importar los errores o diferencias que podamos tener. Mi éxito es también de ustedes, mi familia.

A mi sobrina Amelie, por ser mi más grande inspiración.

A mis 4 abuelos por apoyar a mis padres y a mí, desde el momento en que nací; hasta el cielo GRACIAS.

A mis amigos, por ser más que mis colegas, un apoyo muy grande durante todos estos años.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora por brindarme el conocimiento necesario durante mi desarrollo profesional.

Al Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia y a toda su planta de docentes quienes me proporcionaron el conocimiento académico que necesité a lo largo de mi formación académica.

A mi Tutor de Prácticas Profesionales el Dr. Abraham Rogelio Martín García por todo su apoyo, asesoramiento y paciencia durante la realización del presente trabajo.

A La Dra. Onofre Monge Amaya por su apoyo y ayuda en la realización de este trabajo, aun sin que fuera su obligación directa.

A mi jurado por impulsarme a mejorar.

A todas aquellas personas que de una u otra forma ayudaron a la realización de este trabajo, **Gracias.**

RESUMEN

Curtiss-Wright Nogales Sonora siendo una empresa líder en el campo aeroespacial desea instalar un pequeño laboratorio para los análisis del baño de cromo. Actualmente el proceso de cromado se monitorea con dos tipos de análisis, una semanal que consiste en pruebas de adhesión, y otro mensual para cuantificar ácido crómico, sulfatos, y cromo trivalente.

Se proponen técnicas de análisis de los diferentes parámetros a cuantificar y con ellos se muestra la instrumentación, equipo, materiales y mobiliario necesarios para la implementación del laboratorio, con sus respectivos precios. Las técnicas propuestas para llevar a cabo el análisis del baño electrolítico son relativamente fáciles de realizar. Pueden hacerse por el ingeniero encargado del área, así como un técnico en ingeniería o en química, entrenados previamente en la utilización del material y reactivos de laboratorio y en las medidas de seguridad. Realizando cálculos en base a cantidades teóricas de 100 piezas cromadas a la semana nos ayudó a identificar que durante un periodo de 4 meses se opera un tiempo continuo de 22.1 horas consumiendo un amperaje de 24.27 Amperes; con esta energía sería suficiente para depositar 173.30 gramos de cromo; pero los cálculos muestran que la cantidad de cromo depositada en las piezas fue de 59.5 gramos de cromo. Lo anterior indica que la eficiencia del proceso electroquímico respecto al cromo depositado fue del 34.32%.

Se utilizaron conocimientos adquiridos en mi formación académica en materias como Ingeniería de Procesos ya que realizando un manual para la operación de un laboratorio se abarcan diversos aspectos tanto académicos como legales, de proyectos, del proceso y de seguridad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

ÍNDICE DE CONTENIDO	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tablas	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Curtiss-Wright Controls de México	2
1.2. Curtiss-Wright Nogales Sonora	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivos específicos	4
2. Fundamentos de la operación de cromado	5
2.1. Operaciones de cromado	5
2.2. Reacciones del Cr ⁺⁶ en solución	6
2.4. Baño electrolítico utilizado en Curtis-Wright.....	9
3. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Preparación del baño electrolítico	11
3.1.1. Sustancias	11
3.1.2. Procedimiento	12
3.2. Parámetros analizados en una planta de cromado	12
3.2.1. Ácido Crómico.....	13
3.2.2. Análisis de sulfatos	14
3.2.3. Determinación de la relación de ácido Crómico y sulfatos en el baño de cromado	15
3.2.4. Contenido de cromo trivalente	15
3.2.5. Medición de la densidad del baño.....	17
3.3. Medidas de seguridad	17
3.3.1. Equipo de protección personal	18
3.3.2. Toma de muestra y transporte al laboratorio	18
3.3.3. Almacenamiento	19

3.3.4. Limpieza	19
4. LABORATORIO	20
4.1. Ubicación tentativa del laboratorio dentro de las instalaciones de la empresa	21
4.2. Aspectos económicos.....	22
4.2.1. Instrumentos	23
4.2.2. Reactivos	24
4.2.3. Consumo mensual de reactivos.....	24
4.2.4. Equipo.....	25
4.2.5. Mobiliario	25
4.3. Aspectos legales medioambientales	26
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
5.1. Cálculo de pH del baño	28
5.2. Cálculo de depósito en base a dimensiones reales de piezas	30
5.3. Eficiencia del proceso de cromado.....	32
5.4. Análisis de la cantidad de cromo alimentada	34
6. CONCLUSIONES.....	35
6.1. Factibilidad del proyecto.....	35
6.2. Técnicas analíticas de laboratorio	35
6.3. Interpretación del análisis del balance de masa en el proceso de electrodeposición	35
6.4. Conclusión personal.....	36
7. BIBLIOGRAFIA	37

Lista de Figuras

	Página
Figura 1: Localización de Curtiss-Wright Nogales Sonora.	4
Figura 2: Diagrama esquemático de la celda electrolítica de cromado.	10
Figura 3: Tubo KOCOUR.	15
Figura 4: Diagrama del laboratorio dentro de la planta.....	22
Figura 5: Diagrama del Laboratorio.....	22
Figura 6: Dimensiones de pieza a cromar.....	30

Lista de Tablas

	Página
Tabla I: Valores de ΔG° y K_{eq} para reacciones de Cr^{+6} (25°C).....	6
Tabla II: Reactivos, instrumentos, equipo y mobiliario necesarios para la instalación del laboratorio de análisis del baño de Cromado.....	20
Tabla III: Precios de Instrumentos para Laboratorio de análisis del baño de Cromado, en dólares.	23
Tabla IV: Precios de reactivos para Laboratorio de análisis del baño de Cromado, en pesos.	24
Tabla IV: Consumo mensual de reactivos.	25

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente tendencia de las empresas de galvanización a realizar medidas de certificación, así como optimizar y asegurarse que la calidad de su proceso es la mejor, muchos de los explotadores de productos obtenidos en baños de cromo prefieren implementar la determinación de los diferentes parámetros in situ.

Curtiss-Wright Nogales Sonora siendo una empresa líder en el campo aeroespacial desea siempre la mejora continua, así pues, los encargados del área de cromado han pensado en la posibilidad de instalar un pequeño laboratorio para los análisis del baño de cromo.

Actualmente el proceso de cromado se monitorea con dos tipos de análisis:

- *Semanal:* Pruebas de adhesión de cromo.
- *Mensual:* Análisis del baño de cromo, ácido crómico (valores dentro del rango de a 299.56 a 314.54 g/l), sulfatos (valores dentro del rango de 2.99 a 3.14 g/l), cromo trivalente (valores dentro del rango de 0.1 a 1% en peso) y obtener la relación del baño (valores dentro del rango de 90 a 110).

Los análisis más importantes son los que se realizan mensualmente, ya que, teniendo las concentraciones adecuadas de los ya mencionados parámetros, la adhesión del cromo a las piezas es la óptima. El análisis lo realiza actualmente un laboratorio externo, el cual no ha llenado las expectativas deseadas en cuanto a servicio y tiempos de entrega. Así mismo, cuando los resultados llegan a sus manos, las concentraciones han cambiado de nuevo, y no es certero realizar alguna modificación en el baño. A futuro implementando un laboratorio para hacer análisis in situ, será asegurado el tener información en tiempo real para así poder hacer las modificaciones pertinentes al baño cuando se obtengan resultados diferentes al rango de trabajo. El proceso estaría controlado y se podría obtener más fácilmente un rendimiento óptimo.

