



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE
ELECTRODEPOSICIÓN PARA SER USADO EN EL
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

ELIZABETH LÓPEZ LÓPEZ

ALONSO ROJAS AVALOS

ASESOR: M. I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

GRACIAS A MIS PADRES: GUADALUPE Y JOSÉ JAVIER.

Por darme la vida, por acercarme a una religión, por inculcarme valores a través de la mejor vía: el ejemplo, por sus consejos, por los recuerdos felices de cada navidad, por la mesa de cada día producto de su trabajo honrado, por llevarme al médico, por cuidar de mí, por brindarme la oportunidad de estudiar, por cada beso, por la casa que construyeron para mis hermanas y para mí con tanto esfuerzo y amor, por dedicar su tiempo y energía para asegurar nuestro bienestar. Gracias por los sacrificios que sé y por los que seguramente desconozco...

...en general, por ganarse mi respeto y admiración mediante una difícil, pero exitosa trayectoria de constante superación y lucha.

GRACIAS LUPITA Y ANGY (mis hermanas) por habitar en mi corazón con mención honorífica, por todo lo que hemos vivido, por la complicidad y la confianza que nos tenemos. Gracias por permitirme protegerlas y por hacerme sentir protegida y amada. Gracias a la vida que nos quiso juntas.

GRACIAS A CECY a quien considero una hermana y espero volver a ver.

GRACIAS A MI EXTENSA FAMILIA; por la aportación a mi vida de cada uno. A mis primos por la divertida infancia que compartimos. A Tavo por cada sonrisa. A Román por su espíritu extraordinario a pesar de su corta edad. Gracias a los que viven en Zacatlán y a los que viven en nuestros corazones a través del recuerdo.

GRACIAS A ROSY y A GABRIEL por todo el apoyo, la comprensión, las porras, el cariño, la calidez y la confianza. Muchas gracias por cada ocasión en la que hemos compartido la comida y otras fortunas.

GRACIAS A GERARDO CHAPARRO por atender a mi llamado de auxilio y por reconfortar mi alma.

GRACIAS A QUIENES DE UNA U OTRA FORMA CONTRIBUYERON A ESTE TRABAJO: Gracias a mi asesor de tesis, **M. en I. FELIPE D. C.** por el entusiasmo con el que imparte sus clases, por los conocimientos adquiridos, por la confianza y el respeto que inspira. Y claro, por el tiempo dedicado a este propósito. Gracias a **FER** por los libros, a **FLOR** y a **ANDRÉS** por los favores. Gracias a la **tía CARO** por las palabras de

aliento. Gracias **RODRIGO** por tu particular interés en este proyecto y por tus significativas aportaciones.

GRACIAS A TODOS MIS PROFESORES (a los buenos profesores) que hacen posible un mejor país y ayudan a cultivar mejores destinos. Gracias por su esfuerzo y por contagiarme su entusiasmo por el conocimiento.

GRACIAS AL CCH NAUCALPAN POR TODA LA MAGIA Y LA FELICIDAD.

GRACIAS A MIS AMIGOS: OLIVIA, MAYRA, FER, *LUQUE* (Luis) y *HARRY* (César) por lo que admiro de cada uno de ustedes y por los momentos compartidos que nos han hecho mejores personas. Gracias a *LA COMUNIDAD*, (en especial a **RAMÓN** y a **VÍCTOR**), por hacer mas divertida mi estancia en Cuautitlán y por las veces que nos reunimos en la casa de Vic. Gracias **RAÚL** por regañarme cuando aflojaba el paso y por motivarme a retomar mi ritmo de trabajo.

GRACIAS A NUESTRA UNIVERSIDAD Y A QUIENES LA HACEN POSIBLE.

GRACIAS ALONSO por tu compañía en las buenas y en las pésimas, por tu buen humor, por tu apoyo incondicional y decisivo para que culminara satisfactoriamente esta etapa de mi vida. Gracias por esta historia...

Y sobre todo, **GRACIAS POR
BAILAR CONMIGO EN LA VIDA.**

CON MI MEJOR ESFUERZO, A MI ABUELA TRINIDAD (†); UNA MUJER EXTRAORDINARIA.

ELIZABETH, octubre 2006

ALONSO ROJAS AVALOS

EL PRESENTE TRABAJO LO DEDICO:

A mi papá Gabriel Rojas por ser un padre ejemplar, talentoso, cariñoso y con quien siempre puedo contar incondicionalmente.

A mi mamá Rosa María Avalos por transmitirme su fuerza interior, por ser un apoyo a lo largo de toda mi vida y por enseñarme a ver las cosas positivamente.

A los dos, de quienes me siento profundamente ORGULLOSO porque son unas grandes personas, por brindarme todo su amor y comprensión, por hacer de mí una buena persona, responsable y con valores.

A mi hermano Rodrigo Rojas (espero estudie una Ingeniería, porque hay un excelente Ingeniero dentro de él) por ser un gran hermano, un amigo, por apoyarme en todos los aspectos, por compartir conmigo sus proyectos.

A Elizabeth López López, preciosa, un miembro mas de mi familia, una de las personas mas importantes en mi vida, mi confidente, mi cómplice, amiga y pareja de mi proyecto de vida. Una de las personas más íntegras que conozco.

A mi tía Lilia, una persona con una gran fuerza, que me ha inculcado valores, que ha sabido vencer la adversidad y generosa a más no poder.

A mis primos favoritos y lo saben, Fernando y Ana Laura, personas muy inteligentes y dedicadas, por compartir conmigo su amistad, su cariño y vivencias que no voy a olvidar.

A mi abue Luchi, otra persona con una gran fuerza interior, que me crió en parte de mi niñez, de lo cual estoy profundamente agradecido y que hizo de sus hijos unas personas de bien.

A Flor, un miembro más de la familia, una persona tenaz e inteligente, que al hacer feliz a mi hermano nos hace feliz como familia.

Al Urko, impresionante inteligencia, por recordarme a cada ladrido cuanto lo quiero (aunque me esté dejando sordo).

LE AGRADEZCO:

A mis amigos: Raúl, Víctor, Alfredo, Bernardo, Juan, Ramón, que en el paso de la carrera me ofrecieron su amistad y compañía.

A mi asesor de tesis Felipe Díaz del Castillo Rodríguez, un ejemplo de responsabilidad y un excelente profesor.

A los excelentes profesores que aportaron un granito de arena, que me transmitieron sus conocimientos y experiencias para darme una formación integral.

A Andrés, un muy buen amigo, por facilitarnos una cámara para algunas fotografías de éste proyecto.

....Y UNA MENCIÓN ESPECIAL

A mi querida UNAM, una institución NOBLE, por abrirme sus puertas, darme su calidez, ofrecerme su grandeza, por haberme dado la oportunidad de estudiar en ella, lo cual me llena de satisfacción y me permite decir que soy **ORGULLOSAMENTE UNAM**.



ÍNDICE

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
OBJETIVOS.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3

CAPÍTULO 1 CORROSIÓN

1.1 Definición de corrosión.....	5
1.2 Condiciones que generan la corrosión.....	6
1.3 Series de fuerza Electromotriz y Galvánica.....	7
1.4 Formas básicas de la corrosión.....	9
1.4.1 Corrosión uniforme.....	10
1.4.2 Corrosión galvánica.....	11
1.4.3 Corrosión en grietas o hendiduras.....	11
1.4.4 Corrosión por picadura.....	12
1.4.5 Corrosión-erosión.....	13
1.4.6 Corrosión ítergranular.....	14
1.4.7 Corrosión por disolución selectiva.....	15
1.4.8 Corrosión bajo esfuerzo.....	15
1.5 Problemas ocasionados por la corrosión.....	16
1.6 Evaluación de la velocidad de corrosión.....	17
1.7 Control de la corrosión.....	17
1.7.1 Selección del material adecuado.....	18
1.7.2 Mejoras en el diseño.....	18
1.7.3 Protección catódica.....	19
1.7.4 Empleo de sustancias inhibidoras.....	20
1.7.5 Uso de recubrimientos.....	20

CAPÍTULO 2 ELECTRODEPOSICIÓN

2.1 Definición de electrodeposición.....	23
2.2 Principios de electroquímica.....	23
2.3 Principios de electricidad.....	24
2.4 Proceso electrolítico.....	27
2.5 Ley de Faraday.....	30
2.6 Depósitos electrolíticos más comunes.....	30
2.7 Nomenclatura para electrodeósitos.....	31
2.8 Aplicaciones prácticas.....	32
2.9 Niquelado.....	34

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE ELECTRODEPOSICIÓN

3.1 Elección del metal recubridor (ánodo).....	36
3.1.1 Factores considerados.....	36
3.1.2 Criterio de elección.....	36
3.2 Posición y número de ánodos.....	37
3.2.1 Recubrimiento parcial de una pieza.....	37
3.2.2 Recubrimiento total de una pieza.....	38
3.2.3 Recubrimiento de piezas irregulares.....	38
3.2.4 Recubrimiento exterior e interior.....	39
3.2.5 Criterio de elección.....	39
3.3 Elección del material a recubrir (cátodo).....	39
3.3.1 Requerimientos.....	39
3.3.2 Criterio de elección.....	40
3.3.3 Sujeción del cátodo.....	40
3.4 Características de las piezas a niquelar.....	40
3.4.1 Dimensiones.....	40
3.4.2 Configuración.....	40
3.5 Elección del material del tanque.....	42
3.5.1 Materiales disponibles.....	42
3.5.2 Criterio de elección.....	45
3.6 Diseño del tanque.....	45
3.6.1 Requerimientos.....	45
3.6.2 Dimensiones del tanque.....	45
3.7 Electrolito.....	46
3.7.1 Constituyentes de la solución.....	46
3.7.2 Cálculo de las proporciones (aditivos).....	48
3.8 Barras conductoras (equipo electrolítico).....	50
3.8.1 Factores considerados.....	50
3.8.2 Criterio de elección.....	50
3.8.3 Cálculo de las dimensiones.....	50
3.8.4 Accesorios de sujeción.....	51
3.9 Fuente de alimentación.....	55
3.9.1 Dispositivos disponibles.....	55
3.9.2 Criterio de elección.....	56
3.9.3 Cálculo de la potencia requerida.....	56
3.10 Elección del calentador de la solución.....	57
3.10.1 Criterio de elección.....	57
3.10.2 Cálculo de potencia requerida.....	57
3.11 Agitación.....	65
3.11.1 Tipos de agitación.....	65
3.11.2 Criterio de elección.....	65
3.11.3 Cálculo de la presión requerida.....	65
3.11.4 Diseño del agitador.....	66
3.12 Filtración.....	67
3.13 Bolsas anódicas.....	67
3.14 Canastillas (contenedores).....	69
3.14.1 Criterio de elección.....	69

3.15 Diseño del mueble.....	69
3.15.1 Criterio de elección.....	73
3.16 Diseño del panel de control.....	73
3.17 Conexión del sistema (diagrama general).....	76

CAPÍTULO 4 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ELECTRODEPOSICIÓN

4.1 Construcción del tanque.....	79
4.2 Construcción de las canastillas.....	85
4.3 Construcción de los soportes.....	88
4.4 Construcción del agitador.....	91
4.5 Calentador.....	93
4.6 Construcción de las bolsas anódicas.....	94
4.7 Construcción de las barras conductoras.....	95
4.8 Construcción del panel de control.....	97
4.9 Mueble.....	101
4.10 Fuente de poder.....	102
4.11 Ensamble.....	105
4.12 Costos del sistema de electrodeposición.....	112

CAPÍTULO 5 PRUEBAS

5.1 Preparación del electrolito.....	117
5.2 Práctica # 1.....	119
5.3 Práctica # 2.....	123
5.4 Reporte de los ensayos restantes.....	127

CONCLUSIONES.....	129
--------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA.....	130
--------------------------	------------

FUENTES ELECTRÓNICAS.....	132
----------------------------------	------------

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se requiere diseñar y construir un sistema de electrodeposición para ser instalado en un laboratorio con fines didácticos. Dicho sistema debe demostrar los principios de la electrólisis, así como estar conformado por accesorios reales con el propósito de representar la manera en la que se lleva a cabo este proceso en la industria; además, el sistema en conjunto debe ser funcional y económico.

OBJETIVOS

- Diseñar y construir un sistema para realizar baños de níquel brillante, basado en el principio de la electrodeposición.
- Donar e instalar el equipo de electrodeposición en el laboratorio de Tecnología de Materiales LIME II de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica en la FESC-C4, para que éste pueda ser utilizado por alumnos y profesores de la carrera con el fin de realizar la práctica de electrodeposición, perteneciente a la materia de Tecnología de materiales II.
- Exponer los principios básicos de la corrosión y de la electrodeposición.
- Resaltar la importancia que tiene la electrodeposición a nivel industrial, no sólo como una forma de controlar a la corrosión, sino también en otras aplicaciones, como el decorado y el empleo de esta técnica para la mejora de las propiedades mecánicas de algunos materiales.
- Realizar pruebas de niquelado en el laboratorio de Tecnología de Materiales, que permitan demostrar la eficacia del sistema de electrodeposición, además de visualizar de manera directa aplicaciones prácticas.

INTRODUCCIÓN

El diseño es la actividad más importante en ingeniería, debido a que permite al ingeniero poner en práctica sus conocimientos y habilidades en la resolución de problemas específicos.

La electrodeposición es el proceso a través del cual un metal se deposita sobre otro, mediante el paso de una corriente eléctrica. Las múltiples aplicaciones de esta técnica y el flujo natural del estilo de vida actual hacen evidente una dependencia al empleo de materiales sometidos a un proceso de electrodeposición, que van desde utensilios en la cocina, defensas de automóviles, herramientas con recubrimientos, etc. Por lo que su estudio es de gran importancia para quienes se encarguen de la elección de materiales capaces de solucionar problemas y satisfacer necesidades, tales como vivienda, transporte, conservación de alimentos, entre otras.

Por lo anterior, este proyecto se centró en el diseño y en la construcción de un sistema de electrodeposición.

Luego del trabajo teórico se llevó a cabo la construcción, lo que hizo necesario algunas modificaciones, así como la repetición de cálculos, debido a que ciertos aspectos no habían sido contemplados inicialmente.

El proceso de construcción fue, en su mayoría artesanal, debido a que muchos de los elementos tuvieron que ser adaptados a las restricciones que el proyecto exigía, como el tamaño, el tipo de material requerido y la capacidad de cada uno de los accesorios.

De esta forma, en el primer capítulo se da un panorama general de la corrosión, las formas en las que se presenta y los métodos para su control. Mientras que en el capítulo dos se exponen de manera sintetizada los conceptos teóricos, necesarios para entender los principios científicos que rigen a la electrólisis. El capítulo tres explica de manera detallada el proceso del diseño, que incluye los requerimientos a los que hubo que sujetarse, los cálculos realizados, las opciones disponibles, así como el criterio mediante el cual se tomó cada decisión. En el capítulo cuatro se describe la construcción de cada uno de los accesorios y el ensamble de todos los elementos que conforman al sistema de electrodeposición. El último capítulo se destinó a la documentación de las pruebas de electrodeposición a las que se sujetó el sistema,

mismas que se llevaron acabo en el laboratorio de Tecnología de Materiales LIME II, de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Finalmente, el sistema de electrodeposición fue donado en su totalidad a nuestra Universidad de manera voluntaria, con la firme intención de retribuir un poco de tantos beneficios que tuvimos a lo largo de nuestra preparación.

CAPÍTULO 1 CORROSIÓN

...Algo “tenía que pagar” la especie humana por el “atrevimiento” de ir en contra del proceso espontáneo de degradación metálica, imposible de detener en una biosfera que contiene tanto oxígeno, agua y sales.

ANDONI GARRITZ RUIZ

1.1 DEFINICIÓN DE CORROSIÓN

La corrosión es el deterioro de un material debido a la reacción con su entorno, ocasionando la alteración de sus propiedades. Puede describirse como una reacción de oxidación, semejante a cualquier oxidación química regida por las leyes establecidas en la física y en la química.

La mayoría de los metales, excepto los nobles como el oro o el platino entre otros, existen en la naturaleza combinados con otros elementos químicos formando minerales, como los óxidos, sulfuros, carbonatos, etc. Su forma combinada se debe a que el metal se encuentra en un estado más estable debido a que posee baja energía, es decir, se encuentra en equilibrio.

La corrosión de los metales también puede ser considerada como el proceso inverso de la metalurgia extractiva, que representa ir en contra de una reacción espontánea en la naturaleza; para obtener los metales en estado puro, se realiza una separación a partir de sus minerales, lo cual implica un gran suministro de energía.

Los causantes de que los metales regresen a un estado más estable similar al de los minerales, son: la atmósfera, salmuera, soluciones ácidas, neutras, alcalinas y agua de mar.

En ingeniería la mayoría de los metales usados como el cobre, estaño, cromo, plomo, hierro, aluminio, níquel, etc. son susceptibles a la corrosión (Figura 1.1).



Figura 1.1 Contenedores de combustible atacados por la corrosión.

1.2 CONDICIONES QUE GENERAN LA CORROSIÓN

Un metal sólo podrá corroerse, o sea, pasar a un estado más oxidado, cuando sea inestable, la termodinámica permite realizar los balances de energía que, para el caso de los metales puros colocados en una situación bien determinada, permitirán predecir su comportamiento, el cual puede medirse en los términos de lo que se llama la energía libre, que sirve para medir la energía de un determinado sistema. Existen tres casos que pueden presentarse:^[1]

- La energía libre es positiva. El metal es activo y puede haber corrosión. Es el caso más frecuente entre los metales de uso común (hierro, aluminio, cinc).
- La energía libre es positiva, pero el metal en lugar de presentar corrosión, permanece inmune aparentemente. Se dice que el metal está pasivo o pasivado.
- La energía libre es cero o negativa. El metal es indiferente a los agentes agresivos habituales, no siendo posible ninguna reacción de corrosión. Es el caso de los metales nobles.

[1] Ávila Javier y Genescá Joan. *Más allá de la herrumbre*. México: Fondo de Cultura Económica, 2003, pág. 56.

Por lo anterior, se realizó una nueva escala en donde los metales se colocaron en soluciones que contenían sus mismas sales y bajo condiciones estándar: valores idénticos de temperatura (25 °C), presión (una presión atmosférica estándar) y de concentración de electrolitos; seleccionando arbitrariamente alguna interfase como patrón de referencia contra la cual se pudieran medir relativamente todos los demás potenciales de electrodo. Se eligió para esto, la reacción de equilibrio de hidrógeno $\frac{1}{2}H_2 = H^+e^-$, llevada a cabo sobre un electrodo de platino y bajo las mismas condiciones estándares. A esta configuración de referencia se le conoce como electrodo estándar de hidrógeno y se le asigna un valor de 0 V.

Se le llama Serie de Fuerza Electromotriz a la lista resultante de metales en equilibrio con sus propios iones junto con sus potenciales estándares obtenidos de tales mediciones. De esta forma es posible medir potenciales relativos estándar de electrodo de cualquier metal, con respecto a la reacción de hidrógeno e indicarlos de esta manera: E^0_H (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Serie de Fuerza Electromotriz ^[3]			
Reacción de Equilibrio NOBLE			E^0_H (V)
Au^{+2}	$+ 2e^-$	$= Au$	+1.7
$1/2O_2$	$+ 2H^+$	$+ 2e^- = H_2O$	+1.23
Pt^{+2}	$+ 2e^-$	$= Pt$	+1.20
Ag^{+1}	$+ 1e^-$	$= Ag$	+0.80
Cu^{+2}	$+ 2e^-$	$= Cu$	+0.34
$2H^+$	$+ 2e^-$	$= H_2$	0.00 (por definición)
Ni^{+2}	$+ 2e^-$	$= Ni$	-0.13
Fe^{+2}	$+ 2e^-$	$= Fe$	-0.44
Cr^{+3}	$+ 3e^-$	$= Cr$	-0.70
Zn^{+2}	$+ 2e^-$	$= Zn$	-0.76
Al^{+3}	$+ 3e^-$	$= Al$	-1.66
BASE			

[3] Ávila Javier y Genescá Joan. *Más allá de la herrumbre*. México: Fondo de Cultura Económica, 2003, pág. 56.

La Serie de Fuerza Electromotriz indica cuantitativamente la tendencia de un metal a adherirse a otro. Por ejemplo, existe una diferencia de potencial; es decir, existe una transferencia de electrones, bajo condiciones estándar entre el cobre y el hierro de 0.78V, siendo el hierro el metal con mayor tendencia a ionizarse. De esta manera el cobre que está en solución como iones cobre, tomará los electrones liberados al formarse los iones hierro y pasará a depositarse como metal en el hierro, debido a la presencia de un par galvánico.

Todos los metales que se encuentran por debajo de reacción de reducción de hidrógeno se disolverán siempre que estén en contacto con un medio que contenga H^+ , tal como el agua o las soluciones ácidas. Así, tanto el hierro como el cinc se corroerán totalmente en soluciones acuosas o ácidas. En cambio, el cobre permanecerá inmune a la reacción de hidrógeno, pues de acuerdo a su posición en la serie, esta última reacción es más activa que el mismo cobre.

La Serie de Fuerza Electromotriz no considera el efecto que presenta una película de óxido en la superficie de un metal. Sólo considera sus estados activos, no los pasivos, así como del pH, es decir, de la acidez del medio, de la concentración de iones.

1.4 FORMAS BÁSICAS DE LA CORROSIÓN

Como se mencionó en el inicio de este capítulo, la corrosión es el proceso que permite a los metales regresar al mineral del cual se originaron. Algunos de ellos forman una capa delgada de óxido en su superficie que protege a sus átomos internos contra la oxidación; es decir, contra la pérdida de electrones.

La mayor parte de las degradaciones que un metal o aleación sufre en su apariencia o en su resistencia mecánica comienza en su superficie, por lo que las formas de la corrosión más peligrosas son las que actúan sin previo aviso, las cuales, no siempre se manifiestan en el exterior. En ocasiones, el material sufre cambios internos, lo cual afecta sus propiedades, provocando una falla.

Los ataques se presentan de diferentes formas, debido a que cada elemento está inmerso dentro de un ambiente diferente. A continuación se exponen las ocho formas en las que se presenta la corrosión. ^[4]

[4] Díaz del Castillo Rodríguez Felipe. *Tecnología de materiales II Laboratorio de tecnología de materiales*. México: UNAM FESC C4, págs. 86-93.