1.1. Curtiss-Wright Controls de México

Curtiss-Wright asegura la confiabilidad de los vuelos comerciales de pasajeros alrededor del mundo. El legado de innovación en el área aeroespacial comercial de Curtiss-Wright, va desde los fundadores, pioneros de la aviación (los hermanos Wright), hasta lo más nuevo en productos avanzados tecnológicamente, abarcando varias de las aerolíneas comerciales alrededor del mundo asegurando seguridad en el despegue y aterrizaje. Ellos han desarrollado grandes relaciones con compañías dando soporte con equipo original a empresas como Boeing y Airbus, siendo así los proveedores de una extensa cantidad de productos y servicios para las aerolíneas comerciales, de negocios y jets regionales, así como helicópteros.

En la industria aeroespacial la seguridad es una de las más grandes prioridades. En aviones comerciales, sus sensores y grabadoras de datos, contribuyen en las operaciones de vuelo que monitorean y comunican información vital y condiciones en el avión y sus alrededores. Sus sistemas de protección contra fuego incluyen detectores de humo, fuego y controles de presión; sus cabinas de pilotos mejoradas ayudan a que las operaciones de las naves sean más seguras. Su soporte en la producción de aeronaves incluye Shot Peening (proceso donde se golpean superficies con esferas pequeñas o medianas a altas velocidades) y Laser Peening, dos procesos que mejoran la resistencia a la fatiga del fuselaje y los componentes de las turbinas.

Otros servicios a aeronaves comerciales incluyen la aplicación de recubrimientos térmicos en aerosol en los componentes de las turbinas. Colectivamente, estas tecnologías realzan la integridad y extienden la vida de componentes críticos ayudando a prevenir las fallas por corrosión. Sus tratamientos de superficies aseguran la durabilidad de los metales altamente estresados, reduciendo costos de manufactura, mantenimiento y reparaciones.

Desde los aviones de pasajeros hasta los jets de negocios y helicópteros, Curtiss-Wright da soporte al espectro completo de la aviación. Por todo lo ya mencionado, para que Curtiss-Wright sea totalmente confiable para sus clientes, deben contar con condiciones óptimas de trabajo en todas sus áreas, esto incluye el área de cromado, y el realizar análisis semanalmente los análisis del baño ayudará en gran medida a lograr el objetivo general de la empresa. (Curtiss-Wright, 2015).

1.2. Curtiss-Wright Nogales Sonora

Curtiss-Wright Controls de México es una empresa líder en el Sector Aeroespacial a nivel mundial ubicada en la Carretera Internacional, kilómetro 5.5 en el Parque industrial San Ramón en Nogales Sonora, código Postal 84094. La empresa cuenta con un aproximado de 500 trabajadores. Los principales productos que manufacturan son Sensores LVDT (transformador diferencial de variación lineal, es un tipo de transformador eléctrico utilizado para medir desplazamientos lineales), RVDT (transformador diferencial de variación rotatoria, son sensores de posición angular) y Solenoides (dispositivo físico capaz de crear un campo magnético uniforme e intenso en su interior, y muy débil en el exterior). Se muestra a continuación una imagen satelital de la ubicación de la empresa:

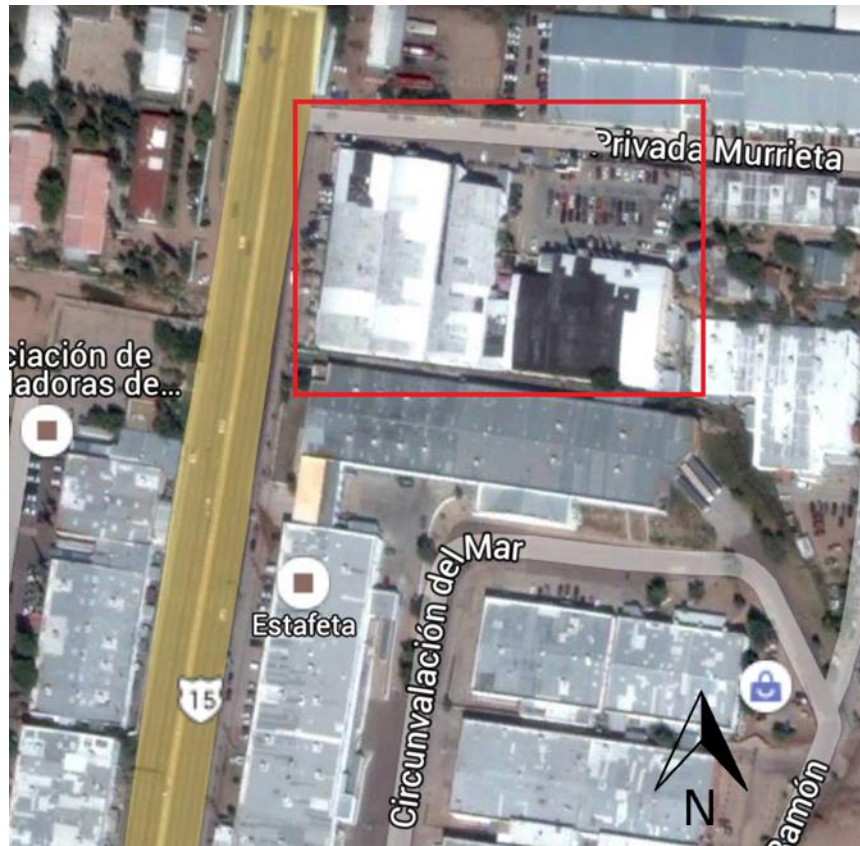


Figura 1: Localización de Curtiss-Wright Nogales Sonora.

1.3. Objetivo general

Implementar un laboratorio para analizar el baño de cromo.

1.3.1. Objetivos específicos

1. Conocer los fundamentos de la operación de cromado.
2. Conocer las técnicas de análisis para el baño de cromo.
3. Proponer ubicación del laboratorio en la planta.
4. Estimar costos de reactivos, instrumentos y equipo.
5. Identificar equipo de protección personal y medidas de seguridad.
6. Identificar la normatividad legal aplicable.

2. Fundamentos de la operación de cromado

En la presente sección se realiza una descripción general de la operación de cromado, las reacciones de cromo hexavalente en solución, así como características generales del baño electrolítico.

2.1. Operaciones de cromado

El cromado es un galvanizado, basado en la electrólisis, por medio del cual se deposita una fina capa de cromo metálico sobre objetos metálicos. El cromo es un elemento químico de número atómico 24 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. El recubrimiento electrolítico con cromo es altamente usado en la industria para proteger metales de la corrosión, mejorar su aspecto y sus prestaciones. También se emplea para restaurar piezas metálicas o conseguir superficies muy duraderas y con bajo coeficiente de rozamiento, cromo duro (Mandich y Snyder, 2010). De acuerdo a Bianchi y Cemino (2006) en la práctica corriente de los acabados metálicos, el cromo se aplica generalmente en forma de depósito sumamente delgado (aproximadamente de 2.5×10^{-5} a 5×10^{-5} cm de espesor). El proceso comercial más común y establecido de electrodeposición de cromo, utiliza cromo hexavalente (Cr^{+6}) en solución, pero actualmente se reconoce la importancia del cromo trivalente (Cr^{+3}) ya que éste se utiliza para depósitos gruesos, aunque estos no son cristalinos como los producidos por el cromo hexavalente. El cromo hexavalente, por otra parte, es utilizado ampliamente en depósitos decorativos y casi en todo el depósito de cromo duro, utilizando el CrO_3 (trióxido de cromo) para preparar el electrolito. (Mandich y Snyder, 2010).

Prácticamente todo el cromado actual se efectúa mediante una solución de ácido crómico (Cr^{+6}) que contiene una pequeña, pero bien determinada, proporción de sulfato, ácido sulfúrico generalmente. Las concentraciones absolutas de ácido

crómico y sulfato en el baño, son de importancia secundaria con relación al factor principal, que es la relación de ácido crómico a sulfato. Esta relación es mejor mantenerla alrededor de 100:1 (Bianchi y Cemino, 2006).