- Corrosión uniforme
- Corrosión galvánica
- Corrosión en grietas o hendiduras
- Corrosión por picadura
- Corrosión - erosión
- Corrosión íntergranular
- Disolución selectiva
- Corrosión bajo esfuerzo

1.4.1 CORROSIÓN UNIFORME

Es la más común. Se caracteriza por una reacción química o electroquímica actuando sobre una gran porción ó incluso la totalidad de la superficie. Produce grandes pérdidas del metal, pero no es la más insidiosa, ya que es relativamente fácil predecir la vida útil del elemento expuesto (Figura 1.2).



Figura 1.2 Varillas que presentan corrosión uniforme.

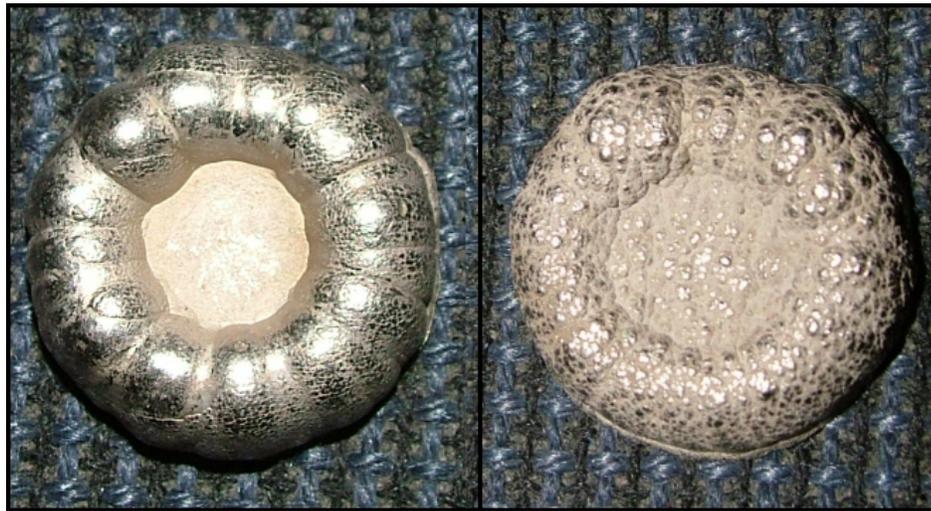
Algunas formas para evitarla son:

- Seleccionar el material adecuado
- Utilizar recubrimientos
- Usar sustancias inhibidoras
- Emplear protección catódica

1.4.2 CORROSIÓN GALVÁNICA

Cuando dos metales distintos se unen eléctricamente en presencia de un electrolito, la corrosión se lleva a cabo, al producirse un flujo de electrones del elemento más anódico al más catódico, de esta forma, uno de ellos se corroe, mientras el otro se protege.

En la práctica, la mayoría de los metales usados en ingeniería forman películas pasivadoras, que propician un determinado comportamiento del elemento en un medio específico, por lo que la Serie Galvánica es muy práctica para estas aplicaciones (Figura 1.3).



a) Níquel en estado puro. b) Níquel después de ser utilizado en el proceso de electrodeposición.

Algunas formas para evitarla son:

- Prevenir la unión de dos metales distintos en presencia de medios corrosivos
- Utilizar elementos de separación entre ellos (juntas) debiendo ser de materiales no absorbentes, en caso de no ser posible llevar a cabo la opción anterior,
- Utilizar un tercer elemento más anódico que los elementos en cuestión

1.4.3 CORROSIÓN EN GRIETAS Ó HENDIDURAS

Esta forma de corrosión se presenta en áreas semicubiertas, como grietas, hendiduras, etc. Esta forma de corrosión es una consecuencia directa de las celdas de concentración de oxígeno que ocasionalmente se asocia con pequeños volúmenes

estancados de solución y algunos ejemplos son: agujeros, juntas de materiales porosos, juntas a traslape, hendiduras bajo cabezas de tuercas y remaches (Figura 1.4).



Figura 1.4 Lavadora doméstica que presenta corrosión en grietas o hendiduras.

Algunas formas para evitarla son:

- Mejorar el diseño
- Limpiar frecuentemente los equipos
- Utilizar juntas de materiales que no sean absorbentes (hule vulcanizado, Neopreno, etc.)

1.4.4 CORROSIÓN POR PICADURA

Este tipo de corrosión es extrema y ocasiona la formación de agujeros en el metal, éstos pueden estar cercanos entre sí ó estar relativamente lejanos; se considera como una de las formas de corrosión más insidiosas y destructivas, ya que el metal puede fallar con un pequeño porcentaje de pérdida en peso en relación al total del material. La corrosión por picadura provoca una pérdida mínima de material, pero en cambio, las propiedades mecánicas se ven drásticamente alteradas, por lo tanto, un cambio en estas propiedades mecánicas puede mostrar la presencia de este tipo de ataque (Figura 1.5).



Figura 1.5 Corrosión por picadura en una tubería. [5]

Algunas formas para evitarla son:

- Utilizar un material más resistente a la corrosión por picadura
- Limpiar frecuentemente los equipos

1.4.5 CORROSIÓN-EROSIÓN

Es el incremento de la velocidad de corrosión que experimenta un metal al exponerse a un fluido en movimiento. Se presenta adicionalmente un desgaste metálico. Se caracteriza por la presencia de muescas o agujeros que casi siempre exhiben un patrón direccional. Los equipos expuestos a fluidos en movimiento están sometidos a este deterioro, por ejemplo: tuberías, bombas, agitadores, turbinas, etc. (Figura 1.6).



Figura 1.6 Tubería que presenta corrosión-erosión interior.

Algunas formas para evitarla son:

- Mejorar el diseño
- Emplear un material adecuado
- Utilizar sustancias inhibidoras

1.4.6 CORROSIÓN ÍTERGRANULAR

En la mayor parte de las aplicaciones de los metales en Ingeniería, los efectos de límite de grano son generalmente despreciables. Bajo un ataque uniforme, el límite de grano es solo un poco mas reactivo que la matriz y no tiene consecuencias graves. Sin embargo, bajo ciertas condiciones el ataque puede ser severo y se conoce como corrosión ítergranular. Se presenta generalmente en los aceros inoxidable. Puede ser causado por impurezas en el límite de grano (Figura 1.7), enriquecimiento o empobrecimiento de alguno de los elementos de aleación.

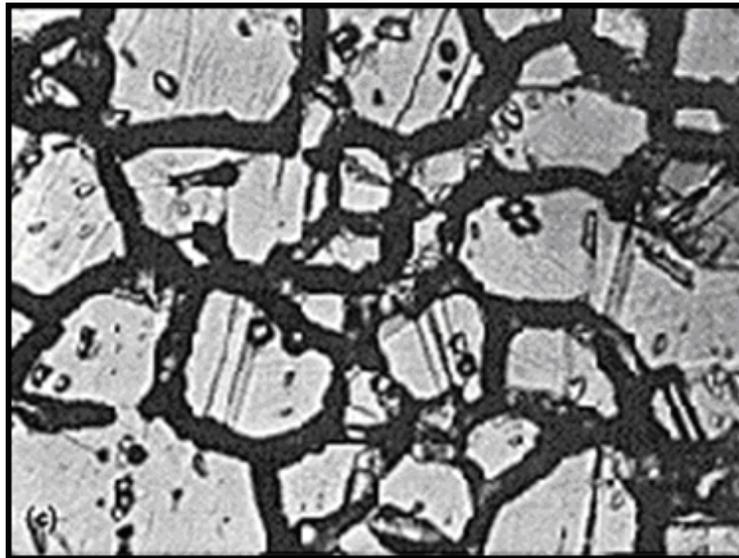


Figura 1.7 Corrosión Ítergranular en un acero S304. [6]

Algunas formas para evitar la sensibilización de un acero inoxidable son:

- Mantener reducido el contenido de carbono
- Agregar Titanio o niobio como elementos estabilizadores
- Aplicar un tratamiento térmico

1.4.7 CORROSIÓN POR DISOLUCIÓN SELECTIVA

Es también llamada Lixiviación, consiste en la disolución de un elemento en una aleación sólida mediante un proceso de corrosión, por ejemplo, la remoción del zinc en los latones amarillos, ya que estas aleaciones están formadas por dos fases: la fase α que es rica en cobre y la fase β que es rica en zinc, que es más anódica, por lo que si la aleación se expone a un ambiente corrosivo, esta fase se disolverá poco a poco, volviendo al material esponjoso, lo que da como resultado la pérdida en la resistencia mecánica (Figura 1.8).

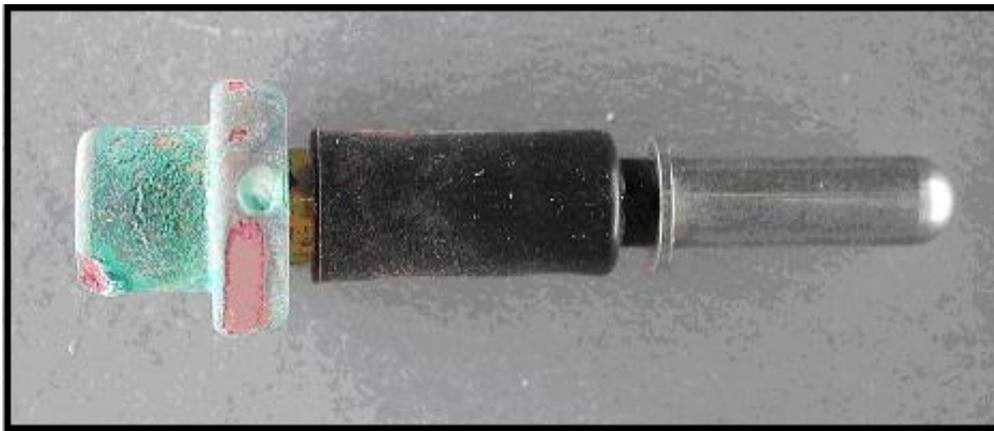


Figura 1.8 Actuador de un accesorio de tubería que presenta corrosión por disolución selectiva. [7]

Algunas formas para evitarla son:

- Emplear un mejor material, por ejemplo, latón rojo
- Modificar el medio ambiente al que va a estar expuesto el material

1.4.8 CORROSIÓN BAJO ESFUERZO

Es el tipo de corrosión producido por la influencia simultánea de un esfuerzo mecánico y un medio corrosivo.

El ataque en la superficie es mínimo, pero a través del metal se desarrollan fisuras muy finas que pueden conducir a la destrucción del elemento. Si el material está sometido a esfuerzos variables, el efecto será mayor (Figura 1.9).



Figura 1.9 Eje de automóvil que falló a causa del efecto de la corrosión bajo esfuerzo.

Algunas formas para evitarla son:

- Emplear un mejor material
- Eliminar esfuerzos mecánicos, en la medida posible

1.5 PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA CORROSIÓN

Los problemas causados por la presencia simultánea de un medio agresivo y un esfuerzo mecánico, corrosión bajo tensión, llamada corrosión-fatiga, así como la corrosión localizada y la corrosión por picaduras, son muy frecuentes. Sus efectos pueden ser muy costosos y/o fatales; entre los principales problemas están los siguientes:

- Pérdidas humanas. En muchos casos, una falla producida por corrosión ocasiona daños terribles en equipo de transporte, construcciones, etc. poniendo en riesgo la vida y la salud de muchas personas.
- Agotamiento de los recursos naturales. La extracción de un mineral demanda grandes cantidades de energía, la cual es imposible recuperar cuando el mineral regresa a su estado original.

- Económicos. Que involucran tanto pérdidas directas, como indirectas, las primeras son las pérdidas que resultan de la falla, mientras que las otras son los costos de mantenimiento o sustitución, entre otros. (fallos fatales en medios de transporte, escapes en tuberías, etc.)

1.6 EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

Durante el proceso de corrosión intervienen tantos factores, que es casi imposible reproducirlos en el laboratorio, sin embargo, existen algunas formas de medir la velocidad de la corrosión, que en la práctica son de mucha utilidad. Generalmente se realizan ensayos para determinar la velocidad a la que un material se deteriora. Los tipos de ensayos se clasifican de acuerdo al objetivo que persiguen; siendo los más importantes:

- Ensayos acelerados realizados en el laboratorio
- Ensayos de larga duración efectuados en los medios naturales

En la práctica se emplea el método tradicional que consiste en determinar la pérdida de peso que ha experimentado un determinado metal o aleación en contacto con un medio corrosivo. Este método supone que el tipo de corrosión es el de la corrosión uniforme, que es la que sufre el acero con más frecuencia.

Las unidades utilizadas para medir la pérdida de peso son: miligramos decímetro cuadrado día (mdd) y milímetros por año (mm/año). En el tema 2.5 se menciona la Ley de Faraday, que es utilizada para calcular la cantidad de material que se ha corroído o depositado.

1.7 CONTROL DE LA CORROSIÓN

El control de la corrosión debe realizarse, siempre que sea posible, desde la etapa del diseño de algún elemento ó sistema, además de ofrecer un acceso fácil a los componentes del sistema para un posterior mantenimiento. Se muestra en seguida una lista de recomendaciones para evitar y/ó controlar al proceso de la corrosión.

1.7.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL ADECUADO

La selección del material es una parte fundamental dentro del proceso del diseño, ya que los cálculos necesarios se realizan en función de las propiedades de éste. Los factores considerados son:

- Propiedades físicas y mecánicas del material. Esta selección debe basarse en el material más económico que ofrezca la combinación de las propiedades necesarias para cada uso específico.
- Resistencia a la corrosión. Se debe evitar la selección de un material muy resistente a la corrosión, que por lo general resulte muy caro, superando largamente la duración prevista para el equipo.
- Disponibilidad. Se debe cuidar que el tiempo de espera de un material más barato, no sea mayor que el de un material más caro, es decir, del que se tiene una disponibilidad inmediata.
- Costo. Las consideraciones económicas son muy importantes, así como el tiempo de vida esperado para el equipo e instalación.

1.7.2 MEJORAS EN EL DISEÑO

Este punto consiste en evitar dentro de las limitaciones del propio diseño la formación de huecos o cavidades en los cuales pueda quedar atrapada el agua, eliminar el contacto directo de metales diferentes, para evitar un par galvánico. Los factores considerados son:

- Evitar la unión de distintos metales. Si esto no es posible, se debe tener cuidado de que el área anódica sea mucho mayor que la catódica.
- Evitar la presencia de huecos o hendiduras donde pueda acumularse sustancias corrosivas.

- Cuidar que no haya acumulación o estancamientos de líquidos sobre las superficies metálicas.

1.7.3 PROTECCIÓN CATÓDICA

Este método se aplica principalmente a estructuras subterráneas, tales como cimientos estructurales, tuberías y tanques de almacenamiento. Se puede aplicar utilizando:

- Ánodos de sacrificio. Consiste en la colocación de un ánodo, que generalmente es de zinc o magnesio, inmerso en una mezcla de yeso con arcilla con el fin de proteger al elemento principal (Figura 1.10). Tanto el acero como el cobre, plomo y bronce son algunos de los metales que pueden ser protegidos de la corrosión por este método.

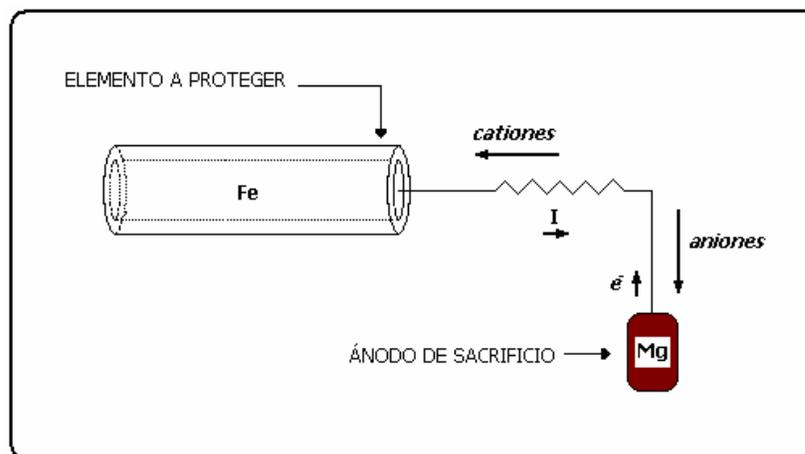


Figura 1.10 Protección mediante ánodos de sacrificio.

- Corrientes impresas. Consiste en hacer pasar por la estructura a proteger una corriente inversa, convirtiendo a ésta en un cátodo. La electricidad puede provenir de cualquier fuente de corriente directa. El polo positivo se conecta a un ánodo auxiliar, que puede ser de grafito o de una mezcla de grafito con chatarra de hierro. El polo negativo se conecta al elemento a proteger (Figura 1.11). En la práctica cuando se requiere proteger una estructura, la corriente necesaria para protegerla es en algunas ocasiones muy grande, lo que no hace rentable este método en el caso de estructuras de gran tamaño.

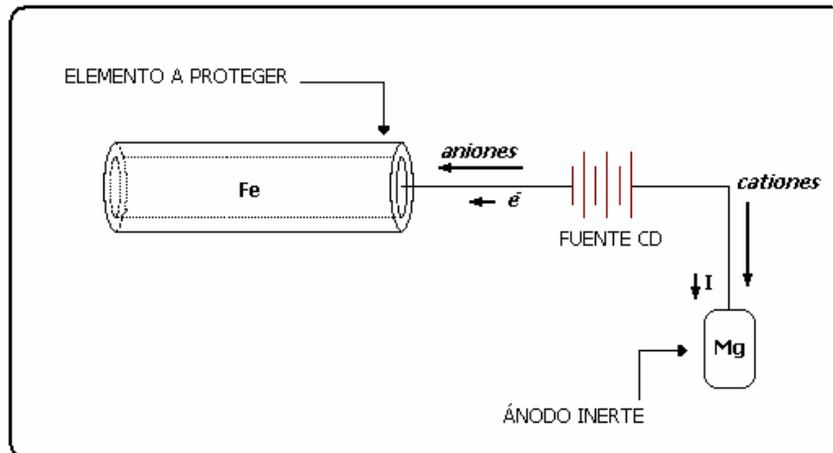


Figura 1.11 Protección mediante corrientes impresas.

1.7.4 EMPLEO DE SUSTANCIAS INHIBIDORAS

Los inhibidores son sustancias químicas que protegen al metal contra el ataque electroquímico de soluciones agresivas. Se utilizan en la industria para modificar el comportamiento de las aguas, para tener un mejor control de la corrosión. El principio de funcionamiento está basado en la polarización del mecanismo electroquímico, el cual se consigue eliminando el oxígeno disuelto, mediante la adición de estas sustancias inhibidoras en el medio agresivo, las cuales se encargan de polarizar uno de los electrodos de la pila de corrosión y de esa forma llegar a detener, o por lo menos disminuir sus efectos.

El comportamiento de los inhibidores puede ser algunas veces peligroso, ya que según la concentración o las circunstancias, puede jugar el papel tanto de inhibidor como de estimulador de la corrosión.

1.7.5 USO DE RECUBRIMIENTOS

Es la forma más económica de disminuir la velocidad de corrosión. Existen diferentes tipos de recubrimientos:

- Recubrimientos orgánicos. Son por lo regular películas orgánicas, tales como pinturas, resinas, barnices, grasa, placas adhesivas de material plástico, etc. Algunos de estos recubrimientos pueden contener materiales inorgánicos como

es el caso de las pinturas, sin embargo, el material predominante es orgánico. Esta protección excluye la humedad, el aire y otros medios corrosivos. Tiene la desventaja de descomponerse a temperaturas elevadas, por lo que se recomienda para aplicaciones que manejen temperaturas inferiores a la de la temperatura de ebullición del agua. Estos recubrimientos proporcionan una protección temporal.

- Recubrimientos inorgánicos. Son eficaces debido a que excluyen medios corrosivos y resisten temperaturas muy altas, además de que son resistentes a la intemperie y a los ácidos. Regularmente son duros y resistentes al desgaste, pero son frágiles y también son vulnerables cuando se exponen a choques térmicos. Ejemplos de estos recubrimientos son: materiales cerámicos y esmaltes vitrificados.
- Recubrimientos metálicos. Son utilizados para proteger la superficie de las estructuras y/o para mejorar la apariencia. Se logra la protección debido a que el recubrimiento metálico (regularmente níquel, zinc, cobre, cadmio, estaño, cromo, etc.) es más resistente al efecto del medio ambiente que el material básico. Se pueden aplicar de distintas formas: por medio de electrodeposición, inmersión, aspersión con metales fundidos atomizados o pulverizados, etc.

La elección de un recubrimiento adecuado requiere de las siguientes consideraciones:

- Impermeabilidad, esto es, que el recubrimiento sea continuo y de espesor suficiente, lo cual permitirá aislar la superficie del acero de los agentes agresivos.
- Resistencia mecánica de los metales utilizados en los recubrimientos, para garantizar una buena resistencia a los choques, rozamientos ligeros o accidentales, etc.
- Buena adherencia al acero.

- Posibilidad de proporcionar superficies pulidas o mates, capaces de conferir a los objetos un acabado con fines decorativos.
- Propiedades del recubrimiento, como el espesor de protección, dimensión de las piezas, agresividad del medio, duración prevista, extensión de la superficie que se quiere recubrir para el caso de los recubrimientos metálicos.

CAPÍTULO 2

ELECTRODEPOSICIÓN

...los ingenieros influyen indirectamente sobre la conducta humana por medio de las obras que alteran el ambiente de una comunidad.

EDWARD KRICK V.

2.1 DEFINICIÓN DE ELECTRODEPOSICIÓN

La electrodeposición es el método de cubrir objetos con una película fina de otro metal. El principio que rige este fenómeno es la electrólisis, cuyo nombre procede de dos radicales, *electro* que hace referencia a electricidad y *lisis* que significa ruptura.

La electrodeposición implica la reducción (disminución del estado de oxidación; ganancia de electrones) de un compuesto metálico disuelto en agua y una deposición del metal resultante sobre una superficie conductora.