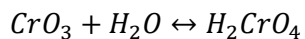
2.2. Reacciones del Cr⁺⁶ en solución

En esta sección se presentan las reacciones que intervienen en el proceso de cromado utilizando cromo hexavalente son mostradas en la siguiente tabla.

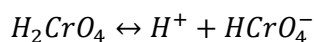
Tabla I: Valores de ΔG° y Keq para reacciones de Cr⁺⁶ (25°C)

Reacciones	ΔG° (kJ/mol)	Keq
$H^+ + CrO_4^{2-} \leftrightarrow HCrO_4^-$	-33.72	8.09E+05
$2H^+ + 2CrO_4^{2-} \leftrightarrow Cr_2O_7^{2-} + H_2O$	-79.16	7.39E+13
$2H^+ + CrO_4^{2-} \leftrightarrow H_2CrO_4$	-43.14	3.61E+07
$3H^+ + 2CrO_4^{2-} \leftrightarrow HCr_2O_7^- + H_2O$	89.54	2.06E-16
$2HCrO_4^- \leftrightarrow Cr_2O_7^{2-} + H_2O$	-11.72	1.13E+02
$H^+ + HCrO_4^- \leftrightarrow H_2CrO_4$	-9.41	4.46E+01
$H^+ + Cr_2O_7^{2-} \leftrightarrow HCr_2O_7^-$	-10.46	6.80E+01
$HCrO_4^- + 7H^+ + 3e^- \leftrightarrow Cr^{3+} + 4H_2O$	-390.83	2.96E+68
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \leftrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	-713.33	9.37E+124
$Cr^{+3} + 3e^- \leftrightarrow Cr$	215.39	1.84E-38

Al agregarse las 33 libras de óxido crómico al agua des ionizada ocurre la siguiente reacción en la cual se obtiene ácido crómico como producto:

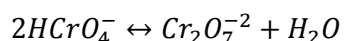


Al ser el ácido crómico la única especie de cromo presente en ese instante, y en base a la energía libre de Gibbs y las constantes de equilibrio, la siguiente reacción es la disociación del ácido crómico:

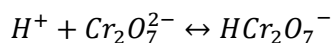


Ya que su constante de equilibrio en ese sentido es favorable termodinámicamente respecto a la reacción donde el ácido crómico nos produce ion cromato y dos iones hidronio

Como producto de la reacción anterior se obtiene el ion hidronio y el ion cromato ácido. El ion cromato ácido puede reaccionar conforme a la ecuación química en la cual este se disocia para formar el ion cromato y el ion hidronio, pero comparando la energía libre de Gibbs (33.72 kJ/mol) y la constante de equilibrio de la reacción mencionada anteriormente (1.25×10^{-6}) con la otra posible, ésta última sugiere que la reacción que sucede es la formación del ion dicromato ($\Delta G = -11.72 \text{ kJ/mol}$):

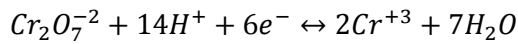


De las reacciones presentadas en la tabla anterior, que son únicamente químicas, es posible que la siguiente reacción a ocurrir donde intervenga el ion dicromato sea:

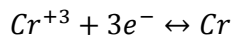


Pero dado que la anterior reacción no proporciona el cromo trivalente en reacciones electroquímicas, que es el depositable, la reacción electroquímica

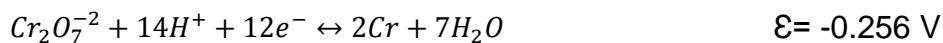
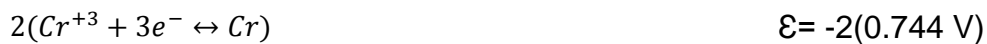
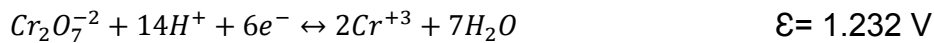
más probable a ocurrir, basado en su energía libre de Gibbs, es la del dicromato más 14 iones hidronio que al sumarle 6 electrones (la cual tiene un potencial estándar de 1.232 V), nos produce cromo trivalente y agua, como se muestra a continuación:



Por último, el cromo trivalente más 3 electrones crea el depósito de cromo metálico deseado (el potencial estándar de esta reacción es de -0.744 V), de la siguiente forma:



Finalmente, haciendo el análisis termodinámico obtenemos el valor del potencial de media celda de la electrodeposición de cromo hexavalente a cromo metálico, el cual está dado por la suma de la reacción en la que el dicromato nos produce cromo trivalente y dos veces el proceso electroquímico de reducción de Cr^{+3} a cromo metálico.



De acuerdo a la ecuación anterior son necesarios 6 Faradios (F) para depositar 1 mol de cromo hexavalente (1 F=96,500C), esta es la reacción de la media celda que sucede en el cátodo.

2.4. Baño electrolítico utilizado en Curtis-Wright

El baño electrolítico es el medio acuoso en donde se lleva a cabo un recubrimiento electrolítico. El principio básico del proceso de recubrimiento electrolítico consiste en la conversión a cromo metálico del Cr^{+6} contenido en el ácido crómico del baño electrolítico, que se deposita en el cátodo (pieza que será recubierta) formando una capa metálica en su superficie. Los electrones tienen que fluir por el circuito externo desde el electrodo negativo al positivo. La capa depositada forma cristales metálicos. En función del tipo de estructura cristalina se derivan las diferentes propiedades del recubrimiento y así los campos de aplicación más adecuados. El recubrimiento electrolítico de las piezas se produce casi exclusivamente por inmersión en un baño. Para ello se introducen las piezas en las cubas donde se encuentra el electrolito, se les aplica la corriente como cátodo, se recubren y se secan. Al extraer las piezas del baño arrastran una cantidad del electrolito sobre la superficie de las piezas. Esa película superficial arrastrada se elimina en un proceso de lavado posterior para que no interfiera en las siguientes operaciones o presente las condiciones de acabado exigidas (ISTAS, 2010).

En los procesos de cromado, parte del contenido de cromo hexavalente de la solución es reducido en el cátodo a la forma trivalente, que se deposita en el cátodo (piezas a cromar) y oxígeno que se desprende en el ánodo. Se emplea como ánodo un electrodo de platino inerte o acero inoxidable. Al contrario de otros baños como los del níquel, el cromo que se deposita en el cátodo procede del ácido crómico disuelto y no del ánodo, por lo que poco a poco se va empobreciendo en cromo la solución.

A continuación, se muestra un esquema del proceso del baño electrolítico de cromo, en él se muestran la reacción de la media celda (catódica) descrita en la sección 2.3, se observa el flujo de electrones, la reducción del cromo trivalente en el cátodo y por consiguiente la deposición del cromo metálico.

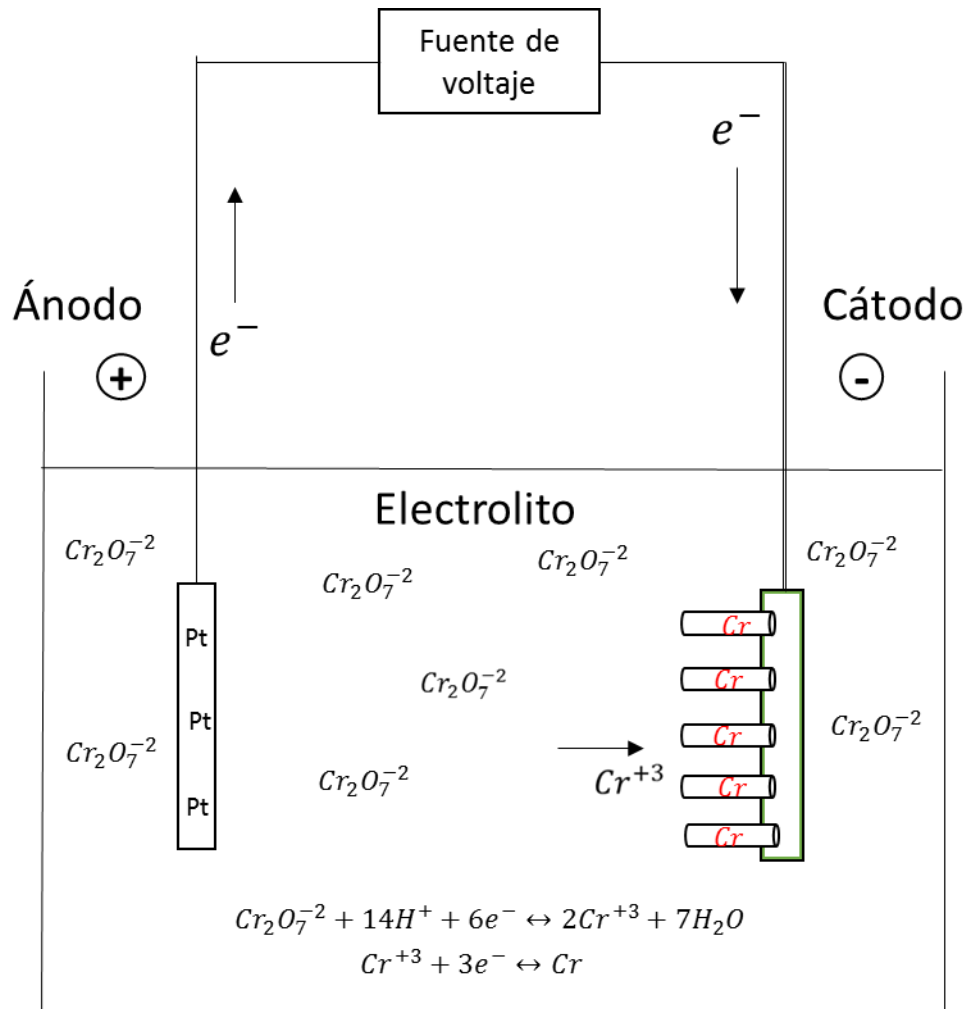


Figura 2: Diagrama esquemático de la celda electrolítica de cromado

3. METODOLOGÍA

En este apartado se describen los métodos para analizar la calidad del baño, respecto a sulfatos, ácido crómico, cromo trivalente, relación de baño, así como la preparación del baño de cromado.

3.1. Preparación del baño electrolítico

A continuación, se describen las sustancias utilizadas para preparar un baño electrolítico de cromo, el procedimiento para realizarlo, así como la descripción de los métodos utilizados para llevar a cabo el análisis de dicho baño.

3.1.1. Sustancias

- Óxido crómico

El óxido crómico, trióxido de cromo o también llamado cromo anhídrido, es la fuente más común de los iones de cromo hexavalente. Éste es un polvo rojo oscuro, inodoro y soluble en agua (CrO_3). El cromo aparece en un estado de oxidación +6 (o VI) en el ácido crómico. Es un fuerte agente oxidante y corrosivo. El ácido crómico es un producto intermedio que aparece en el proceso de cromado, los compuestos de cromo hexavalente son tóxicos y cancerígenos. Una de las aplicaciones más importantes del trióxido de cromo es el cromado de objetos por electrodeposición.

- Ácido Sulfúrico

El ácido sulfúrico es un líquido incoloro, inodoro, denso y viscoso. Su fórmula es H_2SO_4 , su peso molecular 98.08 g/mol. Es soluble en todas las proporciones en agua, produciendo una gran cantidad de calor. El ácido sulfúrico es intensamente

corrosivo y ataca prácticamente todos los metales, los contenedores deben ser cuidadosamente elegidos. El vidrio es utilizado para todas las concentraciones.

- Agua des ionizada

El agua des ionizada o desmineralizada es aquella a la cual se le han quitado los cationes, como los de sodio, calcio, hierro, cobre y otros, y aniones como el carbonato, fluoruro, cloruro, etc. mediante un proceso de intercambio iónico. Es parecida al agua destilada en el sentido de su utilidad para experimentos científicos. El agua des ionizada puede cambiar su pH con facilidad al ser almacenada, debido a que absorbe el CO₂ atmosférico. Es bastante agresiva con los metales, incluso con el acero inoxidable, por lo tanto, debe utilizarse plástico o vidrio para su almacenaje y manejo.

3.1.2. Procedimiento para preparar el baño de cromado

Para preparar el baño electrolítico se mezclan 11 galones de agua des ionizada con aproximadamente 33 libras de ácido crómico y lentamente se añaden 2.5 onzas de ácido sulfúrico cuidando no derramar ácido.

3.2. *Parámetros analizados en una planta de cromado*

Para tener el control del baño de cromo se deben cuantificar las cantidades de Ácido Crómico (valores dentro del rango de a 299.56 a 314.54 g/l), sulfatos (valores dentro del rango de 2.99 a 3.14 g/l), cromo trivalente (valores dentro del rango de 0.1 a 1% en peso) y obtener la relación del baño (valores dentro del rango de 90 a 110:1), en las secciones posteriores se describen los procedimientos para su análisis, detalladamente.

3.2.1. Ácido Crómico

Descripción Detallada de Actividades:

1. Tomar con una pipeta 2.0 ml de la muestra del baño de cromo, verterla en matraz volumétrico de 100 ml y aforar hasta la marca de 100 con agua des ionizada.
2. De la solución anterior tomar una muestra con otra pipeta de 10 ml. Transferirla a un matraz de 250 ml y adicionar 100 ml de agua des ionizada.
3. Adicionar 3 gramos de Bifluoruro de amonio (NH_4HF_2).
4. Adicionar 10 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado.
5. Adicionar 10 ml de Ioduro de potasio (KI) al 10%.
6. Comenzar a titular con Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.1 N hasta alcanzar una coloración amarilla.
7. Agregar 5 gotas de indicador almidón.
8. Continuar titulado con Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.1N hasta color verde transparente.
9. Registrar el volumen gastado como V_T .

Cálculos:

$$\text{Acido crómico (g/l)} = 166.5V_T N_T \quad (1)$$

$$\text{Acido crómico (Oz/gal)} = 22.077 V_T N_T \quad (2)$$

Donde:

V_T = Volumen de Tiosulfato de sodio gastado en la titulación.

N_T = Normalidad de Tiosulfato de sodio

3.2.2. Análisis de sulfatos

Descripción detallada de actividades

1. Tomar una cantidad de 20 ml de la muestra con una pipeta y ponerla en un tubo KOCOUR. (Hacerlo duplicado)
2. Añade 5.0 ml de Ácido clorhídrico (HCl) al 50% en volumen.
3. Agitar por un minuto.
4. Añade 5.0 ml de Cloruro de bario (BaCl_2) al 20% en peso.
5. Agitar por un minuto.
6. Centrifugar durante 5 minutos, girar el tubo KOCOUR 180° y centrifugar por 3 minutos más hasta que la lectura sea lineal.
7. Registrar lectura de los dos precipitados formado en el tubo KOCOUR.

NOTA: De no ser iguales las lecturas en los tubos, realizar un promedio aritmético de ellas:

$$\text{Sulfatos} = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (3)$$

V_1 = Volumen en el tubo 1

V_2 = Volumen en el tubo 2

3.2.2.1. Definiciones

Se definen a continuación, términos utilizados a lo largo del presente escrito, que pueden ser desconocidos por el lector.

- *Tubos KOCOUR*: tubos de la marca KOCOUR utilizados para analizar concentraciones por sólidos sedimentados, se colocan en una centrifuga especial de 4 compartimentos, de la misma marca.



Figura 3: Tubo KOCOUR.