Probablemente esta técnica es uno de los procesos mas complejos conocidos, debido a que hay un gran número de fenómenos y variables que intervienen en el proceso total, mismos que son llevados a cabo en la superficie de los materiales involucrados.

En la electrodeposición de metales, el éxito de la operación está en función del control de los fenómenos involucrados, por lo que es necesario mencionar los principios a los que se sujetan éstos, ya que cualquier variación en el proceso se verá reflejada de manera significativa en el resultado obtenido.

2.2 PRINCIPIOS DE ELECTROQUÍMICA

La Electroquímica es la ciencia que estudia el intercambio de energía química y eléctrica que se produce por medio de una reacción de óxido-reducción.

La oxidación es la pérdida de electrones, mientras la reducción es la ganancia de los mismos. Las reacciones de óxido-reducción (redox), son aquellas en donde hay una transferencia de uno ó más electrones.

Electrólisis es el nombre que recibe el proceso mediante el cual la energía eléctrica se emplea para producir cambios químicos; mediante una reacción redox no espontánea, donde se hace pasar una corriente eléctrica. Se lleva a cabo en un contenedor llamado cuba electrolítica. La electrolisis es uno de los principales métodos químicos de separación. La principal ventaja del método electrolítico consiste en que no es necesario aumentar la temperatura para que la reacción tenga lugar, evitándose pérdidas energéticas y reacciones secundarias. Industrialmente es uno de los procesos más empleados en diferentes áreas, como por ejemplo en la obtención de elementos a partir de compuestos (cloro, hidrógeno, oxígeno), la purificación de metales (el mineral metálico se disuelve en ácido, obteniéndose por electrólisis el metal puro) o la realización de recubrimientos metálicos protectores y/o con fines decorativos, como es el caso del niquelado. A continuación se menciona la definición de algunos términos empleados en el proceso de electrodeposición:

- El electrodepósito es el depósito catódico obtenido por el paso de una corriente eléctrica en una célula electrolítica.
- Un electrodo es el componente de un circuito eléctrico que conecta el cableado del circuito a un medio conductor como un electrolito. El electrodo positivo es llamado ánodo y el electrodo negativo es llamado cátodo.
- El electrolito es la sustancia iónica que en solución se descompone al pasar la corriente eléctrica.

2.3 PRINCIPIOS DE ELECTRICIDAD

Los procesos electrolíticos implican variables eléctricas que es conveniente revisar:

- La corriente eléctrica (I): es la rapidez del flujo de carga que pasa por un punto dado en un conductor eléctrico, que se origina por el movimiento de los

electrones y es una medida de la cantidad de carga que pasa por un punto dado en la unidad de tiempo. Se mide en amperes (A).

- La diferencia de potencial o voltaje (V): Cuando una corriente eléctrica fluye a través de un alambre conductor, se dice que lo hace porque existe una diferencia de potencial entre los dos extremos del alambre. La diferencia de potencial entre dos puntos se define como el trabajo efectuado, medido en joules (J), por fuerzas eléctricas para mover una carga de un Coulomb desde el punto de mayor potencial hasta el punto de menor potencial. A la unidad con que se mide la diferencia de potencial se le llama Volts.
- La resistencia (R): Es la oposición al flujo de carga eléctrica, y esta presente en todos los elementos. Es una propiedad específica del material, que esta en función de sus propiedades como son: el tamaño, forma y temperatura. Es independiente del voltaje y la corriente que pasa a través de ella. La unidad de medida es Ohms (Ω).

Un aislante es un material que se resiste al flujo de carga a través de si mismo. Un conductor eléctrico es un material por el cual puede transferirse carga fácilmente, la mayor parte de los metales son buenos conductores, existen diferentes tipos de conductores, clasificados por su naturaleza de conducción:

- Los conductores de primer orden son aquellos que poseen conductancia eléctrica, en los cuales los portadores de la carga son los electrones. Se caracterizan por tener una conducción sin transferencia substancial de masa.
- Los conductores de segundo orden poseen conductancia iónica o electrolítica, y los portadores de la carga son los iones. En este tipo de conductores se da una transferencia de masa asociada con la conductividad.
- Los conductores de tercer orden, llamados comúnmente semiconductores, poseen tanto conductancia iónica como eléctrica. Por lo general predomina el carácter eléctrico.

La ley de Ohm establece que para un resistor dado, a determinada temperatura la corriente es directamente proporcional al voltaje aplicado, esta proporcionalidad se establece como:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

Donde:

V = voltaje

R = resistencia

I = corriente

Un circuito en serie se define como aquel circuito en el que la corriente eléctrica tiene un solo camino para llegar al punto de partida, sin importar los elementos intermedios. En el caso concreto de arreglos únicamente de resistencias, la corriente eléctrica es la misma en todos los puntos del circuito (Figura 2.1).

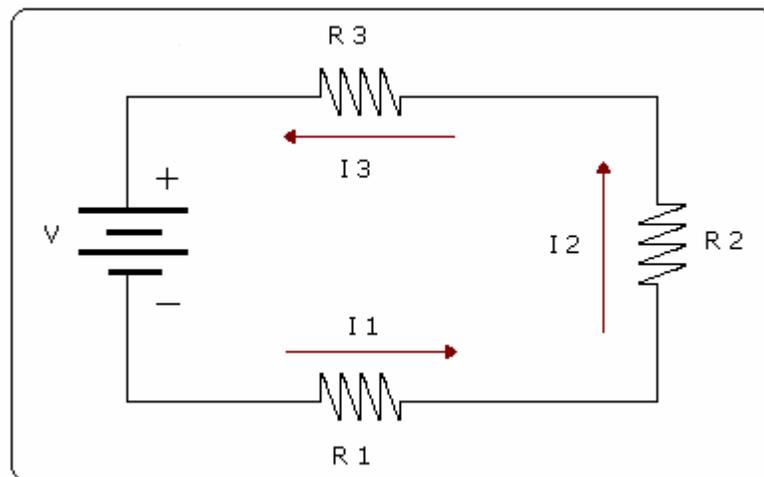


Figura 2.1 Arreglo de resistencias en serie.

Un circuito en paralelo se define como aquel circuito en el que la corriente eléctrica se divide en cada nodo. Su característica más importante es el hecho de que el potencial ó voltaje en cada uno de los resistores del circuito, tiene el mismo valor como se aprecia en el esquema (Figura 2.2).

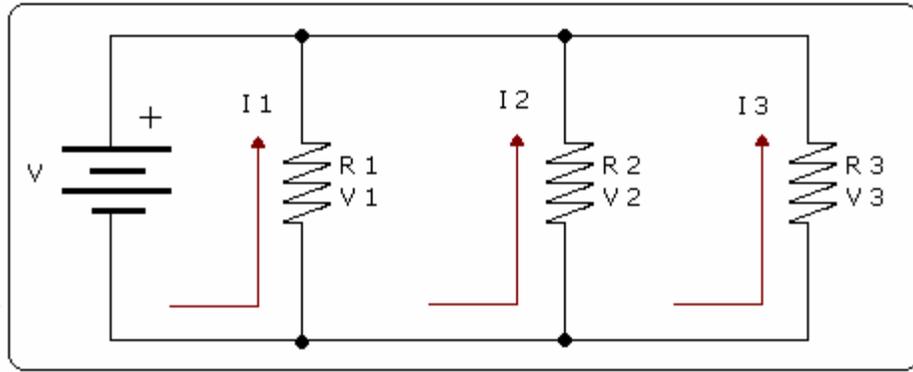


Figura 2.2 Arreglo de resistencias en paralelo.

Un circuito mixto se define como la combinación de elementos tanto en serie como en paralelo. Para la solución de estos problemas se trata de resolver primero todos los elementos que se encuentran en serie y en paralelo, para finalmente reducirlo a un circuito puro, bien sea en serie o en paralelo (Figura 2.3).

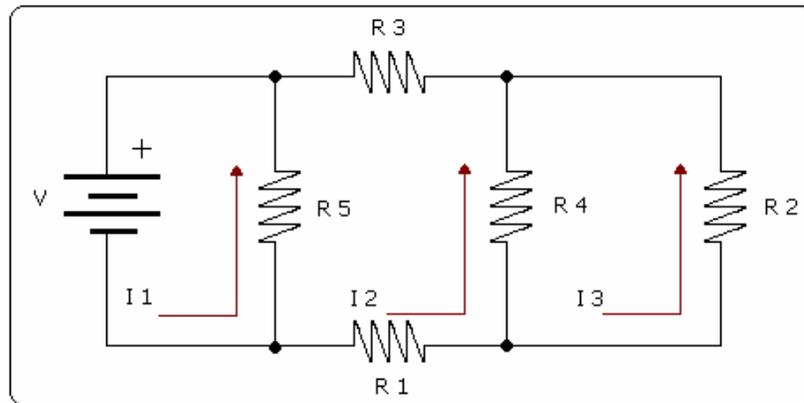


Figura 2.3 Arreglo de resistencias en un circuito mixto.

2.4 PROCESO ELECTROLÍTICO

El proceso electrolítico consiste en hacer pasar una corriente eléctrica a través de un electrolito, entre dos electrodos conductores denominados ánodo y cátodo. Donde los cambios ocurren en los electrodos.

Cuando conectamos los electrodos con una fuente de energía (generador de corriente directa), el electrodo que se une al polo positivo del generador es el ánodo y el electrodo que se une al polo negativo del generador es el cátodo.

Una reacción de electrólisis puede ser considerada como el conjunto de dos medias reacciones, una oxidación anódica y una reducción catódica (Figura 2.4).

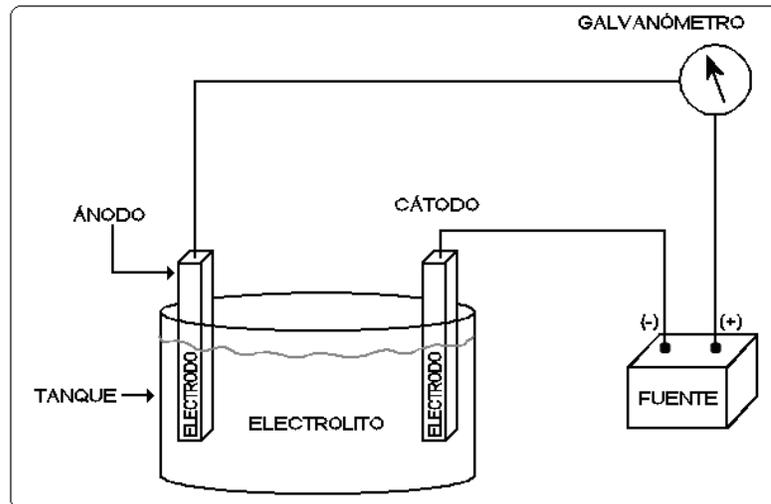


Figura 2.4 Elementos que intervienen en un proceso electrolítico.

Para explicar las reacciones en los electrodos, se considerará al cloruro de sodio fundido, por que sólo contiene dos tipos de iones. Se utilizan electrodos inertes; que significa que no reaccionan químicamente con los iones sodio y cloruro.

Los iones de sodio (+) o cationes, son atraídos hacia el electrodo negativo (cátodo). El cátodo se hace negativo por la acción de la fuente que le bombea electrones (Figura 2.5).

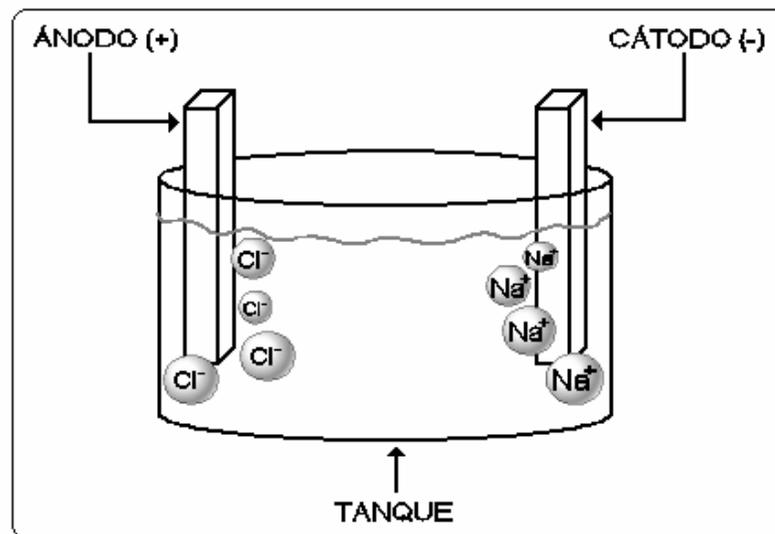
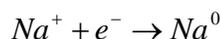


Figura 2.5 Movimiento de los iones hacia los electrodos.

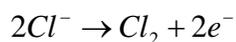
Los electrones del cátodo están en un estado de elevada energía potencial. El ion sodio tiene carga positiva, esto significa que atrae electrones y que un electrón de un

átomo de sodio tendría una menor energía potencial que un electrón del cátodo. Por lo tanto los electrones del cátodo se desplazan hacia el catión, por diferencia de energía potencial. En el cátodo los iones de sodio se convierten en átomos de sodio por adición de un electrón. Este es un cambio químico y puede representarse con la siguiente ecuación:



Este cambio químico representa una ganancia de electrones, por lo tanto el sodio se redujo y pasó a estado metálico, en consecuencia, el cambio químico que siempre ocurre en el cátodo es de reducción.

El ánodo es positivo ya que la fuente le bombea electrones fuera de él y además atrae iones cloruro (-) o aniones. En el ánodo los electrones poseen baja energía potencial. En cambio los electrones externos del ion cloruro se encuentran en un estado de potencial elevado. Cuando los iones cloruro llegan al ánodo le proporcionan electrones a este. Los electrones pasan de un estado de energía potencial elevada a uno de baja energía potencial. El cambio ocurrido en el ánodo puede representarse con otra ecuación:



Los iones cloruro pierden electrones transformándose en átomos de cloro, los cuales a su vez forman moléculas de cloro gaseoso. La reacción anódica siempre es de oxidación.

Las reacciones de oxidación y reducción ocurren simultáneamente, pero por separado, pues ocurren en diferentes puntos. La fuente no produce electrones, sólo los transporta de un lugar a otro, así los electrones que la fuente suministra al cátodo, provienen del ánodo. La función de la fuente es elevar la energía potencial de los electrones del cátodo.

Estas reacciones de electrodo se llaman semi-reacciones, y la reacción global de la electrólisis del cloruro de sodio es:



La naturaleza de las reacciones del electrodo depende de la diferencia de potencial o voltaje aplicado.

2.5 LEY DE FARADAY

La ley de Faraday constituye el principio fundamental de la electrólisis. Con la ecuación de esta ley se puede calcular la cantidad de metal que se ha corroído o depositado uniformemente sobre otro, mediante un proceso electroquímico durante cierto tiempo, y se expresa en los siguientes enunciados ^[8]:

“La cantidad de cualquier elemento (radical o grupo de elementos) liberada ya sea en el cátodo o en el ánodo durante la electrólisis, es proporcional a la cantidad de electricidad que atraviesa la solución”.

$$W = \frac{I \cdot T \cdot M}{n \cdot F} \quad (2.2)$$

Donde:

W = cantidad de metal que se ha corroído o depositado [g]

I = corriente [A]

T = tiempo que dura el proceso [s]

M = masa atómica del metal $\left[\frac{g}{mol} \right]$

n = valencia del metal

F = constante de Faraday = 96500 $\left[\frac{A \cdot s}{mol} \right]$

“Las cantidades de elementos o radicales diferentes liberados por la misma cantidad de electricidad, son proporcionales a sus pesos equivalentes”.

2.6 DEPÓSITOS ELECTROLÍTICOS MÁS COMUNES

A los revestimientos obtenidos a través de un proceso de electrodeposición, se les conoce como depósitos electrolíticos. Estos electrodepuestos pueden estar compuestos de uno o más elementos, cada uno de ellos sobre un metal base, según la aplicación que se desee.

En seguida se muestra una tabla que incluye los revestimientos más usados en la industria con su respectivo metal base (Tabla 2.1).

[8] John H. Meiser y Keith J Laidler. *Fisicoquímica*. México, CECSA, 1998.

Tabla 2.1 Electrodepósitos comunes ^[9]	
Electrodepósito	Metal base
Cobre-Níquel-Cromo	Materiales ferrosos
Níquel-Cromo	Materiales ferrosos
Cinc	Materiales ferrosos
Cadmio	Materiales ferrosos
Cobre-Níquel-Cromo	Aleaciones de Cinc
Níquel-Cromo	Cobre y sus aleaciones
Plata	Cobre y sus aleaciones
Oro	Cobre y sus aleaciones
Oro	Aleaciones de Cinc
Estaño	Cobre y sus aleaciones
Estaño	Materiales ferrosos
Níquel	Materiales ferrosos y Sus aleaciones
Níquel	Cobre y sus aleaciones
Cromo	Materiales ferrosos

2.7 NOMENCLATURA PARA ELECTRODEPÓSITOS

En Galvanotecnia existe una nomenclatura que resulta muy útil cuando se requiere de la realización de varias pruebas, pues reduce el tiempo invertido en el registro de los datos, además de facilitar la lectura de los mismos (Figura 2.6).

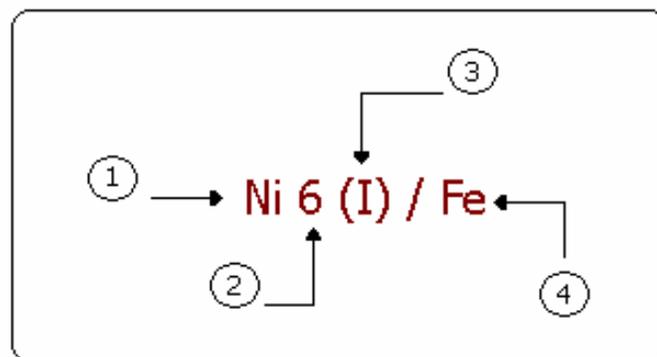


Figura 2.6 Simbolización de revestimientos en Galvanotecnia.

[9] Glayman J. *Galvanotecnia, técnica y procedimientos*. 2da. ed. España. Trad. Sanchiz Sarasola I, Técnicos Asociados, 1980.

En donde:

1. Símbolo químico del metal o elemento preferencial del revestimiento.
2. Espesor del revestimiento metálico para procesos electrolíticos; se expresa en micrómetros (μm).
3. Proceso de revestimiento, escrito entre paréntesis con número romano, que va de I a X. En este caso I, lo que indica un proceso electrolítico.

Los revestimientos más comunes son:

- (I) Depósito electrolítico
- (II) Depósito químico
- (III) Revestimiento por inmersión en metal fundido
- (IV) Revestimiento por metalización a pistola
- (V) Revestimiento por chapado
- (VI) Depósitos al vacío

4. Símbolo químico del metal ó aleación base, precedido de una línea diagonal.

2.8 APLICACIONES PRÁCTICAS

La electrodeposición es una tecnología muy importante, debido a que permite recubrir materiales baratos y muy accesibles con capas de diferentes metales.

No sólo se aplica para obtener mejores propiedades, su uso se extiende a múltiples aplicaciones, en las cuales, de otra manera, resultaría muy costoso alcanzar estos objetivos, como protección contra la corrosión, mejora de las propiedades mecánicas y acabados estéticos (decoración).

Algunas de las aplicaciones más comunes del niquelado son las siguientes:

- Protección a la corrosión; ya que las capas de níquel no son porosas, como en el caso del recubrimiento de herramientas (Figura 2.7).



Figura 2.7 Perforadora con acabado níquel brillante.

- Mejoramiento de las propiedades mecánicas; empleadas en combinación con otros metales, como el cromo. Una aplicación muy común en la industria automotriz, son las defensas para automóviles (Figura 2.8).



Figura 2.8 Válvula de paso niquelada. ^[10]

- Recubrimientos decorativos; acabados exclusivamente estéticos, por ejemplo, en accesorios metálicos para baños y muchos otros artículos en el mercado (Figura 2.9).

[10] <http://www.import.per.net>, agosto 2006.



Figura 2.9 Izquierda: recipiente metálico niquelado. Derecha: rin cromado para automóvil. ^[11]

2.9 NIQUELADO

Se le denomina *Niquelado* ó *Niquelado electrolítico* al proceso de formación de un revestimiento metálico de níquel sobre una superficie, sin importar el grosor del revestimiento, ni el metal base en el cual se encuentra el electrodepósito. También se le llama *Niquelado* al proceso mediante el cual se realiza una metalización de níquel a pistola.

En el subtema 2.4 se explicó el proceso electrolítico general; en el caso particular del proceso de niquelado electrolítico (Figura 2.10), las reacciones que se llevan a cabo son:

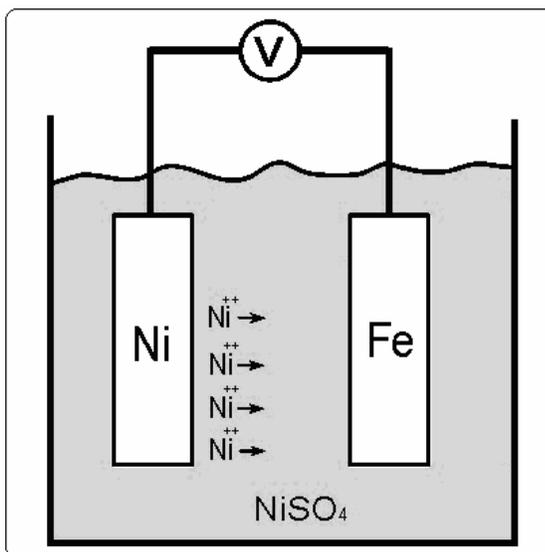
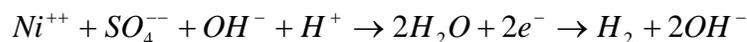


Figura 2.10 Esquema de un niquelado electrolítico.

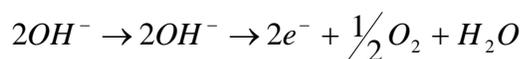
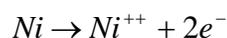
[11] <http://www.san-jorge.net>, agosto 2006.