3.2.3. Determinación de la relación de ácido Crómico y sulfatos en el baño de cromado

Los baños de cromo requieren mantener cierta relación del ácido crómico y el sulfato en el baño. La relación exacta depende del tipo de baño, en este caso es recomendable mantenerla alrededor de 100:1 (Bianchi y Cemino, 2006). Mantener la relación óptima es necesario para la operación apropiada del baño y una mayor calidad en el depósito.

Por ejemplo, un baño con 30.0 oz/gal de ácido crómico y 0.25 oz/gal de sulfato tendría una relación de 120:1, que se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Relación del baño} = \frac{\text{Concentración de ácido crómico}}{\text{Concentración de sulfatos}} \quad (4)$$

La relación puede ser ajustada incrementando o disminuyendo los niveles de ácido crómico o de sulfato.

3.2.4. Contenido de cromo trivalente

Descripción detallada de actividades.

1. Tomar con una pipeta 10 ml de la solución del punto 1 de la sección 3.2.1. “Contenido de Ácido Crómico” en un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
2. Adicionar 100 ml de agua des ionizada.

3. Adicionar 0.5 g de Peróxido de sodio (Na_2O_2).
4. Adicionar perlas de ebullición y hervir durante 20 minutos.
5. Dejar enfriar a temperatura ambiente y adicionar 3 g de Bifluoruro de amonio (NH_4HF_2).
6. Adicionar 10 ml de Ac. Clorhídrico (HCl) concentrado.
7. Agregar 10 ml de Ioduro de potasio (KI) al 10 %.
8. Adicionar almidón como indicador.
9. Titular con solución de Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) al 0.1 N hasta color verde transparente.
10. Registrar volumen gastado (anotarlo como V_2).

Cálculos:

$$86.25(V_2 - V_1)N_2 = \text{g/l Cr (III)} \quad (5)$$

$$11.5(V_2 - V_1)N_2 = \text{Oz/gal Cr (III)} \quad (6)$$

Donde:

V_1 = Volumen de Tiosulfato de sodio gastado en titulación de Ac. Crómico.

N_2 = Normalidad de Tiosulfato de sodio.

V_2 = Volumen de Tiosulfato de sodio gastado en titulación de Cr (III)

Cálculo del porcentaje de cromo trivalente en el baño

El porcentaje de cromo trivalente en peso es calculado mediante el uso de la Ecuación 7.

$$\% \text{ Cromo trivalente} = \frac{\text{Concentración de Cromo Trivalente en } \frac{\text{Oz}}{\text{gal}}}{\text{Densidad del baño en } \frac{\text{Oz}}{\text{gal}}} (100) \quad (7)$$

3.2.5. Medición de la densidad del baño

1. Pesar el picnómetro de 10 ml vacío y registrar como M_1
2. Tomar 10 ml (o el volumen de picnómetro) con una pipeta de muestra del baño de cromo.
3. Llenar el picnómetro, y taparlo para tener el volumen preciso.
4. Pesar el picnómetro lleno y registrar la medición como M_2

Cálculos:

$$M_T = M_2 - M_1 \quad (8)$$

Donde:

M_1 = Peso del picnómetro vacío

M_2 = Peso del picnómetro lleno

$$\text{Densidad en Oz/gal} = \frac{M_T}{V} (133.52) \quad (9)$$

Donde:

M_T es el peso de la muestra contenida en el picnómetro

V = volumen del picnómetro

3.3. *Medidas de seguridad*

Se presentan a continuación medidas de seguridad que deben implementarse en las instalaciones del laboratorio y en la realización de los análisis. La seguridad es muy importante para el personal que este en contacto con las soluciones de cromo y con los reactivos utilizados, ya que se utilizan concentraciones de cromo altas, conteniendo cromo hexavalente, el cual es conocido por ser altamente cancerígeno.

3.3.1. Equipo de protección personal

- Lentes de seguridad.
- Guantes de nitrilo.
- Cubre bocas
- Bata
- Estación lavaojos

3.3.2. Toma de muestra y transporte al laboratorio

- Se pueden tomar muestras por simple inmersión de un vaso o un frasco en el baño y recogiendo una cantidad adecuada de solución, teniendo en cuenta que las muestras nunca deben tomarse inmediatamente después de la adición de productos químicos o después de nivelar con agua. Se deben portar guantes de nitrilo, teniendo cuidado de no introducir totalmente la mano en el baño ni parcialmente y no por mucho tiempo.
- Se tomarán aproximadamente entre 50 y 100 ml. Si sobra muestra deberá disponerse como residuo peligroso o regresarse al baño de cromado según las medidas de la empresa.
- La muestra debe ser transportada en un vaso o frasco de vidrio, cerrado, seco por fuera para evitar contaminar el área de trabajo.
- Las pipetas deben utilizarse para tomar el mismo reactivo o solución a la vez, la misma pipeta no puede tomar dos o más soluciones o reactivos diferentes. Se pueden reutilizar sólo en caso de que se vaya a extraer el mismo reactivo. Se recomienda marcar las pipetas con el nombre del reactivo o solución para el que se utilizarán.

3.3.3. Almacenamiento

- Ácido clorhídrico concentrado y solución al 50% en volumen de Ácido clorhídrico: deberán guardarse muy bien cerrados y secos, en la parte más baja del gabinete.
- Los otros reactivos pueden ser colocados en las demás repisas sin problema.
- Los Materiales de laboratorio deberán ser guardados totalmente secos en bolsas de plástico para evitar contaminación por polvo. Se ubicarán en bandejas en la parte de en medio del gabinete o en cualquier mesa donde no tengan peligro de caerse.

3.3.4. Limpieza

Todos los instrumentos utilizados en los procedimientos mencionados en el presente documento (pipetas, buretas, vasos de precipitados, frasco de muestreo, matraces de todo tipo, espátulas y recipientes para pesar) deberán ser lavados con agua des ionizada después de ser usados. Dejar que sequen completamente boca abajo y con la apertura destapada.

4. LABORATORIO

Para una adecuada realización de los análisis mencionados en la sección 3, es necesario que el laboratorio cuente con el equipo, instrumentos, reactivos y mobiliario que se enlistan a continuación.

Tabla II: Reactivos, instrumentos, equipo y mobiliario necesarios para la instalación del laboratorio de análisis del baño de Cromado.

Reactivos	Instrumentos	Equipo	Mobiliario
Bifluoruro de Amonio (NH_4HF_2)	Matraz Erlenmeyer 250 ml (2)	Placa de calentamiento	Mesas de trabajo con extracción
Agua des ionizada	Botella de lavado, 250 ml	Centrífuga eléctrica para 4 tubos (Kocour)	Lava trastes
Ácido Clorhídrico (HCl) concentrado y al 50%	Pipeta de 2ml	Balanza	Gabinetes para almacenar reactivos, equipo e instrumentos
Yoduro de Potasio (KI) al 10%	Pipeta 10 ml (2)	Medidor de pH con electrodo diseñado para valores de 0 a 3	
Indicador de Almidón 1%	Gotero		
Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.1N	Vaso de precipitados 80 ml		

Cloruro de Bario (BaCl ₂) al 20%	Tubos para centrífuga graduados en oz/gal (Kocour)		
Peróxido de Sodio (Na ₂ O ₂) 30%	Tapones de goma para tubos de centrífuga		
	Matraz volumétrico 100 ml		
	Bombilla para pipeta, 2 oz.		
	Pipeta 20 ml		
	Bureta de 50 ml		
	Soporte para bureta		
	Perlas de Ebullición		

4.1. Ubicación tentativa del laboratorio dentro de las instalaciones de la empresa

El cuarto de laboratorio se encontrará, tentativamente, en un espacio situado detrás del área de cromado, lo que facilitará el traslado de las muestras para su análisis. El espacio mide 2.56 m por 2.103 m. Contará con una mesa de trabajo con extracción, un lava trastes con espacio para poner los instrumentos y un gabinete para guardar los reactivos e instrumentos. El diagrama se muestra a continuación:

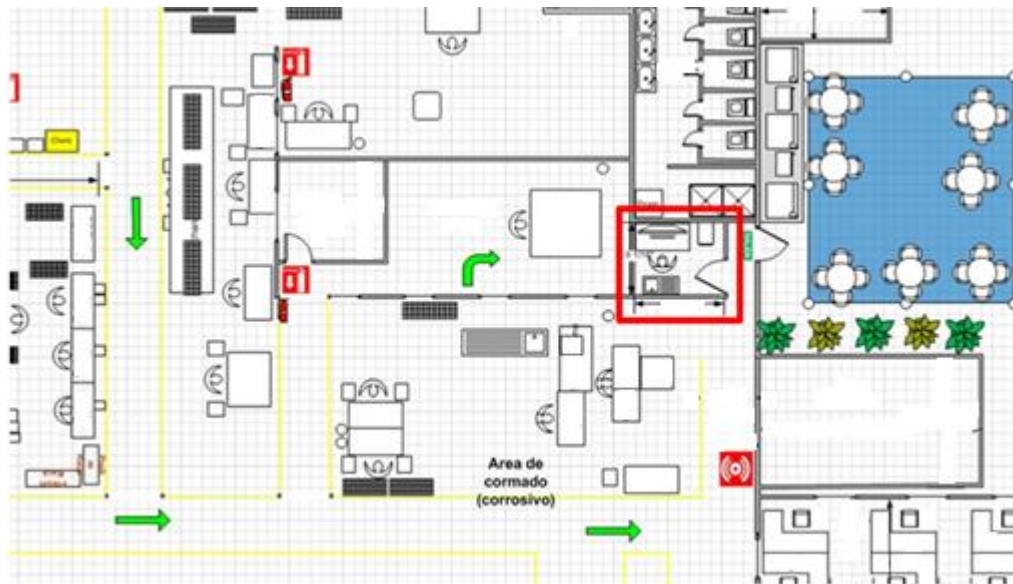


Figura 4: Diagrama del laboratorio dentro de la planta.

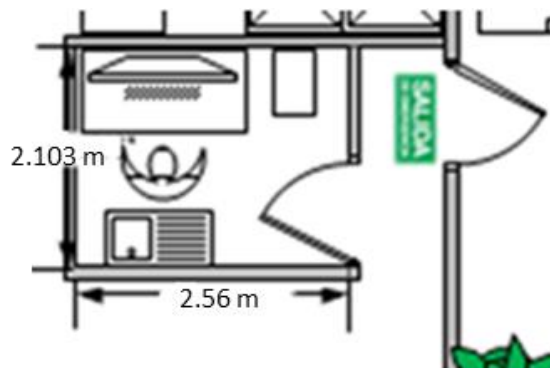


Figura 5: Diagrama del Laboratorio.

4.2. Aspectos económicos

Se presentan en este apartado los costos aproximados de reactivos, instrumentos, mobiliario y equipo para el laboratorio.

4.2.1. Instrumentos

Se presenta una tabla con los precios aproximados de instrumentos necesarios para la realización de los análisis propuestos, en dólares, ya que así lo requirió la empresa.

Tabla III: Precios de Instrumentos para Laboratorio de análisis del baño de Cromado, en dólares.

Instrumento	Precio (Dólares USA)
Caja de Matraz Erlenmeyer 250 ml	71.5
Caja con Botellas de lavado 500ml	35.5
Paquete de Pipetas de 2 ml	146.25
Paquete de Pipetas de 5 ml	143
Paquete de Pipetas de 10 ml	153.25
Pipeta de 20 ml	27.75
Paquete de Goteros de 10 ml	18.75
Caja de Vasos de precipitados de 50 ml	58
Caja de Matraz volumétrico 100 ml	168
Tubos para centrifuga (KOCOUR)	130
Tapones de goma para tubos centrifuga	0.6
Paquete de Bombillas para pipeta 2 oz	20
Soporte para bureta	229
Paquete de Perlas de ebullición	76
Paquete de Recipiente para pesar sólidos	50
Paquete de Espátulas	34.5
Rack para secar material	120
Bureta	56.5
TOTAL	1538.60

4.2.2. Reactivos

A continuación se muestran los precios (en pesos) de cotización de reactivos para realizar los análisis pertinentes en el laboratorio del baño de cromado

Tabla IV: Precios de reactivos para Laboratorio de análisis del baño de Cromado, en pesos.

Reactivo	Precio (pesos)
Bifluoruro de Amonio (500 g)	250
Ácido Clorhídrico concentrado (1l)	195
Ácido Clorhídrico al 50% (1 l)	170
Yoduro de Potasio al 10% (1 l)	720
Indicador de Almidón al 1% (1 l)	180
Tiosulfato de Sodio 0.1N (1 l)	265
Cloruro de Bario al 20% (1 l)	210
Peróxido de Sodio 30% (50 g)	210
TOTAL	2200

4.2.3. Consumo mensual de reactivos

Teniendo en cuenta las cantidades de reactivos que se utilizan en cada análisis y considerando que se realizarían 4 análisis por mes se presentan las cantidades requeridas mensualmente para realizar los análisis.

Tabla V: Consumo mensual de reactivos.

Reactivos	Consumo mensual
Bifluoruro de Amonio	24 g
Ácido Clorhídrico Concentrado	80 ml
Ácido Clorhídrico al 50 %	20 ml
Cloruro de Bario al 20 %	20 ml
Yoduro de Potasio al 10 %	80 ml
Solución de Almidón	8 ml
Solución Tiosulfato de Sodio	400 ml
Peróxido de Sodio	2 g

4.2.4. Equipo

El presupuesto que se realizó para el equipo de laboratorio nos reflejó precios de la Centrífuga KOCOUR \$958, Placa de calentamiento \$165 y una báscula \$55, los precios son en dólares ya que así lo pidió la empresa. Sumando un total para el equipo de \$1,178 dólares.

4.2.5. Mobiliario

Se realizó el presupuesto del mobiliario para un lavatrastes (\$513), con su mezclador (\$469), en pesos, ya que así lo requirió la empresa, lo cual nos reflejó un total de \$982 pesos. También se presupuestó un gabinete para guardar reactivos e instrumentos (\$99.32) y una cabina de extracción (\$2,427) y en dólares, porque así fue requerido por la empresa, siendo un total de 3,508.32 dólares.

4.2.6. TOTALES

En total, tomando en cuenta los precios de equipo, reactivos, mobiliario e instrumentos, y pasando de pesos a dólares (en el caso que se requirió) según el precio de dólar de 14 de junio 2015 (15.74 pesos/dólar), un estimado de inversión para la implementación de laboratorio para el baño de cromado es de 6364.69 dólares.

4.3. Aspectos legales medioambientales

Según el “Primer listado de actividades altamente riesgosas SEMARNAT” no se menciona ninguno de los reactivos a utilizar, ni siquiera el Cromo hexavalente, ni trivalente. De acuerdo al “Segundo listado de actividades altamente riesgosas SEMARNAT” no se menciona ninguno de los reactivos a utilizar, ni siquiera el Cromo hexavalente, ni trivalente. La “Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996” que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal; en el apartado 4, Tabla 1 el límite máximo permisible en las descargas de aguas residuales de cromo hexavalente tiene como promedio mensual 0.5 miligramos por litro, promedio diario de 0.75 mg/l e instantáneo de 1 mg/l. Según la “Norma oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005”, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos; en la tabla 2 LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA LOS CÓNSTITUYENTES TOXICOS EN EL EXTRACTO PECT el límite máximo permisible es 5 mg/l para el cromo; listado 5 CLASIFICACIÓN POR TIPO DE RESIDUOS, SUJETOS A CONDICIONES PARTICULARES DE MANEJO para soluciones gastadas en acabados de metales y galvanoplastia; los residuos del baño de cromo son residuos peligrosos por contener cromo hexavalente el cual es cancerígeno si se inhala.