REACCIONES EN EL CÁTODO:



Por lo que se produce H_2

REACCIONES EN EL ÁNODO:



Por lo que se produce O_2

En la industria, es muy común utilizar revestimientos múltiples. En el caso de revestimientos de cobre-níquel-cromo, sobre materiales ferrosos, se usan espesores determinados para cada uno de los elementos; en el caso del cobre, desde $10 \mu m$ hasta $20 \mu m$, para el níquel de $5 \mu m$ a $20 \mu m$, mientras que el cromo siempre se mantiene en $0.3 \mu m$. Este electrodeposición se usa mucho en la industria metalmeccánica, ya que ofrece un acabado altamente resistente a la corrosión y muy estético. Cuando el metal base es el cinc, el níquel se deposita de $8 \mu m$ a $35 \mu m$, el cromo de $0.3 \mu m$ a $0.8 \mu m$ el cobre se deposita de $8 \mu m$ a $10 \mu m$. Para el caso del zamak (aleación de cinc) el cobre puede ser sustituido por latón ó bronce.

Cuando se aplica un electrodeposición níquel-cromo, regularmente sobre cobre y sus aleaciones, el espesor del depósito de níquel varía de $4 \mu m$ a $16 \mu m$ y el cromo se deposita de $0.3 \mu m$. Este electrodeposición es apto para medios medianamente corrosivos.

Para revestimientos de níquel sobre bases de cobre, se emplean de $3 \mu m$ a $6 \mu m$ de Ni, mientras que en el caso de materiales ferrosos, los espesores son de $3 \mu m$ a $5 \mu m$.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE ELECTRODEPOSICIÓN

...un problema involucra algo más que hallar una solución; requiere encontrar una forma preferible de lograr la transformación deseada.”

EDWARD KRICK V.

En el diseño de un sistema de electrodeposición, en general, se consideran las características del lugar donde se pretende instalar, como son: los materiales que constituyen el área de trabajo, el tipo de ventilación, la temperatura ambiental, la clase de pintura u otros recubrimientos que se tengan en paredes, techo y suelo, los tipos de instalaciones con las que se cuenta, como eléctrica y toma de agua, etc. Además de las restricciones específicas del sistema.

3.1 ELECCIÓN DEL METAL RECUBRIDOR (ÁNODO)

3.1.1 FACTORES CONSIDERADOS

En galvanoplastia, a nivel industrial, el níquel es un metal muy importante debido a que se aplica sobre varios metales ferrosos y no ferrosos sin la necesidad de un revestimiento previo.

3.1.2 CRITERIO DE ELECCIÓN

Este sistema se diseñó para contener una cuba de niquelado adecuada para recubrir artículos con fines decorativos, debido a que esa aplicación emplea menor cantidad de

materiales; esto obedece a que mientras más delgada sea una capa de níquel, mayor calidad de brillo ofrece su acabado.

3.2 POSICIÓN Y NÚMERO DE ÁNODOS

El ánodo es el electrodo compuesto del metal recubridor, en este caso, níquel. Las líneas de fuerza de los ánodos se comportan de la misma forma que las líneas de un campo magnético; es decir, éstas se desplazan de ánodo al cátodo, algunas en línea recta y otras se curvan ligeramente.

La posición y la cantidad de los ánodos dependen de la forma del objeto a recubrir, por lo que existen varias configuraciones, de las cuales, las más comunes se ilustran a continuación:

3.2.1 RECUBRIMIENTO PARCIAL DE UNA PIEZA

El recubrimiento más sencillo consiste en recubrir sólo una de las caras de la pieza, ó cuando ésta tiene una forma regular, esto es, sin cambios drásticos en la superficie, regularmente plana. Esta configuración también es usada para trabajar piezas muy pequeñas (Figura 3.1).

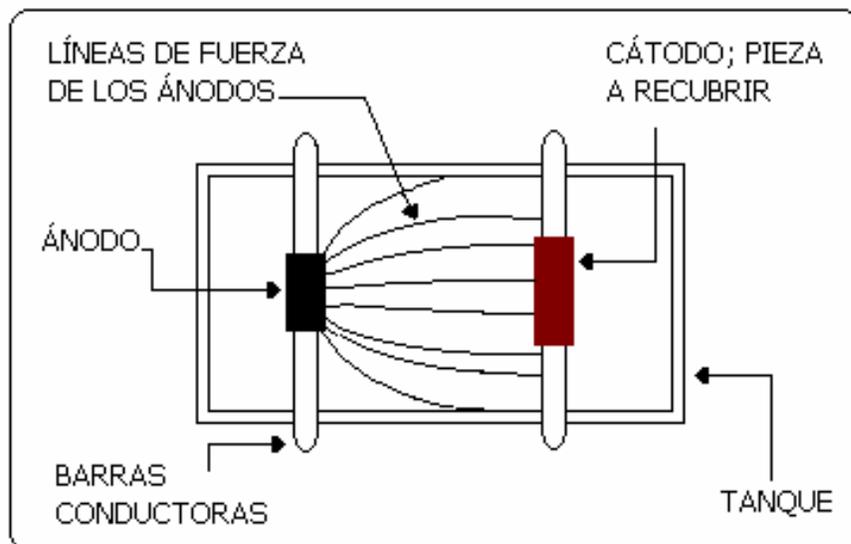


Figura 3.1 Configuración de un cátodo y un ánodo para trabajos sencillos.

3.2.2 RECUBRIMIENTO TOTAL DE UNA PIEZA

Para recubrir totalmente una pieza, es necesario contar con más de un ánodo, lo que permite un recubrimiento homogéneo, evitando así, que la pieza de trabajo sea sometida a una segunda sesión. Generalmente se emplean dos ánodos equidistantes a la pieza a tratar (Figura 3.2).

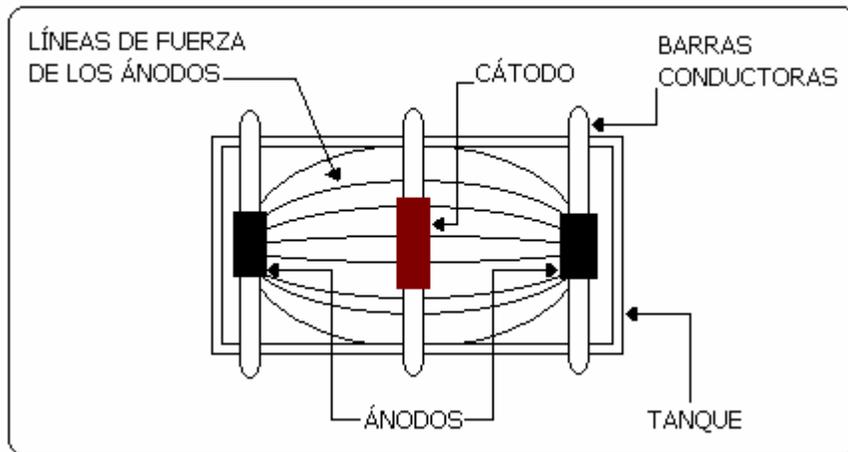


Figura 3.2 Configuración de dos ánodos equidistantes.

3.2.3 RECUBRIMIENTO DE PIEZAS IRREGULARES

En el caso de piezas cuya superficie no sea plana o con cambios drásticos de forma en la superficie, es necesario que los ánodos tengan una forma cercana a la del objeto a recubrir, el caso más común es el recubrimiento de una pieza (cátodo) redonda, con un área pequeña (Figura 3.3).

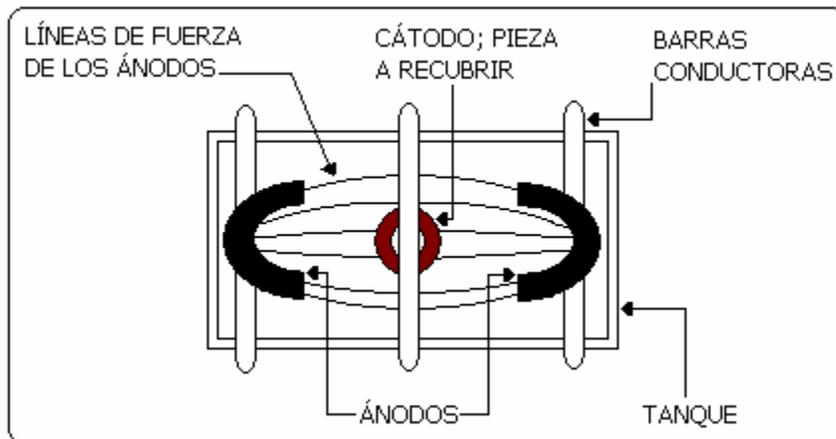


Figura 3.3 Configuración de dos ánodos para piezas redondas ó con forma irregular.

3.2.4 RECUBRIMIENTO EXTERIOR E INTERIOR

En el recubrimiento de una pieza (cátodo) redonda con área grande ó con una forma irregular, se emplean más de dos ánodos. La configuración de éstos depende del tamaño de la pieza y de la forma de ésta, por ejemplo; si se desea recubrir un tubo, es necesario colocar un ánodo dentro del mismo, para que el interior, además de recubrirse, presente también un buen acabado (Figura 3.4).

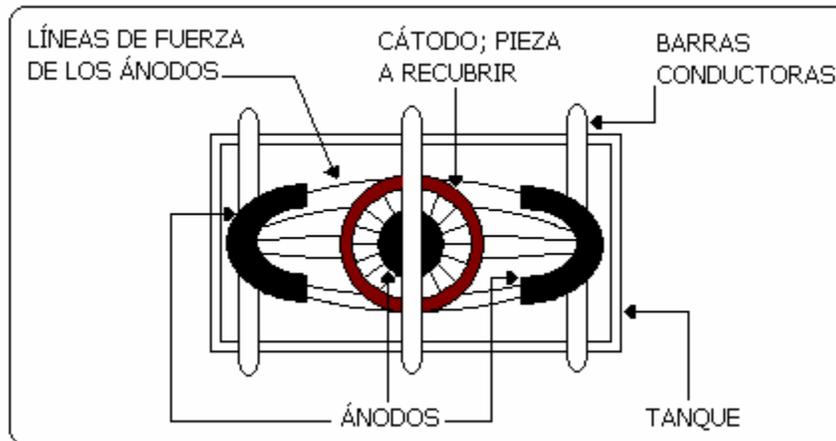


Figura 3.4 Configuración de los ánodos para recubrir una pieza tubular, interior y exteriormente.

3.2.5 CRITERIO DE ELECCIÓN

Este sistema de niquelado se diseñó para recubrir piezas por ambos lados; por lo que se optó por el empleo de dos ánodos equidistantes al cátodo, como se describió anteriormente.

3.3 ELECCIÓN DEL MATERIAL A RECUBRIR (CÁTODO)

3.3.1 REQUERIMIENTOS

En el capítulo anterior se mencionaron los electrodepositos más comunes, así como sus respectivos metales base, subtema 2.6, cabe mencionar que para que un metal sea protegido por otro, deben formar ambos metales un par galvánico, de tal forma que la diferencia de potencial entre los dos materiales sea lo más débil posible.

3.3.2 CRITERIO DE ELECCIÓN

Se eligieron al cobre y al acero de bajo carbono, por satisfacer la condición anterior, además de ser económicos y de ofrecer la facilidad de poder ser recubiertos directamente por el níquel, sin la necesidad de un baño previo de otro metal.

3.3.3 SUJECIÓN DEL CÁTODO

Para sujetar y mantener las piezas sumergidas en el electrolito existen diferentes opciones, tales como: ganchos, gancheras, canastos, etc. Estos elementos están en función del tamaño de las piezas a recubrir y del número de éstas.

Los ganchos se fabrican de distintos metales y se recubren con una pintura aislante y resistente a los productos químicos empleados. Debido a que las piezas a recubrir fueron de dimensiones pequeñas, se optó por la utilización de caimanos usados en electrónica.

3.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS PIEZAS A NIQUELAR

3.4.1 DIMENSIONES

El tamaño de las piezas a recubrir se limitó de acuerdo a la capacidad de la potencia que entrega la fuente, no está en función del volumen del tanque. De tal forma que las piezas a niquelar, tuvieron una superficie uniforme y un área entre 1 dm^2 y 2 dm^2 .

3.4.2 CONFIGURACIÓN

Una configuración errónea del cátodo puede ocasionar un mal acabado, por lo que es importante mencionar ciertas reglas. La disposición de la(s) pieza(s) que se van a recubrir, es de gran importancia, debido al desprendimiento de gas durante el proceso de electrólisis, lo que da lugar a burbujas atrapadas en algunas zonas de la pieza de trabajo, sobre todo si ésta tiene una forma irregular. Este burbujeo representa un obstáculo para la correcta deposición de níquel; dando como resultado un acabado heterogéneo.

En algunas ocasiones el problema de una inadecuada configuración llega a ser tan significativo, que impide la adherencia del níquel en las partes de la superficie donde se tiene menos acceso, como el caso de las cavidades.

Cuando una pieza de trabajo no presenta un niquelado en toda su superficie, es necesario someterla nuevamente al proceso, lo que la vuelve más costosa y con una calidad más baja. Se adaptó un agitador para reducir este problema; descrito en este capítulo también.

En las figuras (3.5, 3.6 y 3.7) ^[12] se ilustran los errores más comunes en cuanto a la posición de la pieza de trabajo.

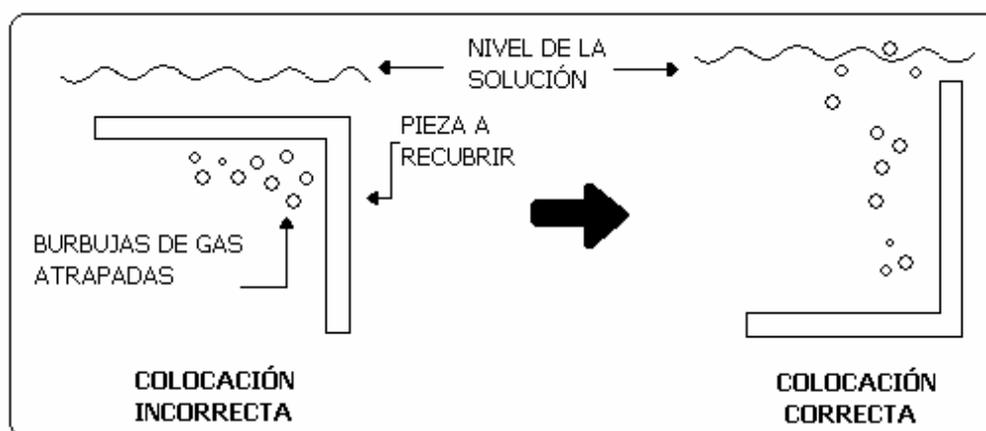


Figura 3.5 Manera adecuada de colocar un cátodo con un área irregular.

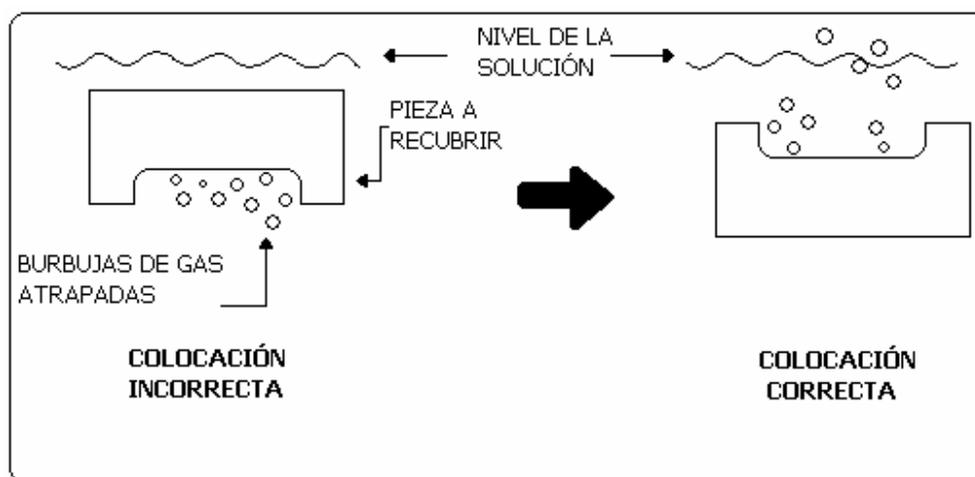


Figura 3.6 Posición correcta de un cátodo con cavidades.

[12] Caswell. *The Caswell plating manual. Version 7.* Estados Unidos, Caswell, 2003, pág.14.

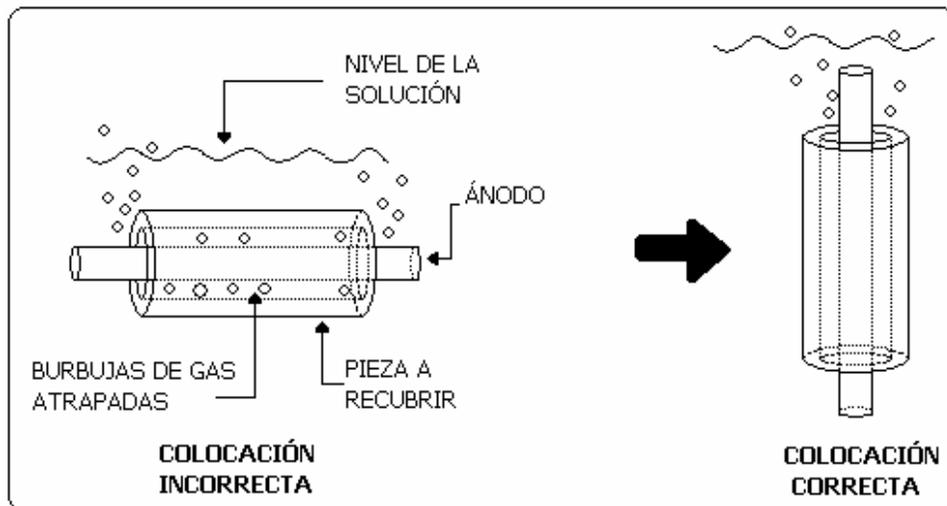


Figura 3.7 Manera adecuada de colocar un cátodo tubular.

3.5 ELECCIÓN DEL MATERIAL DEL TANQUE

Los materiales utilizados para la fabricación de los tanques, son: madera, hierro (o acero), barro cocido resistente, concreto, vidrios, materiales plásticos, etc.

En ingeniería ningún material posee todas las propiedades deseadas, sus relativas ventajas y desventajas deben ser consideradas para realizar una correcta decisión. En algunos casos, las propiedades mecánicas son buenas, pero la resistencia química que ofrece el material no es la deseada, lo que hace necesaria la elección de un forro o revestimiento adecuado.

3.5.1 MATERIALES DISPONIBLES ^[13]

Los materiales más frecuentemente utilizados para la construcción de tanques en Galvanoplastia son los siguientes:

- Madera: anteriormente fue el material mas usado, debido a su bajo costo, especial adaptabilidad para un propósito determinado y a que es fácil su fabricación. Aunque actualmente su costo es tan alto como el de otros materiales que ofrecen más ventajas. Las propiedades deseables son su impermeabilidad y carencia de constituyentes de fácil solución.

[13] Blum William. *Galvanotecnia y galvanoplastia: Dorado, plateado, niquelado, cromado*. Trad. Lanuza Escobar J. A. México, Cecsa, 1964.

- Forros para madera: para soluciones casi neutras como es el caso de los baños de níquel, se pueden usar tanques de madera sin forros, que ofrece la ventaja de mantener las duelas húmedas e hinchadas, manteniéndolas bien unidas. Los tanques de madera no son apropiados para soluciones alcalinas fuertes, aun cuando estén forrados. Para baños ácidos débiles, el interior del tanque de madera puede ser pintado con barnices que contengan plásticos sintéticos, para soluciones acidas, frecuentemente, los tanques se forran de plomo, pero este deberá ser bastante grueso aproximadamente 2.5 *mm* de espesor.
- Hierro y acero: para soluciones alcalinas se usan casi exclusivamente tanques de hierro o acero, de medida gruesa para evitar que se deformen o se corroan en el exterior. Estos tanques poseen la desventaja de ser conductores, teniendo la tendencia a causar cortos circuitos. Sin embargo, esta conductividad es frecuentemente utilizada en la limpieza electrolítica, haciendo que el tanque sirva como ánodo.
- Forros para el hierro y el acero: cuando se trata de baños ácidos y neutros los tanques se forran de hule, además, sus propiedades aislantes evitan cortos circuitos en el tanque. Al seleccionar un forro de hule se debe tener cuidado de que los materiales que se usaron para vulcanizarlo aparezcan en cantidad menor, como para evitar contaminar la solución. Otra opción es recubrir interiormente el tanque con fibra de vidrio, ya que ésta es impermeable, resiste al ataque químico y no contamina la solución.
- Barro cocido: es muy resistente a los ácidos diluidos, comúnmente es vidriado, sin embargo es atacado por el ácido fluorhídrico, por ejemplo en soluciones de plomo y algunas veces de níquel. Sin embargo, para evitar estos problemas se puede recurrir a un forro.
- Forro para barro: los forros más utilizados son de asfalto, que son muy apropiados para el cromado. Pero no es apropiado para contener soluciones limpiadoras. Una de sus principales ventajas es su baja conductividad eléctrica y

su elevada conductividad térmica, lo cual es una ventaja para conservar soluciones frescas. Su principal desventaja es la fragilidad.

- Concreto: los tanques de concreto son fáciles de obtener en cualquier tamaño y forma; sin embargo no son transportables y tendrán que ser destruidos, si fuera necesario cambiar de ubicación. El concreto no es muy resistente a los ácidos, por lo que requiere de un forro, como por ejemplo, el asfalto. También son muy frágiles.
- Esteatita: conocida como alberene, que es una variedad de talco compuesta por filo silicatos, que se presenta en masas compactas o finamente escamosas de color gris o verde, la cual mezclada con arcilla y feldespato constituye una materia cerámica, es un material bastante resistente a los ácidos diluidos, cuando esta libre de imperfecciones. Por lo cual, es muy empleada en lavabos de laboratorios químicos. Su principal dificultad cuando se emplea para tanques galvanizadores, es lograr que sus juntas sean satisfactorias, ya que estas suelen ser atacadas por la exposición continua a los ácidos.
- Vidrio: se usa para la fabricación de tanques muy pequeños, hasta de 4 litros. Son relativamente baratos y prácticamente inafectables por ácidos, además de que permiten la observación de la posición y condiciones de los electrodos. Si se desean temperaturas altas se deben calentar gradualmente, aunque en algunas ocasiones, están mal templados y pueden fallar inesperadamente, por lo que generalmente no se usa en tanques grandes.
- Hule: este material es bastante resistente a las soluciones ácidas, pero no a las soluciones alcalinas, además se suaviza a altas temperaturas y, por lo tanto, no se puede usar con seguridad a temperaturas superiores a 40°C.
- Hierro esmaltado: tiene prácticamente la misma resistencia a los ácidos, al igual que el vidrio, pero tiene la desventaja de que después de un largo periodo de tiempo tiende a despostillarse. Estos tanques se usan para el dorado y platinado electrolíticos.