La información útil sobre normativa, para la implementación del laboratorio de análisis del baño de cromado es la siguiente: ya que en el baño se encuentra un alto contenido de cromo hexavalente, debe mantenerse al mínimo el promedio mensual de descargas de aguas residuales, como se menciona en la norma NOM-002-SEMARNAT-1996, el promedio mensual es de 0.5 miligramos por litro, el promedio diario es de 0.75 mg/l y el promedio instantáneo es de 1 mg/l; así mismo en la NOM-052-SEMARNAT-2005 en el listado de los residuos peligrosos, el límite máximo permisible es 5 mg/l para el cromo, esto puede lograrse diluyendo en el laboratorio los residuos de los análisis, o bien disponerlo como residuo peligroso según los lineamientos de la empresa, por confinamiento. Por otra parte, la normatividad señala que el cromo hexavalente es altamente cancerígeno, lo cual nos lleva al estricto uso de equipo de protección personal mencionado en la Sección 3.3, en cuanto a manejo directo e indirecto de las muestras a analizar de dicho baño.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente sección se presentan los aspectos cuantitativos del proceso de Cromado utilizando conocimientos de Ingeniería Química en cuanto pH de la solución, concentraciones, cromo depositado y eficiencia del proceso.

5.1. Cálculo de pH del baño

A continuación, se realizará el cálculo teórico del pH del baño electrolítico de cromo en base a las cantidades con las que se prepara.

Ácido sulfúrico

Se sabe que son alimentados 2.5 Oz de ácido sulfúrico, que son 73.92 ml y la densidad de la sustancia es $\rho_{As} = 1.84 \frac{g}{cm^3}$. Con el valor de la densidad y el volumen del ácido, se puede obtener la masa de la sustancia de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (10)$$

Despejando la masa y sustituyéndolos valores conocidos:

$$m = \rho v \quad (11)$$

$$m_{As} = \left(1.84 \frac{g}{cm^3}\right) (73.92 cm^3) = 136.02 g \quad (12)$$

Ahora con la masa y el peso molecular se calcula el número de moles de la siguiente forma

$$n_{As} = \frac{m_{As}}{PM_{As}} \quad (13)$$

$$n_{As} = \frac{136.02 \text{ g}}{98.08 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1.38 \text{ mol} \quad (14)$$

Se puede obtener la molaridad de la solución de ácido sulfúrico en agua, de la información proporcionada por la empresa se sabe la cantidad de agua alimentada al baño, 41.635 litros, entonces:

$$\text{Molaridad} = \frac{\text{mol de soluto}}{\text{litro de solvente}} = \frac{1.38 \text{ mol}}{41.63 \text{ l}} = 0.033 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \quad (15)$$

Ácido crómico

Son alimentadas 33 libras de ácido crómico que son 14,968.53 g. Con esta información y el peso molecular ($PM_{Acr} = 99.99 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$) de la sustancia se puede calcular el número de moles, la molaridad:

$$n_{Acr} = \frac{14,968.53 \text{ g}}{107.99 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 138.61 \text{ mol} \quad (16)$$

$$\text{Molaridad} = \frac{138.61 \text{ mol}}{41.63 \text{ l}} = 3.33 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \quad (17)$$

Se aplicó el efecto del ion común en la disociación del ácido crómico considerando los iones que libera el ácido sulfúrico; lo cual es 0.033mol/l. La constante disociación del ácido crómico es de 0.18 a 25°C.



$$0.18 = \frac{[0.033 \frac{\text{mol}}{\text{l}} + x][x]}{[3.33 \frac{\text{mol}}{\text{l}} - x]}; \quad x=0.675 \quad (19)$$

$$[H^+] = 0.033 + 0.67 \quad (20)$$

$$pH = -\text{Log}_{10}[H^+] = 0.15 \quad (21)$$

Éste es el pH aproximado del baño.

5.2. Cálculo de depósito en base a dimensione reales de piezas

Se realizaron los cálculos suponiendo una pieza cilíndrica con las siguientes dimensiones:

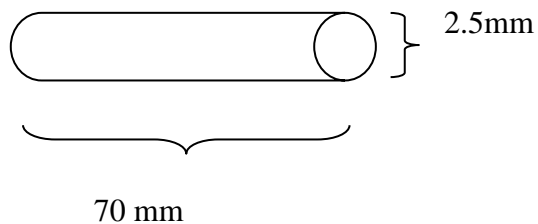


Figura 6: Dimensiones de pieza a cromar.

Así pues, se basaron dichos cálculos en un número de 100 piezas cromadas a la semana, a una temperatura de 100° a 120°F, con un tiempo de operación promedio semanal de 1.3 horas (tiempo que duran las piezas sumergidas en el baño en promedio) y un amperaje de 24.27 Amp.

Sabiendo que el área de un círculo es:

$$A = 2\pi r^2 \quad (22)$$

Sustituyendo valores, para encontrar el área de las tapas del cilindro:

Diámetro (D)= 2.5 mm

Altura (h) = 70 mm

$$A = 2\pi \left(\frac{2.5\text{mm}}{2}\right)^2 = 9.82\text{mm}^2 \quad (23)$$

Y substituyendo ahora para el área de un cilindro:

$$A_{\text{cilindro}} = \pi Dh = \pi(2.5\text{mm})(70\text{mm}) = 549.77\text{mm}^2 \quad (24)$$

El área total del cilindro incluyendo las tapas es:

$$A_{\text{total}} = (549.77\text{mm}^2) + (9.82\text{mm}^2) = 559.58\text{mm}^2 \quad (25)$$

Sabiendo que el baño se cambia cada 4 meses, podemos conocer los días y las semanas de vida del baño:

$$\text{Días} = \left(\frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}}\right) (4 \text{ meses}) = 120 \text{ días de vida} \quad (26)$$

$$\text{Semanas} = \left(\frac{1 \text{ semana}}{7 \text{ días}}\right) (120 \text{ días}) = 17 \text{ semanas} \quad (27)$$

De las pruebas de adhesión que se llevaron a cabo durante la estancia en la empresa, se obtuvo el espesor del depósito que es 3.5×10^{-4} pulgadas y a su vez es 8.89×10^{-3} milímetros. Para tener un depósito total de cromo de 4.974 mm^3 . Se procede a calcular el gasto de cromo en las 17 semanas de uso, conociendo la densidad del cromo ($7.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, $0.0072 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3}$). Utilizando lo formula (10) y después la (11), se puede calcular los gramos de depósito necesarios para una pieza:

$$m = \left(0.0072 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3}\right) (4.97 \text{ mm}^2) = 0.035 \text{ g} \quad (28)$$

Ya que se conoce la densidad del cromo, así como el volumen de depósito, cada pieza ocupa 0.035 g de cromo para alcanzar el depósito de 0.00889 mm. Como se croman 100 piezas a la semana, se puede deducir el total de cromo gastado durante la vida útil del baño:

$$\text{Cantidad Cromo}_{total} = (3.5 \text{ g})(17 \text{ semanas}) = 59.5 \text{ g} \quad (29)$$

Semanalmente se consumen 3.5 g de cromo, por 17 semanas que usan el baño, esto nos da un total de 59.5 g de Cromo gastados en la vida útil del baño.