3.5.2 CRITERIO DE ELECCIÓN

El material elegido para este proyecto fue el acero de bajo carbono, debido a la capacidad del dispositivo (25 l) y las propiedades antes mencionadas de cada uno de los materiales. Además se consideró su bajo costo y la facilidad para conseguirlo y mecanizarlo. Como se mencionó anteriormente, este material necesita un revestimiento interno, para lo cual se optó por la fibra de vidrio, que además de aislar al tanque, se aplicó de una manera segura y eficaz sin la necesidad de pagar mano de obra especializada, reduciendo así costos innecesarios.

3.6 DISEÑO DEL TANQUE

Los tanques se diseñan tan grandes y tan hondos como se requiera, éste factor está en función de la(s) pieza(s) a recubrir. A nivel industrial, la capacidad de los tanques varía desde un litro, en el caso de la joyería, hasta tanques de proporciones impresionantes, según la aplicación. El objetivo de este proyecto fue diseñar y construir un sistema que permitiera realizar prácticas de electrodeposición con fines didácticos.

3.6.1 REQUERIMIENTOS

Sabiendo que las piezas a niquelar se planearon de 1 dm^2 a 2 dm^2 , la altura de la tina requirió un excedente de por lo menos 10 cm para facilitar la sedimentación de las materias suspendidas. Además, se tomó en cuenta que el propósito perseguido fue un acabado decorativo brillante.

3.6.2 DIMENSIONES DEL TANQUE

Por lo anterior, un tanque con las medidas: $(25 \times 40 \times 25) \text{ cm}$ y un espesor de 2 mm , dando como resultado, una capacidad máxima de 25 l (sin revestimiento) se consideró suficiente. El tanque tiene una pestaña alrededor de la boca de éste, donde descansan las barras conductoras, favoreciendo al mismo tiempo la manipulación de todo el sistema.

La pestaña no estará sometida a cargas, ni a esfuerzos significativos durante el funcionamiento del sistema (Figura 3.8).

3.7 ELECTROLITO

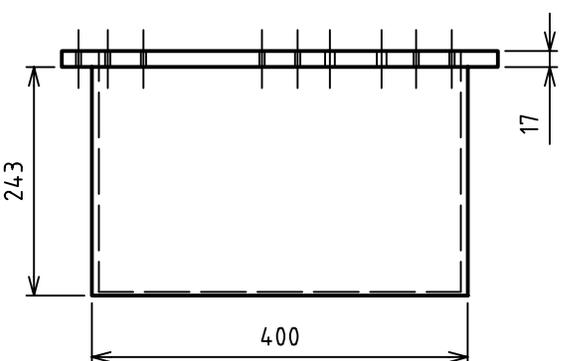
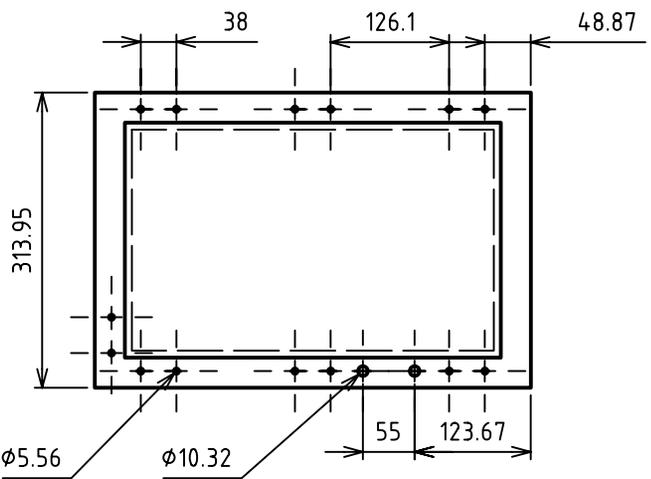
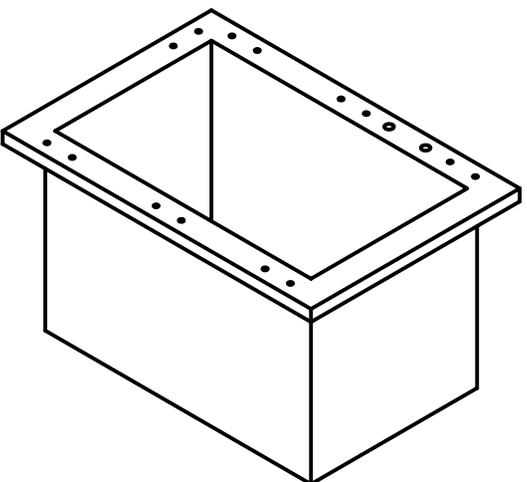
Hoy en día existen muchas empresas en México dedicadas a la fabricación de productos químicos y de equipo para procesos electrolíticos, además de ofrecer asesoría técnica gratuita a sus clientes. Por lo que se solicitó el servicio y asesoría de una de ellas ^[14] para cubrir las necesidades de este sistema de electrodeposición.

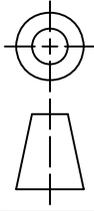
3.7.1 CONSTITUYENTES DE LA SOLUCIÓN

Los elementos que componen a una solución, son llamados aditivos. Para un proceso de níquel brillante de acuerdo a los expertos en el campo, son los siguientes:

- Sulfato de níquel: constituye la principal fuente de iones de níquel, además de controlar los límites admisibles de densidad de corriente.
- Cloruro de níquel: suministra los iones cloruro necesarios para asegurar la corrosión de los ánodos de níquel. También es una fuente secundaria de iones níquel. Las concentraciones altas de iones de cloruro de níquel extienden el rango de operación de densidad de corriente e incrementa la conductividad del baño.
- Ácido Bórico: actúa como un agente protector para mantener el pH en la solución, también sirve para conservar el brillo, la ductilidad y la adhesión del depósito de níquel, por lo que su contenido nunca debe ser menor a 45 g/l.
- Abrillantador “Turbobrite R2000 inicial”: se emplea en la preparación de nuevas soluciones y en la conversión de algunas soluciones de níquel brillante. Es normalmente mantenido en su nivel óptimo por análisis.

[14] Galvanolyte, S.A. de C.V. Fabricantes de productos químicos y equipo para galvanoplastia y pulido. Internet: <http://www.galvanolyte.com.mx>



<p>ESC: 1:8</p> <p>ACOT: mm</p> 	<p>UNAM FESC-C4 I.M.E.</p> <p>TANQUE</p> <p>MATERIAL: LÁMINA DE ACERO DE 2mm DE ESPESOR Y RECUBRIMIENTO INTERNO DE FIBRA DE VIDRIO DE 7.5mm.</p>	<p>ELIZABETH LOPEZ LOPEZ</p> <p>ALONSO ROJAS AVALOS</p>	<p>REVISÓ: F.D.C.R.</p> <p>FIGURA 3.8</p>
---	--	---	---

- Abrillantador “Turbobrite R2000 maintenance”: se utiliza para mantener brillo y nivelación. Es consumido por arrastre y electrólisis. Se pueden hacer amplios rangos de adición sin pérdida de ductilidad u otras propiedades del depósito. Los rangos de adición varían para diferentes instalaciones, sin embargo se puede considerar un rango de $(150 - 3250)ml/1000A \cdot h$
- “Antipit Nisol wetter”: es un humectante para soluciones agitadas con aire. Su función es reducir la tensión superficial del baño y temporalmente llega a vencer la contaminación orgánica. Produce una espuma inestable en el baño. Adiciones continuas de este humectante indican que la solución esta contaminada y debe hacerse un tratamiento de purificación con carbón activado. En baños agitados por aire, la operación normal no requiere el uso continuo de un humectante. Las soluciones agitadas por aire normalmente mantienen una tensión superficial alrededor de $38 \text{ dinas} / \text{cm}^2$.
- “Antipit BS 660”: es un humectante tipo espumante, es usado para prevenir el piquete del gas en baños con agitación mecánica ó sin agitación. Si se requiere más de las cantidades normales de este aditivo, el baño probablemente está contaminado y deberá ser tratado con carbón activado. Este aditivo mantiene la tensión superficial alrededor de $38 \text{ dinas} / \text{cm}^2$.
- pH: la mejor nivelación del depósito de níquel es obteniendo un pH de 4.2 y, debe checarsé, al menos, cada 8 aplicaciones. El pH puede ser bajado por adición de ácido sulfúrico químicamente puro diluido al 10%. Si es necesario incrementar el contenido de cloruro puede ser bajado el pH por adición de ácido clorhídrico químicamente puro diluido. El pH puede ser subido por adición de lechadas de carbonato de níquel.

3.7.2 CÁLCULO DE LAS PROPORCIONES (ADITIVOS)

Los aditivos y las proporciones de los mismos que una solución requiere para un baño de níquel brillante están tabulados para facilitar su consulta. (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Proporciones de los aditivos para un baño de níquel brillante ^[15]	
ADITIVO	PROPORCIÓN RECOMENDADA
Sulfato de níquel	220 g/l
Cloruro de níquel	60 g/l
Ácido bórico	45 g/l
Turbobrite R2000 Initial	10 ml/l
Turbobrite R2000 Maintenance	0.2 ml/l
Antipit Nisol Wetter (agitación por aire)	2.5 ml/l
Antipit Levelbrite B1000 Wetter (agitación mec.)	0.3 ml/l

Las cantidades de aditivos de la solución están en función de la capacidad del tanque y del tipo de cuba. Se decidió trabajar el sistema a una capacidad tal, que permita la colocación de los accesorios internos, como el calentador, el agitador, etc.

Por lo tanto, la tina se trabajará a una capacidad de 20 l, sabiendo que su capacidad máxima es de 22.6 l, tomando en cuenta el revestimiento. A continuación se muestran las cantidades necesarias de aditivos para una cuba de 20 l :

$$\text{Sulfato de níquel} = \left(220 \frac{\text{g}}{\text{l}} \right) (20\text{l}) = 4400\text{g} = 4.40\text{kg}$$

$$\text{Cloruro de níquel} = \left(60 \frac{\text{g}}{\text{l}} \right) (20\text{l}) = 1200\text{g} = 1.20\text{kg}$$

$$\text{Ácido bórico} = \left(45 \frac{\text{g}}{\text{l}} \right) (20\text{l}) = 900\text{g}$$

$$\text{Turbobrite R2000 inicial} = \left(10 \frac{\text{ml}}{\text{l}} \right) (20\text{l}) = 200\text{ml}$$

$$\text{Turbobrite R2000 Maintenance} = \left(0.2 \frac{\text{ml}}{\text{l}} \right) (20\text{l}) = 4\text{ml}$$

[15] Galvanolyte, S.A. de C.V. *Memorando; Proceso de níquel Brillante*. Fabricantes de productos químicos y equipo para galvanoplastia y pulido, 2006.

$$\text{Antipit Nisol Wetter (agitación por aire)} = \left(2.5 \frac{ml}{l}\right)(20l) = 50ml$$

3.8 BARRAS CONDUCTORAS (EQUIPO ELECTROLÍTICO)

3.8.1 FACTORES CONSIDERADOS

Industrialmente se utilizan tuberías de cobre y barras sólidas. Las primeras son más económicas y ligeras, además de que son más funcionales para la instalación. Tienen la desventaja de ofrecer una conducción mas pobre cuando se trabaja con sistemas que exigen grandes cantidades de energía. Las barras sólidas, por su parte, presentan una excelente conducción eléctrica, aunque son más pesadas.

3.8.2 CRITERIO DE ELECCIÓN

Se optó por barras de cobre por ser muy usadas para estas aplicaciones debido a que el cobre es un buen conductor, además de que el metal es fácil de manipular y barato.

El área transversal se prefirió circular para facilitar el contacto de las mismas con ánodos y cátodos. Además, se optó por tubería para hacer más ligero el sistema, lo que de todas formas no interfiere en la calidad en los resultados, debido al tamaño del tanque usado, pues éste, en comparación con los empleados en la industria, es muy pequeño, por lo que sus requerimientos de energía son relativamente bajos.

3.8.3 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES

- Longitud de las barras

El largo de las barras se determinó de acuerdo a la medida del tanque y las necesidades adicionales que requirieron las barras para el conexionado con la fuente de alimentación, en este caso, se colocaron transversalmente con una longitud total de:

$$L_{total} = l_B + 2t \quad (3.1)$$

Donde:

L_{total} = longitud total de cada barra.

l_B = a distancia entre soportes.

t = la tolerancia para el conexionado.

Sustituyendo:

$$L_{total} = 28cm + 2(3)cm$$

$$\underline{\underline{L_{total} = 34cm}}$$

- Cálculo del diámetro de las barras:

Este cálculo se realizó en unidades de longitud en el sistema inglés (pulgadas), debido a que son las unidades comerciales para las barras.

El diámetro se calculó considerando la máxima capacidad del tanque sin el forro, con el objetivo de que el diseño fuese más conservador, es decir; con una capacidad de 25 l .

Para una capacidad de 8 litros se recomienda un diámetro de $\frac{1}{4}$ plg, mientras que para 64 l un diámetro de 1 plg . Por lo que se realizó una interpolación:

$$x = \left[\frac{(25 - 8)l}{(64 - 8)l} \right] (1 - 0.25)plg + 0.25plg$$

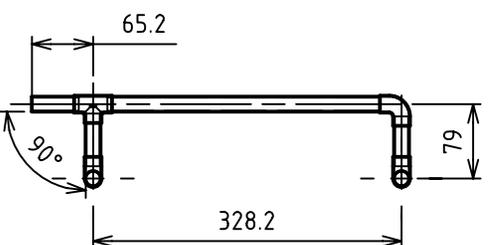
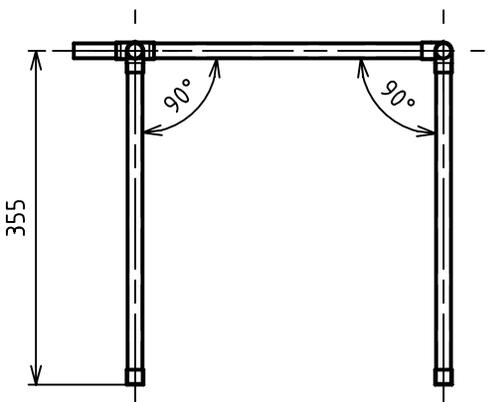
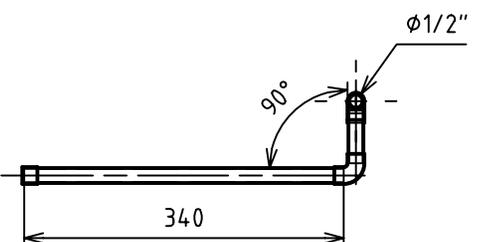
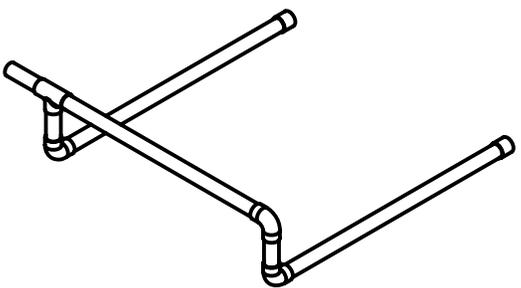
$$\underline{\underline{x = 0.4776plg}}$$

La medida existente comercial más cercana es la de $\frac{1}{2}$ plg. La configuración de las barras conductoras (equipo electrolítico) se muestra en el dibujo de detalle (Figuras 3.9 y 3.10).

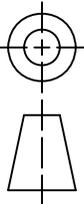
3.8.4 ACCESORIOS DE SUJECCIÓN

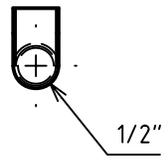
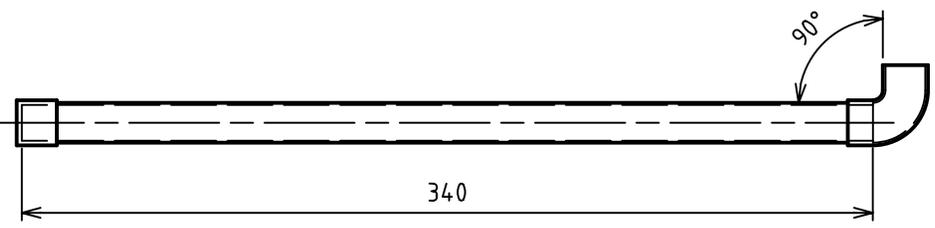
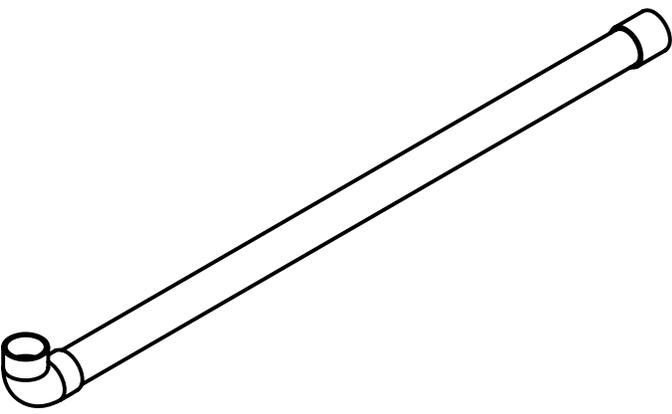
Para los contactos necesarios en la instalación, se decidió emplear accesorios de tubería de cobre usados en plomería, como son codos, tapones y uniones, de la misma medida de las barras conductoras $\frac{1}{2}$ plg.

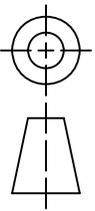
En el caso de la sujeción de las barras conductoras al tanque, se diseñaron soportes en forma de chumaceras (Figura 3.11), lo que permite a las barras poder ser removidas

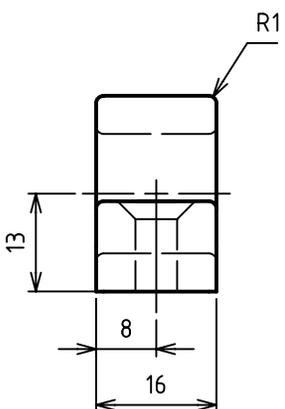
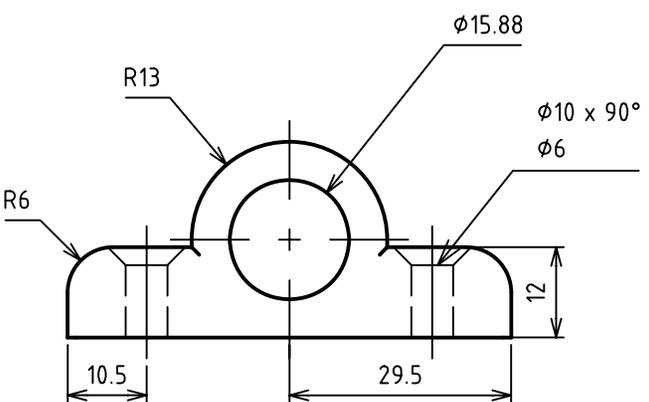
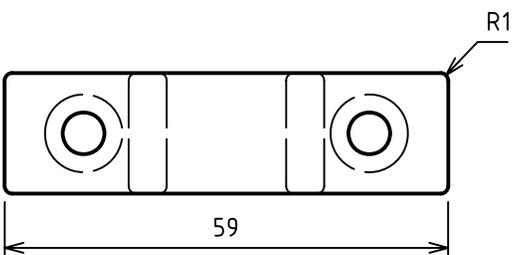
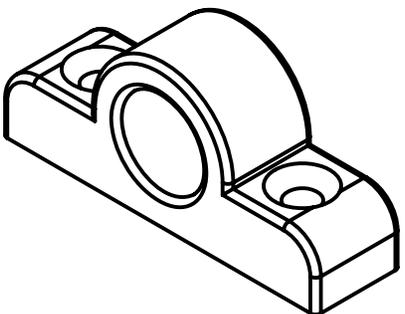


ESC: 1:8	UNAM FESC-C4 I.M.E.	ELIZABETH LOPEZ LOPEZ ALONSO ROJAS AVALOS
ACOT: mm	BARRA ANÓDICA	
MATERIAL: TUBOS Y ACCESORIOS DE COBRE DE 1/2" PLG		
REVISÓ: F.D.C.R.		FIGURA 3.9





ESC: 1:3	UNAM FESC-C4 I.M.E.	ELIZABETH LOPEZ LOPEZ ALONSO ROJAS AVALOS
ACOT: mm	BARRA CATÓDICA	REVISÓ: F.D.C.R.
	MATERIAL: TUBOS Y ACCESORIOS DE COBRE DE 1/2 PLG	FIGURA 3.10



<p>ESC: 1:1</p> <p>ACOT: mm</p> 	<p>UNAM FESC-C4 I.M.E.</p>	<p>ELIZABETH LOPEZ LOPEZ ALONSO ROJAS AVALOS</p>	<p>REVISÓ: F.D.C.R.</p>
<p>SOPORTE</p> <p>MATERIAL: FIBRA DE VIDRIO</p>			
<p>FIGURA 3.11</p>			

para su limpieza luego de haber niquelado. Se eligió como material a la fibra de vidrio, debido a que las barras conductoras sirven como apoyo para levantar y manipular el tanque.

3.9 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

En un proceso de depósito electrolítico, es imprescindible una fuente de corriente directa de bajo voltaje. En el caso del niquelado y considerando la composición de la cuba y de las piezas a niquelar el rango de voltaje va de 4 V a 10 V, cuya potencia depende de la temperatura de trabajo, el tipo de ánodos utilizados, el tamaño del cátodo, es decir, de la(s) pieza(s) a recubrir, así como de la distancia entre ánodos y cátodos.

3.9.1 DISPOSITIVOS DISPONIBLES

Existen diferentes opciones para alimentar el sistema de electrodeposición, como es el caso de uso de generadores, rectificadores y baterías acumuladoras. Cada una de estas ofrece ventajas y desventajas, dependiendo de factores como: tamaño de la cuba, dimensión de la pieza a recubrir, tipo de electrodeposición, etc. Por lo que se mencionan los usos más comunes de estas opciones a continuación:

- Generadores, se emplean cuando se tiene que distribuir corriente a grandes distancias.
- Rectificadores, son necesarios debido a que la energía eléctrica se distribuye a las plantas en forma de corriente alterna a 110 V o 220 V, y para poder usarla en galvanoplastia es necesario rectificarla, cambiándola a corriente directa y usar un transformador reductor para reducir el voltaje.
- Baterías, debido al alto costo que representa la instalación de generadores o rectificadores, el uso de baterías acumuladoras resulta muy práctico para experimentos en pequeña escala y electrodeposiciones ocasionales, ya que pueden proveer alto amperaje por periodos no muy prolongados.

- Fuentes de voltaje, sustituyen a las baterías acumuladoras, sobre todo para tanques pequeños y electrodeposición ocasional, aunque presenta la gran desventaja, al igual que en las baterías acumuladoras la dificultad de regular la intensidad de corriente, que es de suma importancia en este proceso.

3.9.2 CRITERIO DE ELECCIÓN

Se decidió que este proyecto estuviera alimentado con una fuente de poder, tomando en cuenta las características de las fuentes mencionadas anteriormente, como son la capacidad del tanque y la frecuencia de uso que se le pretende dar.

Se sabe también que este dispositivo presenta la desventaja de no regular la corriente, que en esta aplicación es de suma importancia, por lo que se resolvió adaptar al circuito una resistencia variable de 10Ω , con una potencia de 100 W, para darle una tolerancia del 40%; además, de un ventilador que permitiera a la resistencia disipar el calor de una manera segura, evitando dañar a algún componente. El ventilador se decidió con una entrada de 127 V, para que pudiera ser conectado directamente de la fuente, asegurando así, su funcionamiento adecuado cada vez que entre en operación.

3.9.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA

En la práctica se emplean 6V, con $(0.5 - 3.0)A/dm^2$. Esta regla se aplica a tanques relativamente pequeños, con una capacidad de ánodos menor a $1m^2$ y tiene un comportamiento lineal. El área máxima de las piezas a recubrir fue de $2dm^2$. Las cantidades de energía demanda fueron:

4 V y 10 V, con un rango de corriente entre $(1.0 - 6.0)A$

Entonces, la potencia máxima de la fuente se obtiene considerando los valores máximos de voltaje y corriente:

$$Pot_{mx} = V_{mx} I_{mx} \quad (3.2)$$

Donde:

Pot_{mx} = potencia máxima.

V_{mx} = voltaje máximo.

I_{mx} = corriente máxima.

Sustituyendo:

$$Pot_{mx} = (10V)(6A)$$

$$\underline{\underline{Pot_{mx} = 60W}}$$

3.10 ELECCIÓN DEL CALENTADOR DE LA SOLUCIÓN

Para baños de níquel, los calentadores recomendados son de algún material, que por sus propiedades, no contamina la solución, por ejemplo: titanio, tantalio, cuarzo, teflón y vidrio. Cada uno de estos materiales soporta una potencia determinada.

3.10.1 CRITERIO DE ELECCIÓN

Para una elección acertada del calentador, es necesario conocer la potencia necesaria para cada caso específico, ya que en cada aplicación se requiere de una potencia específica, de acuerdo al tipo de baño a realizar y a las características propias del tanque, como son, el volumen máximo del electrolito y la cantidad de sales en la solución contenida, ya que a mayor cantidad de sales en una solución, mayor calor específico, lo cual, directamente incrementa la potencia necesaria para elevar continuamente la temperatura del electrolito hasta alcanzar la temperatura de trabajo, en este caso, con un rango de operación de $45^{\circ}C$ a $70^{\circ}C$.

3.10.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA

La transferencia de calor al electrolito también varía en función de la forma del calentador, su ubicación y de la relación potencia-superficie que éste posea, ya que si un calentador tiene dimensiones pequeñas y entrega una potencia alta, se puede producir un exceso de calor en una zona pequeña de contacto, impidiendo la unificación de la temperatura en el resto de la solución, por lo que el área de contacto debe ser lo mayor posible, de tal forma que el calentamiento sea eficiente. Otro aspecto importante

son las pérdidas de calor que se presentan en los sistemas de electrodeposición, como son:

1. Pérdidas de calor por la disipación a nivel superficial del electrolito.
2. Pérdidas adicionales por ventilación o aspiración del ambiente de trabajo.
3. Enfriamiento de la solución por sistemas de bombeo, ya sea agitación mecánica o por aire.
4. Pérdidas de calor por falta de aislamiento térmico del tanque.
5. Pérdidas de calor por inmersión de piezas a una temperatura inferior a la del electrolito.

Para fines prácticos, los cálculos de la potencia contemplaron los aspectos mencionados en el apartado de criterio de elección, subtema 3.10.1, así como los cuatro primeros puntos anteriores, pues las pérdidas de calor debidas a la inmersión de piezas con una temperatura inferior a la temperatura del electrolito, se consideran despreciables.

El cálculo de la potencia necesaria debida al contenido de sales se realizó con ayuda de la siguiente fórmula:

$$P_w = P_v \cdot C_\varepsilon \cdot \Delta t \cdot K \quad (3.3)$$

Donde:

P_v = peso del volumen a calentar expresado en kilogramos (Kg); el cuál es necesario calcular primero, ya que está en función de las siguientes variables:

$$P_v = (V_s \cdot C_s) + P_t \quad (3.4)$$

Donde:

V_s = volumen de la solución expresado en litros (l)

C_s = concentración de sales expresada en kilogramos por litro (kg/l)

P_t = peso de la solución contenida en el tanque, se expresa en litros (l)

C_ε = calor específico del líquido.

Δt = variación de la temperatura existente entre la que debe alcanzar el electrolito menos la temperatura ambiente 22 °C, expresada en (°C).

K = factor que determina la rapidez con la que se calienta la solución. Es una constante de conversión, que normalmente su valor puede fijarse entre 0.1 y 1, siendo habitual fijarla a $K = 0.3$

Cálculo de la potencia necesaria para un baño de níquel brillante.

La concentración de sales fue la siguiente:

Sulfato de níquel $220 \frac{g}{l}$

Cloruro de níquel $60 \frac{g}{l}$

Ácido bórico $45 \frac{g}{l}$

$$C_s = \sum \text{sales}$$

$$C_s = (0.220 + 0.060 + 0.045) \text{kg} / l$$

$$\underline{\underline{C_s = 0.325 \frac{kg}{l}}}$$

Volumen de la solución:

$$\underline{\underline{V_s = 20l}}$$

El peso de la solución contenida en el tanque, para fines prácticos, se calculó como si todo el líquido fuera agua, es decir, su densidad es 1.

$$\underline{\underline{P_t = 20kg}}$$

Teniendo todas las variables necesarias, calculamos el peso del volumen a calentar:

$$P_v = (V_s \cdot C_s) + P_t$$

$$P_v = [(20l)(0.325 \text{kg} / l)] + 20 \text{kg}$$

$$\underline{\underline{P_v = 26.50 \text{kg}}}$$

El calor específico del líquido a calentar, también se tomó como si el contenido fuese agua solamente, por lo que es igual a 1.

$$\underline{\underline{C_{\varepsilon} = 1}}$$

La temperatura del electrolito para el níquel se recomienda de 60 °C

$$\underline{\underline{T_E = 60^{\circ} C}}$$

La temperatura del medio ambiente se consideró de 22 °C

$$\underline{\underline{T = 22^{\circ} C}}$$

La variación de la temperatura es:

$$\Delta t = T_E - T$$

$$\Delta t = (60 - 22)^{\circ} C$$

$$\underline{\underline{\Delta t = 38^{\circ} C}}$$

La rapidez con la que se calienta la solución es una constante de conversión, que vale 0.3

$$\underline{\underline{K = 0.3}}$$

Finalmente, la potencia necesaria para calentar el electrolito fue:

$$P_w = P_v \cdot C_{\varepsilon} \cdot \Delta t \cdot K$$

$$P_w = (26.50)(1)(38)(0.3)$$

$$\underline{\underline{P_w = 302.10W}}$$

Potencia necesaria para elevar la temperatura de la solución de un baño de níquel a la temperatura de trabajo.

El efecto debido a la pérdida de temperatura por disipación a nivel superficial del electrolito correspondiente a un sistema en un ambiente sin ventilación, con pérdidas generadas por simple disipación de calor a través de la superficie abierta de la cuba, se encuentra tabulado en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2 Tabla de pérdidas de temperatura en un ambiente sin ventilación. ^[16]	
PÉRDIDAS DE POTENCIA	
50 °C	135 [W/m ²]
65 °C	270 [W/m ²]
80 °C	450 [W/m ²]
95 °C	680 [W/m ²]

La temperatura de trabajo para este proyecto fue de 60°C, por lo que se tuvo la necesidad de interpolar:

$$x = \left[\frac{60 - 50}{65 - 50} \right] \left[(270 - 135) \frac{W}{m^2} \right] + \left[135 \frac{W}{m^2} \right]$$

$$\underline{\underline{x = 225W / m^2}}$$

Son las pérdidas en cada m^2 de un sistema sujeto a las condiciones de trabajo descritas anteriormente, con una temperatura de 60 °C.

Obtención del área del tanque para conocer las pérdidas reales debidas a la disipación de temperatura a nivel superficial:

Paredes rectangulares y fondo.

$$\boxed{A = bh} \tag{3.5}$$

Donde:

A = área de una cara del tanque

b = base de la pared rectangular

h = altura de la pared rectangular

Sustituyendo:

$$A = (0.40m)(0.25m)$$

$$\underline{\underline{A = 0.1m^2}}$$

[16] Claudio Rodríguez Pedro. *Galvanoplastia aplicada. Teoría y práctica*. Buenos Aires, Alsina, 1998, pág. 21.

Las dos paredes rectangulares y el fondo del tanque tienen las mismas dimensiones, por lo que:

$$A_1 = 3A \quad (3.6)$$

Donde:

A_1 = área de las tres paredes rectangulares del tanque.

Sustituyendo:

$$A_1 = (3)0.1m^2$$

$$\underline{\underline{A_1 = 0.3m^2}}$$

Paredes cuadradas del tanque.

$$A_2 = l^2 \quad (3.7)$$

Donde:

A_2 = área de una cara cuadrada del tanque

l = longitud de un lado

Sustituyendo:

$$A_2 = (0.25m)^2$$

$$\underline{\underline{A_2 = 0.0625m^2}}$$

El tanque cuenta con dos caras cuadradas, por lo que:

$$A_3 = 2A_2 \quad (3.8)$$

Donde:

A_3 = área de las dos paredes cuadradas

Sustituyendo:

$$A_3 = (2)0.0625m^2$$

$$\underline{\underline{A_3 = 0.125m^2}}$$

El área total, se calcula con la siguiente formula.

$$A_{mx} = A_1 + A_3 \quad (3.9)$$

Sustituyendo:

$$A_{mx} = (0.3 + 0.125)m^2$$

$$\underline{\underline{A_{mx} = 0.425m^2}}$$

Tomando en cuenta los factores que afectan a un sistema con una temperatura de 60 °C (Tabla 3.2) y un área de $0.425m^2$ se calcularon las pérdidas de calor de este sistema de electrodeposición. Según sus características:

$$\boxed{Perdidas_{totales} = PA_{MX}} \quad (3.10)$$

Donde:

P = pérdidas del sistema por cada m^2

Sustituyendo:

$$Pérdidas_{totales} = (225W / m^2)(0.425m^2)$$

$$\underline{\underline{Pérdidas_{totales} = 95.625W}}$$

Por lo que la potencia total del calentador es la sumatoria de la potencia máxima necesaria para alcanzar la temperatura de trabajo y las pérdidas de este sistema:

$$\boxed{Pot_{total} = Pérdidas_{totales} + P_W} \quad (3.11)$$

Donde:

Pot_{total} = potencia total requerida para alcanzar la temperatura de trabajo

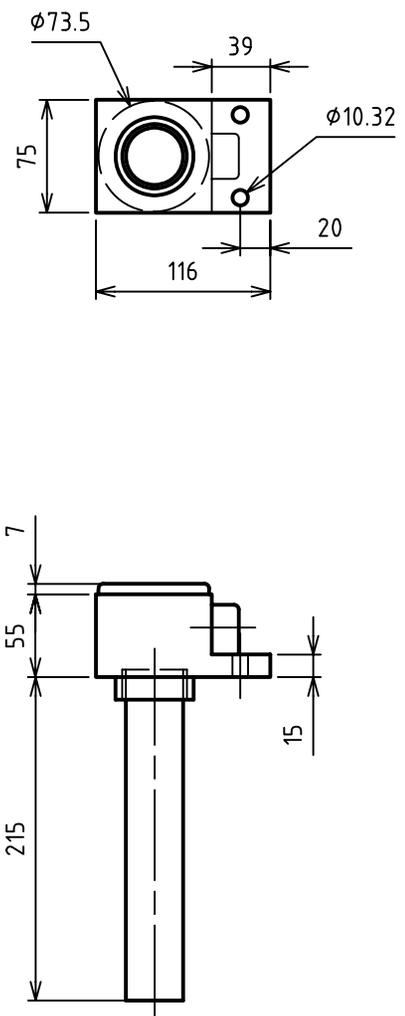
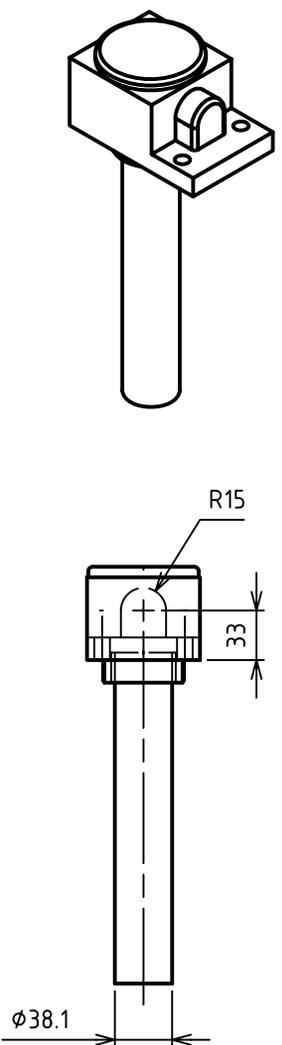
Sustituyendo:

$$Pot_{total} = [(95.625) + (302.1)]W$$

$$\underline{\underline{Pot_{total} = 397.73W}}$$

La potencia mínima requerida por el calentador es de 400 W aproximadamente, por lo que, se adquirió un calentador de 500 W, con una alimentación de 127 V de corriente alterna.

El brazo del calentador debe instalarse dentro del tanque, de tal forma que su zona de calor éste en contacto directo con el electrolito y la base del mismo, se asegure a la pestaña del tanque mediante dos tornillos de $\frac{1}{4}$ plg con arandelas (Figura 3.12).



ESC: 1:5 ACOT: mm		UNAM FESC-C4 I.M.E. CALENTADOR MATERIAL: TITANIO CON PLASTICO	ELIZABETH LOPEZ LOPEZ ALONSO ROJAS AVALOS
		REVISÓ: F.D.C.R. FIGURA 3.12	

3.11 AGITACIÓN

Frecuentemente se recomienda la agitación en las soluciones galvánicas para aumentar la uniformidad de la composición y permitir el uso de densidades más altas de corriente.

3.11.1 TIPOS DE AGITACIÓN

Existen dos formas comunes de agitación empleadas en los procesos de electrodeposición: mecánica y por aire.

La agitación por aire tiene la ventaja de poderse introducir en cualquier parte del tanque, y el grado de agitación puede controlarse con válvulas. Una desventaja que tiene es que al introducir el aire se forma en las soluciones una atmósfera oxidante, lo que puede acelerar reacciones químicas secundarias, que en algunos casos pueden ser perjudiciales. El aire suministrado deberá provenir de un soplador de baja presión o de un compresor de aire a un rango mínimo de $0.14\text{kg}/\text{cm}^2$ por cada metro de profundidad de la solución.

La agitación mecánica, puede lograrse ya sea por movimiento de los ánodos o de los cátodos, o de la solución por medio de revolvedores fuera del circuito. Para agitación mecánica el rango de movimiento debe ser de $4 - 6m \cdot \text{min}$

3.11.2 CRITERIO DE ELECCIÓN

Se decidió emplear un agitador de aire, debido que éste es el recomendado para tanques pequeños y ofrece la ventaja de ser más sencillo y económico, además de que ayuda a homogeneizar la temperatura en todo el electrolito, ya que el calentador elegido en este proyecto no es completamente sumergible.

3.11.3 CÁLCULO DE LA PRESIÓN REQUERIDA

Se decidió que el aire fuera suministrado por una bomba de baja presión, del tipo de bomba para pecera, con una capacidad mínima de $0.14\text{kg}/\text{cm}^2$ de presión por cada metro de profundidad de la solución.

Se consideraron las dimensiones reales del tanque $0.385m \times 0.235m \times 0.25m$ (tomando en cuenta el revestimiento), por lo tanto;

$$\text{Capacidad de la bomba} = \left[\left(0.14 \frac{kg}{cm^2} \right) (0.25m) \right] \div (1m)$$

$$\underline{\underline{\text{Capacidad de la bomba} = 0.035 \frac{kg_f}{cm^2}}}$$

Tomando en cuenta que comercialmente la presión de las bombas para pecera indican su valor en *psi*, se realizó la conversión correspondiente, obteniendo:

Factor de conversión: $1 \text{ psi} = 0.0703069 \text{ kg}_f / \text{cm}^2$

$$\left[\left(0.035 \frac{kg_f}{cm^2} \right) (1 \text{ psi}) \right] \div \left(0.0703069 \frac{kg_f}{cm^2} \right) = \underline{\underline{0.4978 \text{ psi} \approx 0.5 \text{ psi}}}$$

Lo que significa que la bomba debe tener una presión de al menos 0.5 psi .

3.11.4 DISEÑO DEL AGITADOR

El aire suministrado al tanque de este proyecto se llevara a cabo mediante tubería de un material que cumpliera con los requerimientos, que en forma general fueron:

- Permanecer inatacable por la solución, es decir, se evitó emplear metales, ya que esto produce contaminación en el electrolito.
- Ser resistente a la temperatura de trabajo, en este caso 60°C .

Por lo que se decidió emplear CPVC (Poli-Cloruro de Vinilo Clorinado) que cubre con las restricciones anteriores y además está disponible en diámetros tan pequeños como $\frac{1}{2}$ plg.

Es necesario un adaptador que permita la conexión entre el agitador y la manguera conectada a la bomba, para lo cual, se requiere cortar dos tramos de tubo del mismo material con una longitud de 4cm y 1.5cm , que a su vez se unan a un codo. El extremo

mas corto fue diseñado para acoplar un tapón a la manguera, mientras que el más largo va unido al cuerpo del agitador.

El cuerpo del agitador, es decir, la parte sumergible requiere de varios tramos de un tubo de CPVC de 1/2" CTS, de las siguientes longitudes: 19cm, 16cm, 22cm, 4cm y de 2cm.

Al tramo de tubo de 19cm se le realizan dos hileras de perforaciones con 1" de espaciamiento entre agujeros. El diámetro de las perforaciones debe ser lo menor posible, por lo que es recomendable el uso de una aguja para coser en lugar de una broca.

El agitador se coloca en la pestaña del tanque por medio de un soporte blanco de fibra de vidrio y se asegura con dos tornillos (Figura 3.13).

3.12 FILTRACIÓN

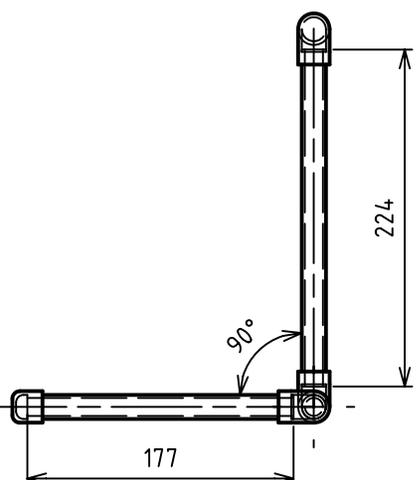
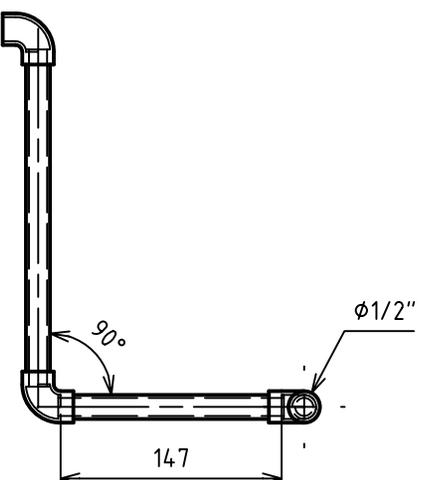
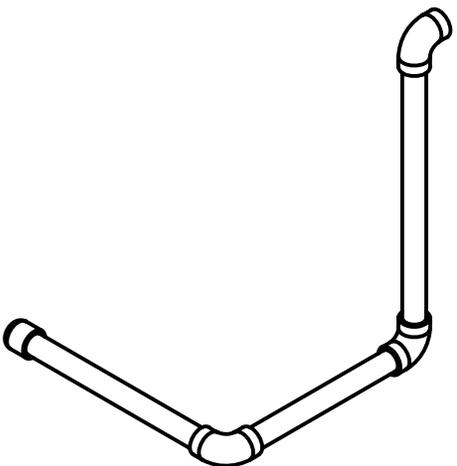
Cualquiera que sea el método que se use para agitación, representa el peligro de que las partículas de los ánodos permanezcan en suspensión originando asperezas en los cátodos. La aspereza puede ser contrarrestada en parte con el uso de bolsas alrededor de los ánodos o por frecuente o continua filtración de las soluciones.