5.3. Eficiencia del proceso de cromado

Se procede a calcular el gasto de cromo de manera ideal, en otras palabras, la cantidad máxima depositable, y la eficiencia en base a la corriente suministrada y el tiempo de operación. Se sabe que la vida útil del baño son 17 semanas en las cuales se croman 100 piezas a la semana, lo que da un total de 1700 piezas cromadas. Utilizando el amperaje mencionado al principio de este apartado (24.27 Amp) y sabiendo que el baño se utiliza 1.3 horas a la semana

$$\text{Tiempo} = \left(\frac{1.3 \text{ horas}}{1 \text{ semana}} \right) (17 \text{ semanas}) = 22.1 \text{ horas} \quad (30)$$

Con lo anterior y aplicando la Ley de Faraday que nos dice de acuerdo a Mortimer (1983), que 1 Faraday es la cantidad de carga equivalente a 1 mol de electrones y se encontró que es igual a 96,500 Coulombs, se puede calcular el número de Faradios necesarios para realizar el depósito deseado:

$$F = \left(24.27 \frac{C}{s} \right) (22.1 \text{ h}) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) \left(\frac{1 F}{96500 C} \right) = 20 F \quad (31)$$

Teniendo el peso molecular del cromo (52 g/mol) y conociendo de la reacción de la media celda descrita en la sección 2.2. que se ocupan 6 Faradios para depositar 1 mol de Cromo (siguiendo la estequiometria de la reacción) se obtiene lo siguiente:

$$g_{cromo} = (20 F) \left(\frac{52 g}{6 F} \right) = 173.33 g \text{ de Cromo} \quad (32)$$

Esta cantidad es la máxima depositable.

De acuerdo a Osborne (2002), se ha establecido que el cambio químico total en un electrodo es exactamente proporcional a la cantidad de electricidad que está pasando por él; sin embargo, la mayoría del tiempo sólo algunos cambios químicos son de interés; y si hablamos del porcentaje de eficiencia del corriente, está dada por la siguiente expresión:

$$\eta = \text{Eficiencia} = \frac{\text{Cantidad depositada}}{\text{Máximo depositable}} \times 100 \quad (33)$$

Finalmente, sustituyendo los datos obtenidos en las ecuaciones Ec. (29) y Ec. (32) obtenemos una eficiencia del $\eta = \frac{59.5 g}{173.33 g} \times 100 = 34.32 \%$. La cual es la eficiencia teórica calculada, de acuerdo a Mandich y Snyder (2010) la eficiencia de corriente en baños de cromado con cromo hexavalente son bajas, (generalmente entre 10 y 25%, dependiendo del proceso) pero ya que el cálculo se realizó en base a cantidades supuestas, ésta excede el límite, teniendo en cuenta que no toda la corriente suministrada generará el depósito, este es un cálculo ideal.

5.4. Análisis de la cantidad de cromo alimentada

De acuerdo con la información que se posee aproximadamente se alimentan 33 libras (14,980 g) de Trióxido de Cromo (CrO_3) y conociendo su peso molecular ($PM_{\text{CrO}_3} = 100 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$), se puede afirmar que el 52% en peso de la masa agregada es de cromo, ya que su peso molecular es 52 g/mol; esto es 7,790 g de cromo. Comparando esta cantidad con lo que se consume en la vida útil del baño (59.5g de Cromo en 4 meses), es calculado el porcentaje en exceso de cromo:

$$\text{Exceso} = \frac{\text{Cromo alimentado (g)} - \text{Cromo consumido (g)}}{\text{Cromo consumido (g)}} \times 100 \quad (34)$$

$$\text{Exceso} = \frac{7,790 \text{ g} - 59.5 \text{ g}}{59.5 \text{ g}} \times 100 = 12,992.4 \% \quad (35)$$

6. CONCLUSIONES

6.1. *Factibilidad del proyecto*

Como se puede observar en los aspectos económicos del proyecto, la implementación de un pequeño laboratorio solo para analizar el baño de cromado, requiere una inversión considerable por parte de la empresa. Los encargados del área de cromado pensaron en la implementación del laboratorio, no porque el análisis por un laboratorio externo les resulte muy caro, sino por la ventaja del tiempo en el que tendrían los resultados de dichos análisis en sus manos, ya que, como se mencionó en la introducción de este documento, ellos ocupan tener resultados en tiempo real para poder balancear el baño y mantenerlo a las condiciones óptimas, de otra manera el laboratorio externo que los realiza tarda 1 mes en hacérselos llegar y a este tiempo las concentraciones ya han cambiado otra vez y no pueden hacerse las adecuaciones pertinentes.

6.2. *Técnicas analíticas de laboratorio*

La instrumentación, equipo, materiales y mobiliario necesarios para la implementación del laboratorio no son difíciles de conseguir, pueden obtenerse con proveedores nacionales. Las técnicas propuestas para llevar a cabo el análisis del baño electrolítico son relativamente fáciles de realizar. Pueden hacerse por el ingeniero encargado del área, así como un técnico en ingeniería o en química, entrenados previamente en la utilización del material y reactivos de laboratorio, con las medidas de seguridad sugeridas en el apartado 3.3.

6.3. *Interpretación del análisis del balance de masa en el proceso de electrodeposición*

La implementación de este laboratorio en las industrias de electrodeposición permite conocer la eficiencia de utilización de energía para el proceso y el balance de masa. En el caso particular fue identificado que durante un periodo de 4 meses se opera un tiempo continuo de 22.1 horas consumiendo un amperaje

de 24.27 Amperes; con esta energía sería suficiente para depositar 173.33 gramos de cromo; pero los cálculos muestran que la cantidad de cromo depositada en las piezas fue de 59.50 gramos de cromo. Lo anterior indica que la eficiencia del proceso electroquímico respecto al cromo depositado fue del 34.32%.

6.4. Conclusión personal

En la realización de mis prácticas profesionales, así como del presente documento, se observa la aplicación de Ingeniería Química en cuanto a lo aprendido en materias como Ingeniería de Procesos ya que realizando un manual para la operación de un laboratorio se abarcan diversos aspectos tanto académicos como legales, de proyectos, del proceso y de seguridad. En lo personal pienso que pude aplicar gran cantidad de conocimientos adquiridos a lo largo de mi formación académica. El hacer un proyecto es una actividad que requiere mucha responsabilidad, organización y apoyo por parte de expertos en el tema.

7. BIBLIOGRAFIA

- Bianchi H., Cemino B., Perez F. (2006). Cromado electrolítico. Mayo 9, 2015, de Monografías. Sitio web: <http://www.monografias.com/trabajos33/cromado-electrolitico/cromado-electrolitico2.shtml#ixzz3bGa9zr97>
- Brito F., Ascaino J., Mateo S., Hernández C., Araujo L., Gill P., Martin-Zarza P., Dominguez S. y Menderos A. Mayo 9, 2016. Equilibria of chromate(VI) species in acid medium and ab initio studies of these species. Polyhedron, 16, 3841.
- Curtiss-Wright Corporation. (2015). Sitio web: <http://www.curtisswright.com/markets/commercial-aerospace/default.aspx>
- Mortimer E. (1983). Química. Belmont, California, EE.UU.: Grupo Editorial Iberoamérica.
- ISTAS. (2010). Recubrimientos electrolíticos. Junio 20, 2015, de ISTAS (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, España). Sitio web: <http://www.istas.net/fittema/att/li1.htm>
- Maron S. y Prutton C. (2007). Fundamentos de Fisicoquímica. México: Limusa
- Mandich, N. V. and Snyder, D. L. (2010) Electrodeposition of Chromium, in Modern Electroplating, Quinta Edición, Hoboken, NJ, EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- Osborne K. VIII-Metals-G-Electroplating Metal Protection Ltd, Auckland, edición por John Packer (2002)

Normas oficiales

- Primer listado de actividades altamente riesgosas SEMARNAT
- Segundo listado de actividades altamente riesgosas SEMARNAT
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996
- Norma oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005