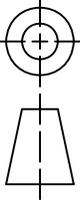
Se recomienda la construcción de un filtro adecuado para baños de níquel brillante, siempre y cuando el volumen de la solución sea superior a 500 l. El tanque es 20 veces menor, por lo que se prescindió del mismo.

3.13 BOLSAS ANÓDICAS

En un baño electrolítico se producen partículas metálicas como producto del ataque a los ánodos. Estos sólidos están suspendidos en la solución y pueden llegar a contaminar la cuba, por lo que es recomendable el uso de fundas de tela resistente a los productos químicos en los ánodos, de tal forma que los sólidos quedan retenidos en las fundas. Comercialmente se emplean bolsas de polipropileno para el caso de baños electrolíticos de níquel brillante.

El tamaño de las bolsas anódicas está en función del tamaño de las canastillas, por lo que se requieren dos bolsas con las dimensiones: 13.5 cm x 17.5cm, con jareta para



<p>ESC: 1:5</p> <p>ACOT: mm</p> 	<p>UNAM FESC-C4 I.M.E.</p>	<p>ELIZABETH LOPEZ LOPEZ ALONSO ROJAS AVALOS</p>	<p>AGITADOR</p> <p>REVISÓ: F.D.C.R.</p>
<p>MATERIAL: TUBOS, CODOS DE 90° Y TAPONES DE CPVC DE 1/2 PLG.</p>		<p>FIGURA 3.13</p>	

asegurar cada una a su respectiva canastilla y al mismo tiempo les permite ser removidas para su limpieza con facilidad.

3.14 CANASTILLAS (CONTENEDORES)

Es común el empleo de canastillas para alojar en su interior al metal recubridor. En los procesos anódicos se utilizan soportes de titanio, debido a que son inatacables por los productos químicos, aunque inicialmente resultan costosas.

3.14.1 CRITERIO DE ELECCIÓN

Se optó por el empleo de canastillas de titanio (Figura 3.14), debido a que de esta forma los ánodos de níquel se pueden aprovechar en su totalidad.

Otra ventaja que presenta el uso de canastillas es la facilidad de adaptar el área anódica efectiva a voluntad de acuerdo a las necesidades que requiere el cátodo.

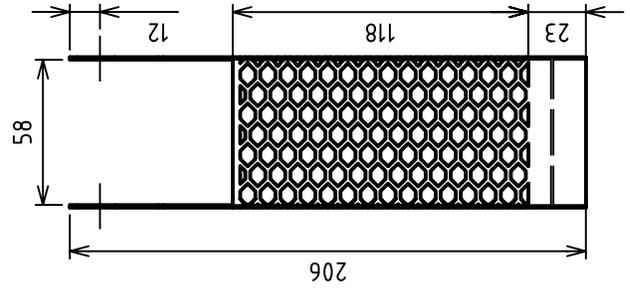
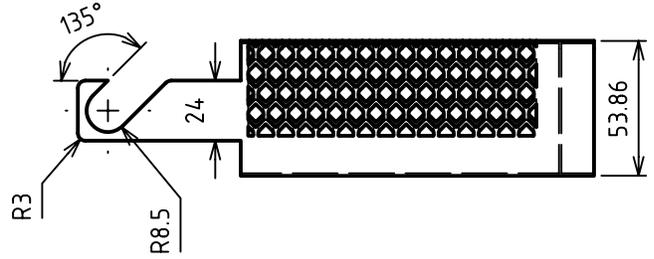
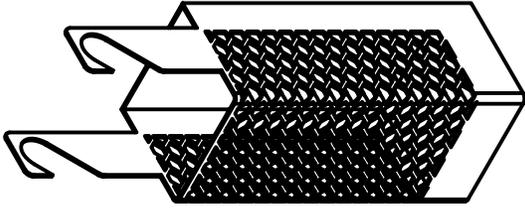
3.15 DISEÑO DEL MUEBLE

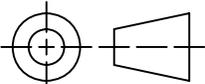
Los sistemas de electrodeposición se componen de varios elementos, cada uno de ellos, generalmente con instalación independiente.

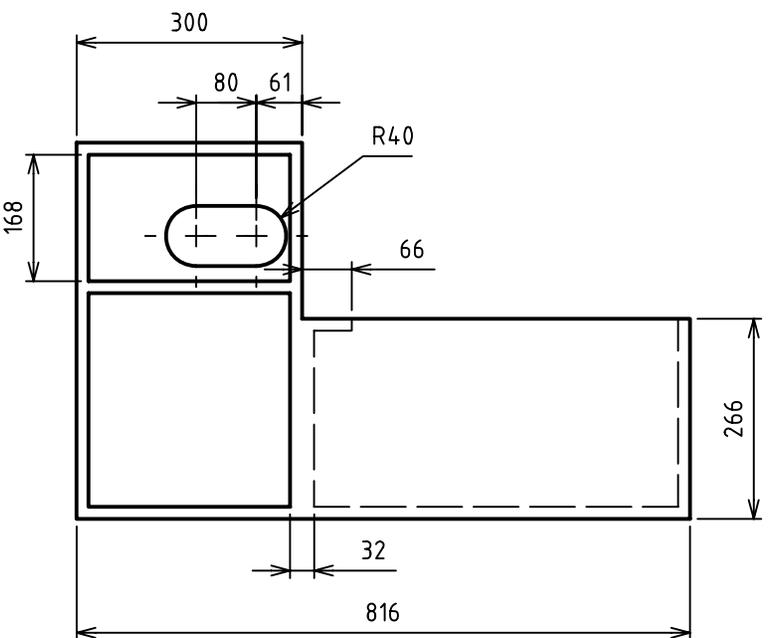
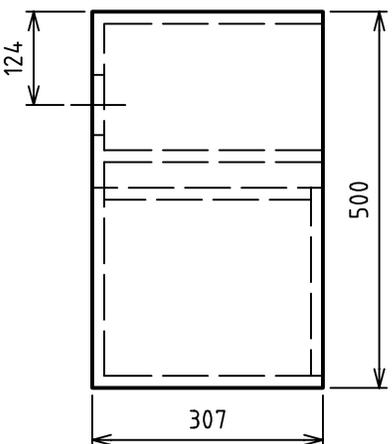
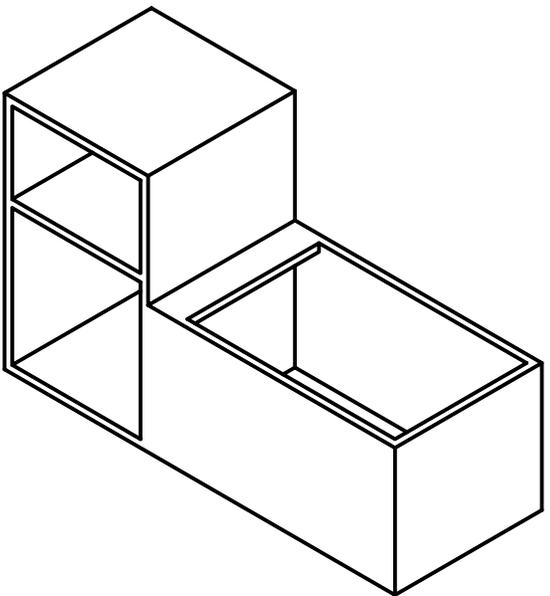
Este sistema de niquelado tiene por objetivos ser didáctico y práctico, motivo por el cual se resolvió que un mueble que contuviera a todo el sistema facilitaría su manipulación y su traslado de un lugar a otro dentro del laboratorio, además de garantizar su correcto funcionamiento en caso de que éste tuviese que ser removido de su lugar original (Figura 3.15).

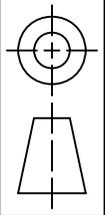
Se decidió el uso de una canaleta plástica en la parte posterior del mueble para guiar y proteger los cables que van conectados a las barras conductoras.

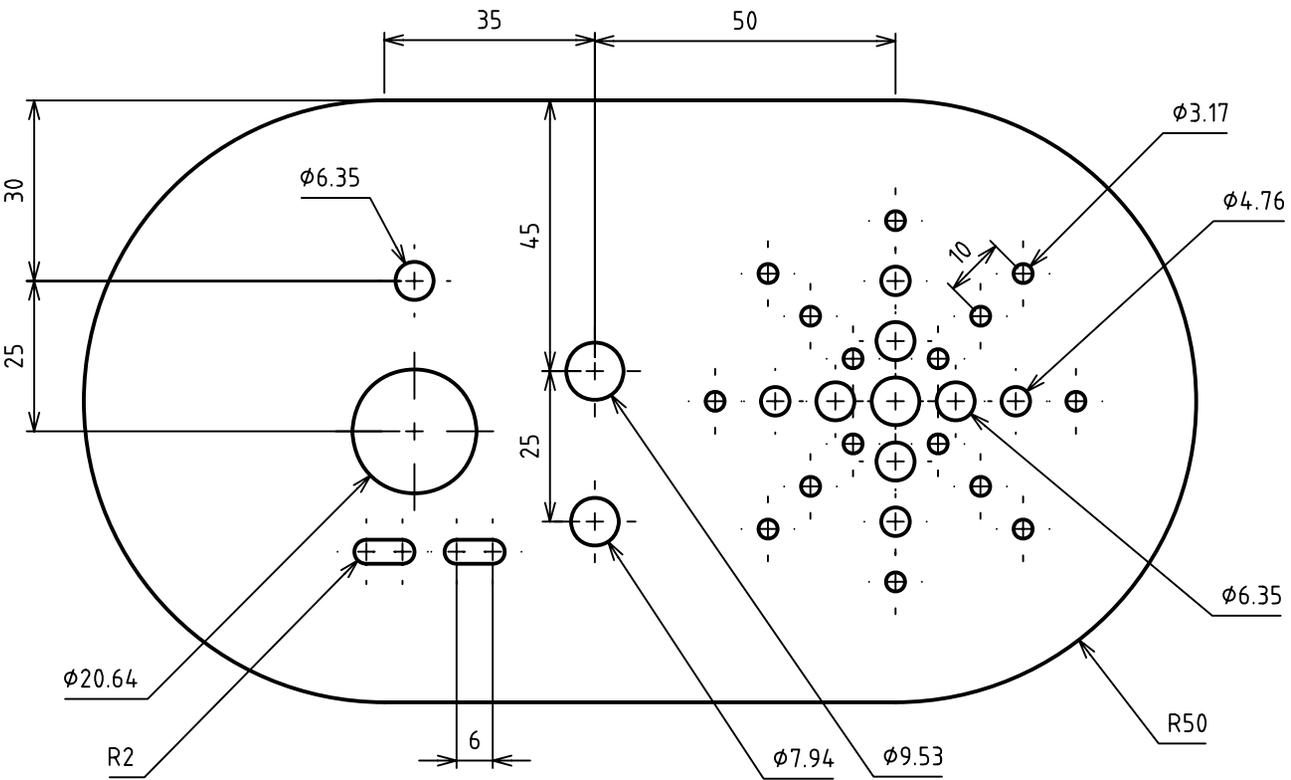
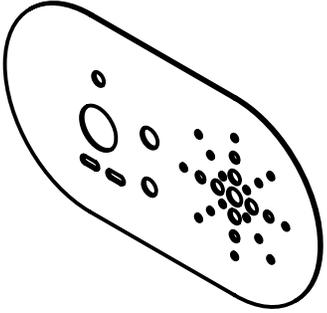
Adicionalmente, se requirió una placa metálica ubicada en la parte superior de la pared antes mencionada, con la finalidad de asegurar una adecuada posición de los cables de cada uno de los accesorios hacia el sistema eléctrico general del sistema (Figura 3.16).



ESC: 1:5	UNAM FESC-C4 I.M.E.	ELIZABETH LOPEZ LOPEZ ALONSO ROJAS AVALOS
ACOT: mm	CANASTILLA	REVISÓ: F.D.C.R.
	MATERIAL: TITANIO DE 1mm DE ESPESOR.	FIGURA 3.14

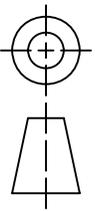


<p>ESC: 1:10</p> <p>ACOT: mm</p> 	<p>UNAM FESC-C4 I.M.E.</p>	<p>ELIZABETH LOPEZ LOPEZ ALONSO ROJAS AVALOS</p>
<p>MUEBLE</p> <p>MATERIAL: MELAMINA DE 16mm DE ESPESOR.</p>		<p>REVISÓ: F.D.C.R.</p>
<p>FIGURA 3.15</p>		



ESC: 1:1,25

ACOT: mm



UNAM FESC-C4 I.M.E.

ELIZABETH LOPEZ LOPEZ
ALONSO ROJAS AVALOS

PLACA TRASERA DEL MUEBLE

MATERIAL: LAMINA DE ACERO DE 1 mm DE ESPESOR

REVISÓ: F.D.C.R.

FIGURA 3.16

3.15.1 CRITERIO DE ELECCIÓN

Se optó por la utilización de conglomerado con recubrimiento de melamina. La elección del material se llevó a cabo considerando los siguientes factores:

- Permanecer inatacable por la solución, ya que el sistema maneja sustancias corrosivas.
- Ser económico
- Fácil construcción.
- Ser ligero.

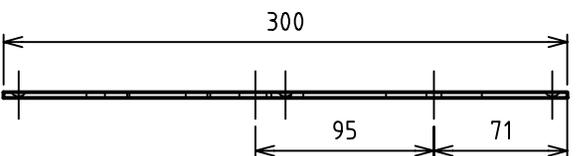
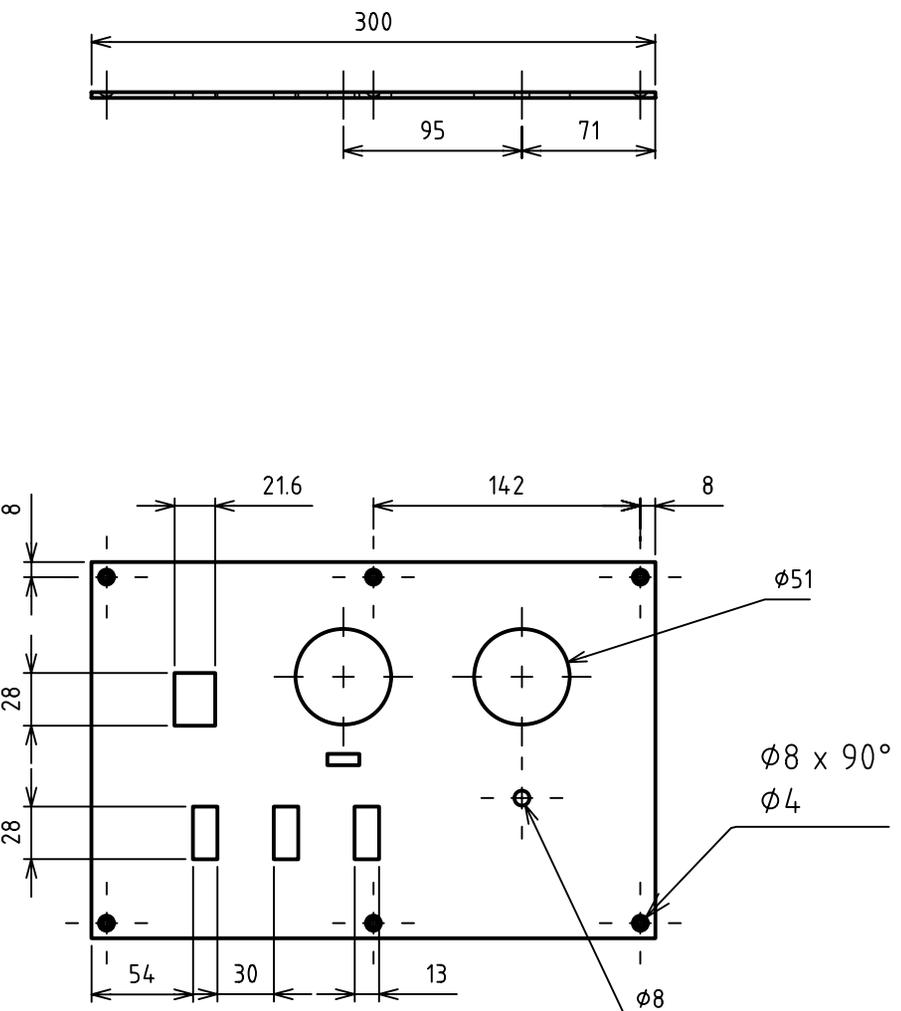
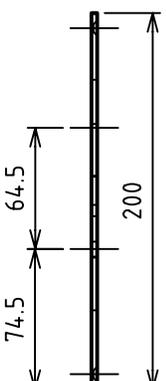
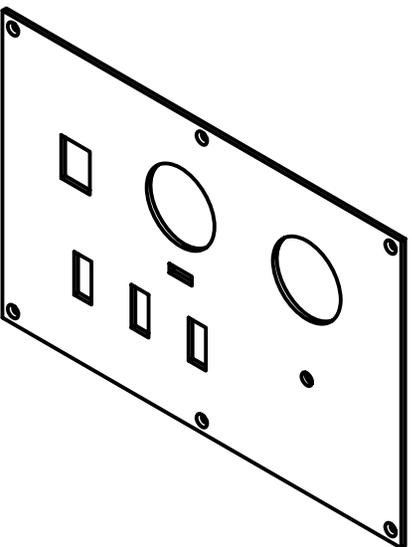
3.16 DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL

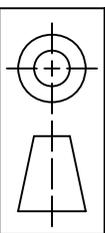
Se decidió que todos los elementos del sistema de electrodeposición que requieren energía eléctrica para operar, se accionaran desde un mismo panel, con la finalidad de controlarlos de manera eficaz. El panel de control fue diseñado para ser colocado en la parte superior del mueble.

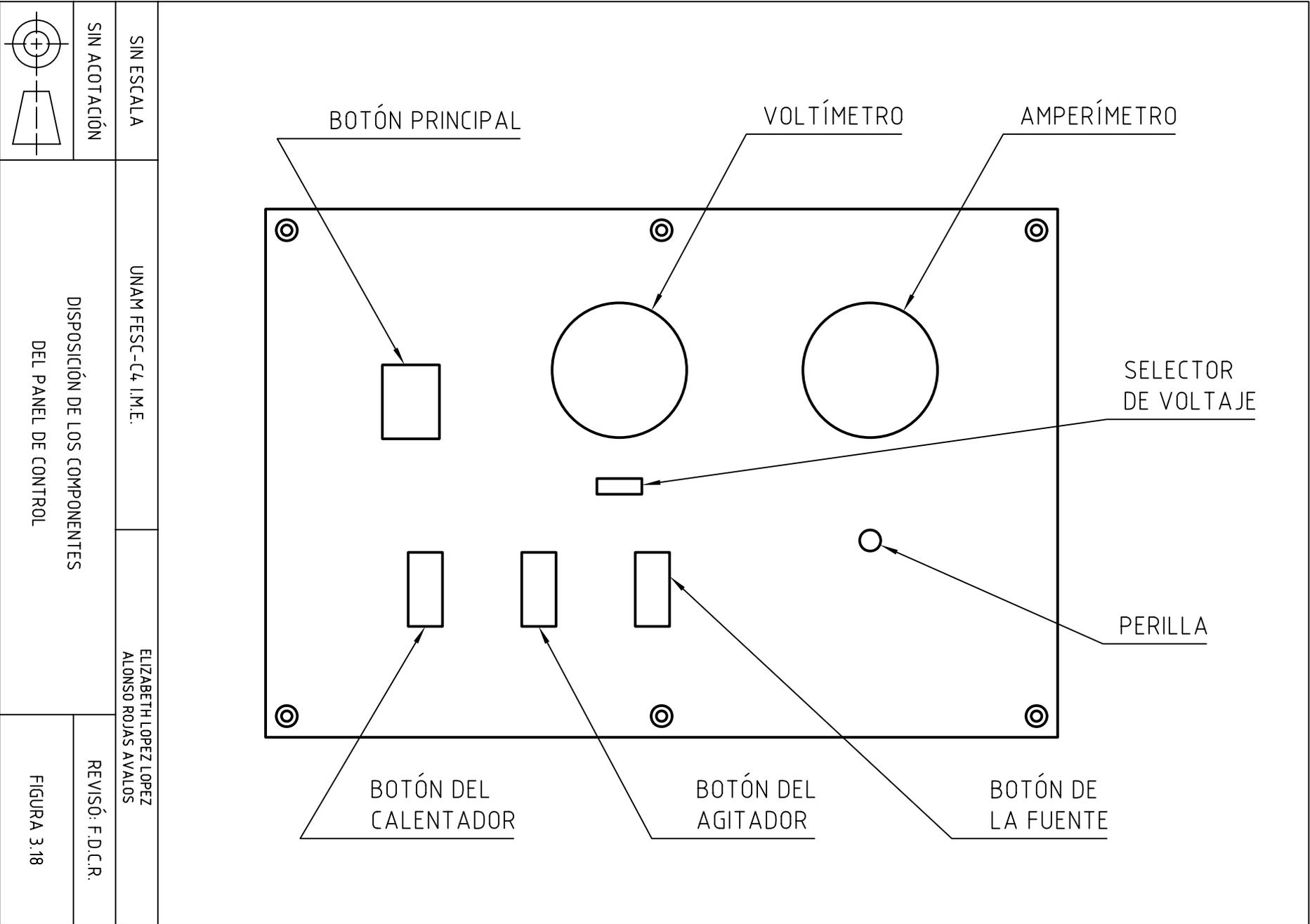
El panel de control contiene un botón principal de encendido y apagado que provee de alimentación eléctrica a todo el sistema, además de contar con botones de encendido individual para cada uno de los accesorios, dispuestos de la siguiente manera: calentador agitador y fuente, debido a que este es el orden en el que se encienden durante el proceso de operación.

Para facilitar el control del suministro de la energía, se incluyeron dos carátulas: un voltímetro y un amperímetro, el primero con la opción de alternar entre dos valores relativos de diferencia de potencial: un bajo y un alto voltaje, mientras que el amperímetro ilustra la variación del amperaje que es controlado manualmente a través de una perilla.

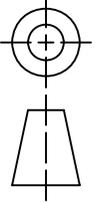
La disposición de los accesorios y las dimensiones del panel se aprecian en sus respectivos dibujos de detalle (Figuras 3.17 y 3.18).



<p>ESC: 1:4</p> <p>ACOT: mm</p> 	<p>UNAM FESC-C4 I.M.E.</p> <p>PANEL DE CONTROL</p> <p>MATERIAL: PLÁSTICO DE 3 mm DE ESPESOR</p>	<p>ELIZABETH LOPEZ LOPEZ</p> <p>ALONSO ROJAS AVALOS</p>	<p>REVISÓ: F.D.C.R.</p> <p>FIGURA 3.17</p>
---	---	---	--



SIN ESCALA
SIN ACOTACIÓN



UNAM FESC-C4 I.M.E.

ELIZABETH LOPEZ LOPEZ
ALONSO ROJAS AVALOS

DISPOSICIÓN DE LOS COMPONENTES
DEL PANEL DE CONTROL

REVISÓ: F.D.C.R.

FIGURA 3.18

3.17 CONEXIONADO DEL SISTEMA (DIAGRAMA GENERAL)

Los elementos eléctricos del sistema de electrodeposición se vinculan entre sí a través de un sistema eléctrico general (Figura 3.19) que se opera desde el panel de control.

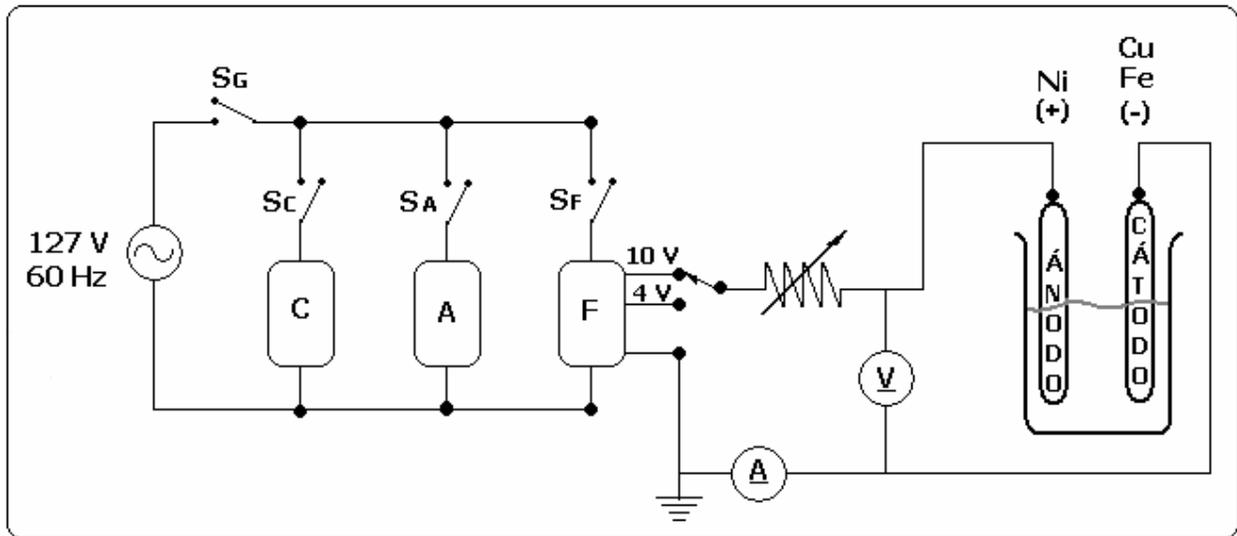


Figura 3.19 Esquema que representa el conexionado eléctrico general.

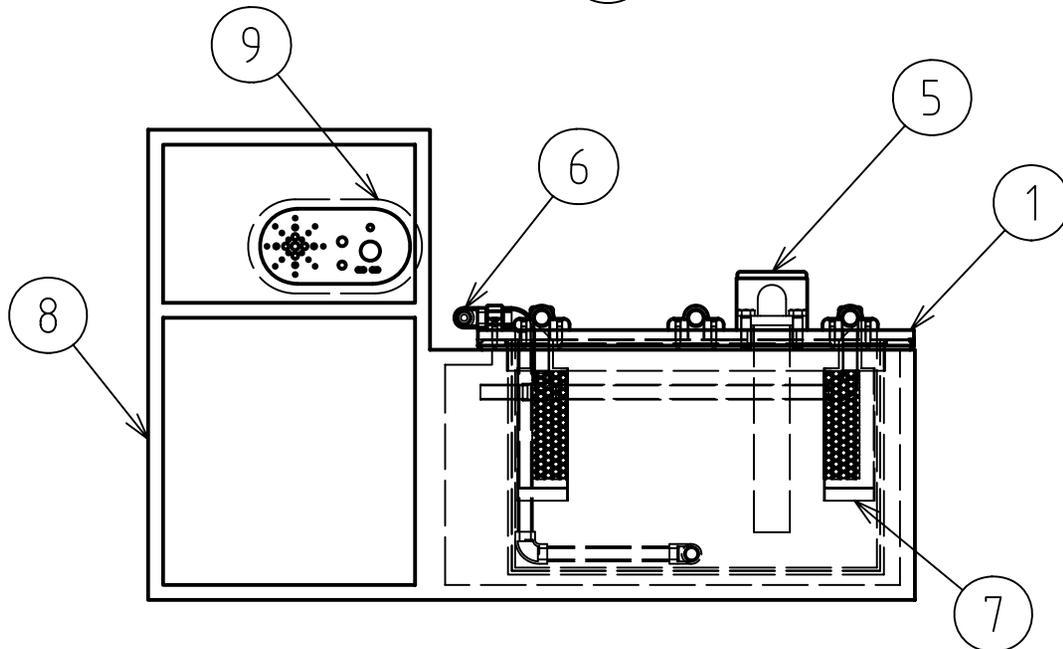
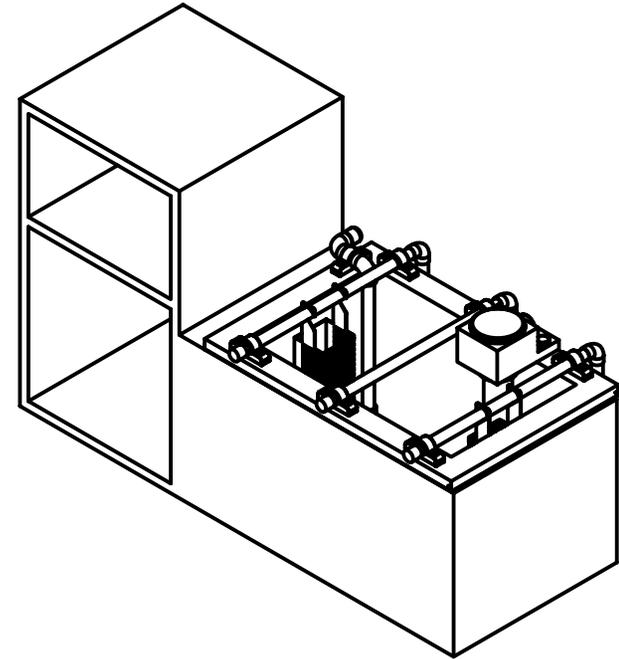
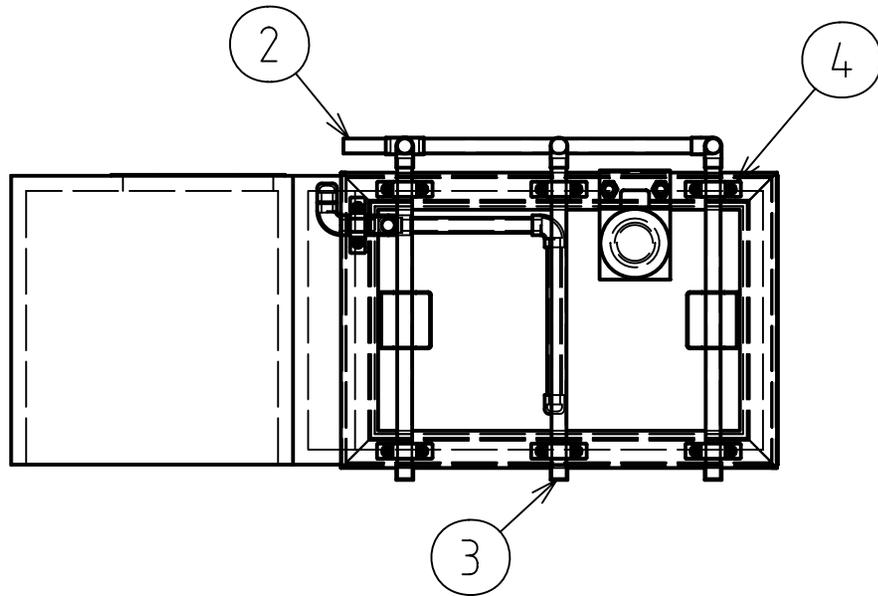
En seguida se da una breve explicación de cada uno de los elementos que intervienen en el diagrama anterior, donde:

- C, calentador de titanio de 600 W, con un termostato de 30°C a 110 °C y con foco piloto en rojo.
- A, agitador de CPVC, unido a una bomba de 0.5 psi.
- F, fuente Magitronic switching power, modelo D-P451. Entrada: de 120V -7A y salida de: 4V-26A y 10V-9A.
- S_G, interruptor general del sistema: de balancín, dos polos, dos tiros y dos posiciones, a 16A-127/250V, con foco piloto en color azul.
- S_C, interruptor del calentador, con balancín y foco piloto en color rojo, a 15A-127VCA. Un polo, un tiro y dos posiciones.

- S_A , interruptor del agitador, con balancín y foco piloto en color rojo, a 15A-127VCA. Un polo, un tiro y dos posiciones.
- S_F , interruptor de la fuente de poder, con balancín y foco piloto en color rojo, a 15A-127VCA. Un polo, un tiro y dos posiciones.

Los accesorios están conectados en paralelo para permitir su funcionamiento independiente. Cada uno de ellos cuenta con un interruptor propio, además del interruptor general del sistema, mismo que se adoptó como medida de seguridad para quien lo opere, en caso de presentarse cualquier incidente. La alimentación del sistema es de 127V de corriente alterna. En la parte que corresponde a la electrólisis circula corriente continua entregada en la salida de la fuente (F).

El dibujo de conjunto muestra la manera en la que se dispone cada elemento del sistema de electrodeposición (Figura 3.20).



9	1	PLACA TRASERA DEL MUEBLE	ACERO	
8	1	MUEBLE	MELAMINA	
7	2	CANASTILLA	TITANIO	
6	1	AGITADOR	CPVC	
5	1	CALENTADOR	TITANIO	Ver Figura 3.12 para materiales
4	7	SOPORTE	FIBRA DE VIDRIO	
3	1	BARRA CATÓDICA	COBRE	Tubo y accesorios de 1/2 plg
2	1	BARRAS ANÓDICAS	COBRE	Tubo y accesorios de 1/2 plg
1	1	TANQUE	ACERO	Ver Figura 3.15 para materiales
No.	CANT.	DESIGNACIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES

SIN ESCALA	UNAM FESC-C4 I.M.E.	ELIZABETH LÓPEZ LÓPEZ ALONSO ROJAS AVALOS	
ACOT:	DIBUJO DE CONJUNTO	REVISÓ: F.D.C.R.	
		FIGURA 3.20	

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ELECTRODEPOSICIÓN

...En general, el resultado del trabajo de un ingeniero es algo tangible: un aparato físico, una estructura o un proceso.
EDWARD KRICK V.

Luego del proceso del diseño, el proyecto se sometió a la etapa de construcción, donde se tuvo la oportunidad de trasladar la propuesta teórica a la realidad.

En condiciones normales, esta etapa está a cargo de personal especializado en la(s) técnica(s) empleada(s), apegándose a las especificaciones que aparecen en los dibujos de detalle, mientras que la función de los ingenieros consiste en coordinar y supervisar el proyecto.

La construcción se llevó a cabo en base al capítulo de diseño, por lo que no se mencionan las dimensiones de cada uno de los elementos que fueron construidos.

Como era de esperarse, durante esta etapa se presentó la necesidad de hacer algunos cambios al diseño original, mismos que se llevaron a cabo en la marcha y no se registraron como tales en este trabajo, debido a que las modificaciones se hicieron paralelamente a los ajustes del diseño final.

A nivel industrial, la etapa de la construcción tiene como resultado un prototipo, que está sujeto a varios periodos de prueba y a muchas modificaciones, en este proyecto por razones económicas, las correcciones necesarias fueron definitivas.

4.1 CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE

1. Se cortaron las paredes laterales, frontales y el fondo de la lámina de acero de bajo carbono.
2. Las paredes y el fondo se soldaron para formar el cuerpo del tanque. La pestaña se colocó alrededor de éste y también fue soldada (Figura 4.1).



a) Vista frontal del tanque; b) Vista superior del tanque.

3. Para poder aplicar el recubrimiento interno de fibra de vidrio, se preparó previamente la superficie del tanque removiendo la pintura de ésta (Figura 4.2).



a) Aplicación de removedor de pintura; b) Desprendimiento de la pintura con espátula.

4. Se lijó el interior del tanque y se lavó con jabón en polvo y agua para eliminar las impurezas y la grasa de las paredes, dejándose secar al aire libre (Figura 4.3).



a) Lavado final del interior del tanque; b) interior el tanque listo para la aplicación de la fibra de vidrio.

5. Para el revestimiento del tanque, una vez lista la superficie, se preparó la resina para fibra de vidrio, en la siguiente proporción: por cada 5ml de resina se le agregaron 7 gotas de catalizador (esta proporción se empleó a lo largo de todo el proceso de construcción). Se aplicó en cada una de las caras interiores del tanque, de tal forma que quedara un espesor de 0.5mm (Figura 4.4) y se dejó secar durante 15 minutos.



a) b)
Figura 4.4 a) Preparación de la resina; b) Aplicación de la solución preparada.

6. Se midieron varias secciones de fibra de vidrio de acuerdo a las dimensiones de las paredes (Figura 4.5).

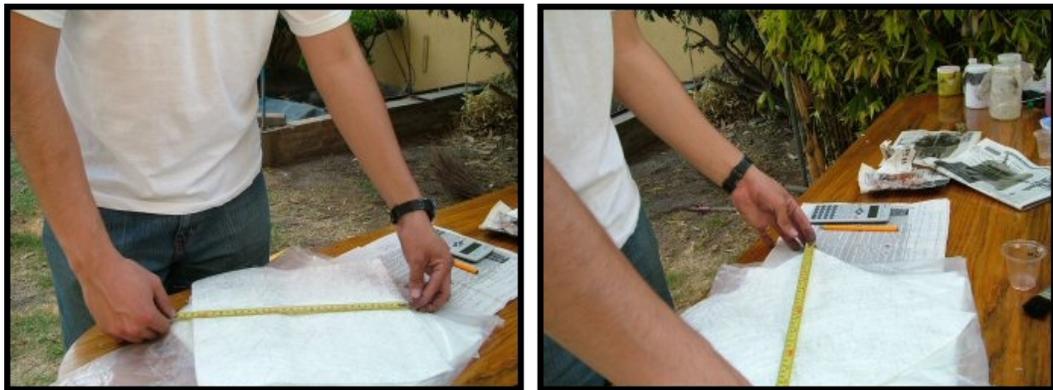


Figura 4.5 Medición de la fibra de vidrio.

7. Una vez preparada la resina, se colocó la fibra de vidrio y se vertió la resina sobre ésta, para adherirla a las paredes del tanque. Con ayuda de un rodillo aplicador se esparció uniformemente sobre toda la superficie de cada una de las paredes,

asegurándose de colocar adecuadamente la fibra de vidrio. Se dejó secar alrededor de 30 minutos (Figura 4.6).



Figura 4.6 a) Aplicación de resina sobre la fibra de vidrio; b) Homogenización de la resina.

- Se colocó la fibra de vidrio con la resina sobre la pestaña del tanque, con el procedimiento descrito en el paso anterior y se dejó secar durante 30 minutos (Figura 4.7).



Figura 4.7 a) Colocación de la fibra de vidrio en la pestaña del tanque; b) Adhesión de la resina en la pestaña.

- Después del tiempo de secado, se preparó el tanque para una segunda capa, en esta ocasión, fue únicamente con resina para aumentar el espesor del recubrimiento.
- Para proporcionarle una mejor apariencia al revestimiento, se aplicó otra capa de resina, pero esta vez con pigmento de color blanco (Figura 4.8).



a)

b)

Figura 4.8 a) Pigmento blanco sobre una cara del interior del tanque; b) Pared cuadrada con doble capa de pigmento.

11. Se repitió el paso anterior varias veces más hasta que se alcanzó un acabado uniforme en el interior del tanque, así como el tono deseado (Figura 4.9).



a)

b)

Figura 4.9 a) Interior del tanque con pigmento; b) Paredes con varias capas de resina y pigmento.

12. La caja se recubrió con resina, pigmento y una segunda capa de fibra de vidrio, para obtener un grosor uniforme (Figura 4.10).



Figura 4.10 Acabado en bruto de las pestañas recubiertas con fibra de vidrio.

13. El acabado final consistió en lijar la parte interna del tanque. Posteriormente se lavó la tina (Figura 4.11).

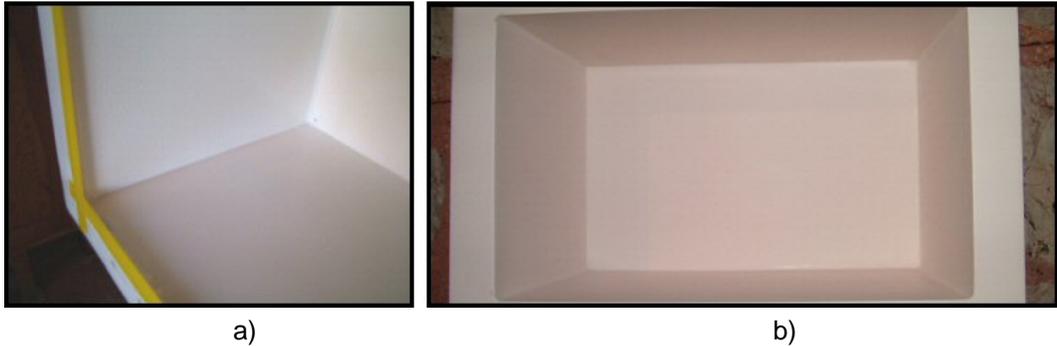


Figura 4.11 a) Interior de la tina con el acabado final; b) Pestaña con el acabado.

14. En la pestaña se realizaron los trazos de las perforaciones necesarias para la sujeción de los accesorios: los soportes para las barras anódicas y la barra catódica, así como para el calentador y el agitador. Después se hicieron las perforaciones y, se removió la pintura de las paredes exteriores del tanque usando el mismo método llevado a cabo para eliminar la pintura del interior del mismo (Figura 4.12).



Figura 4.12 a) Perforación de la tina; b) Tina con todas las perforaciones.

15. Se lijó la pestaña para eliminar las imperfecciones de las perforaciones y se lavó cuidadosamente.
16. Se llenó el tanque con una solución preparada al 5% de ácido sulfúrico en agua para neutralizar el tanque, dejándose reposar durante 72 horas (Figura 4.13).



a)

b)

Figura 4.13 a) Ácido sulfúrico; b) Ácido sulfúrico vertiéndose en agua.

- Una vez neutralizado, se lavó la parte exterior del tanque para eliminar restos de grasa y después se lijó.

Posteriormente, se aplicó una capa de pintura de aceite, la cual, además de mejorar su apariencia, tiene la función de proteger al tanque de un ataque corrosivo (Figura 4.14).



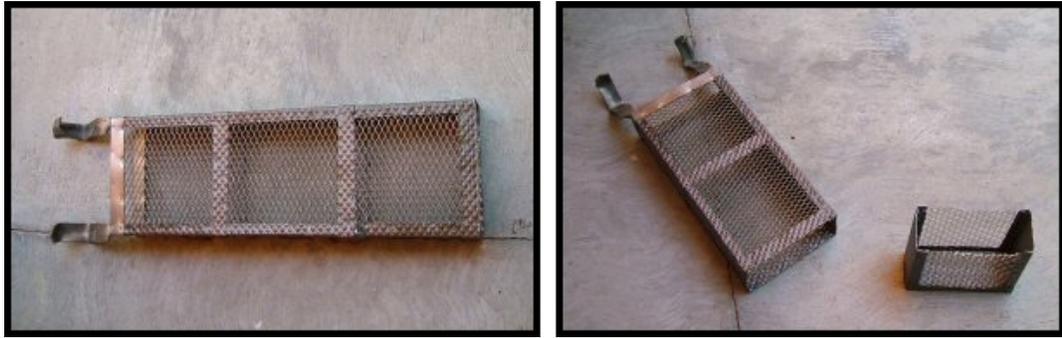
a)

b)

Figura 4.14 a) Tanque terminado vista lateral; b) Tanque terminado vista frontal.

4.2 CONSTRUCCIÓN DE LAS CANASTILLAS

- La canastilla de titanio comercial mas pequeña se tomó como base para realizar las canastillas con las dimensiones necesarias para este sistema. Como primer paso se cortó transversalmente la base de la original (Figura 4.15).



a)

b)

Figura 4.15 a) Canastilla original; b) Corte transversal de la misma.

2. En la parte obtenida se realizó un segundo corte, pero longitudinal para obtener dos piezas iguales. En la base de cada una de las piezas se recortó aproximadamente *2cm* de las paredes con malla y se doblaron éstas hacia el centro para formar el cuerpo de las nuevas canastillas (Figura 4.16).



a)

b)

Figura 4.16 a) Corte en la base para permitir el doblar; b) Formado del cuerpo.

3. Para cerrar el cuerpo de las canastillas obtenidas, se entrelazó la malla, de tal forma que adoptaran la forma de la canastilla comercial original (Figura 4.17).



Figura 4.17 Cuerpo cerrado de las nuevas canastillas

4. Se utilizó parte de la lámina de la canastilla original para hacer ganchos que permitieron colgar las canastillas realizadas en las barras anódicas. Para hacer estas agarraderas, se cortaron tiras de 2cm de ancho por 10cm y se doblaron para darles forma, además de que se les realizaron dos cortes en forma de triángulo a 2cm de la base para facilitar la sujeción a las paredes laterales (Figura 4.18).

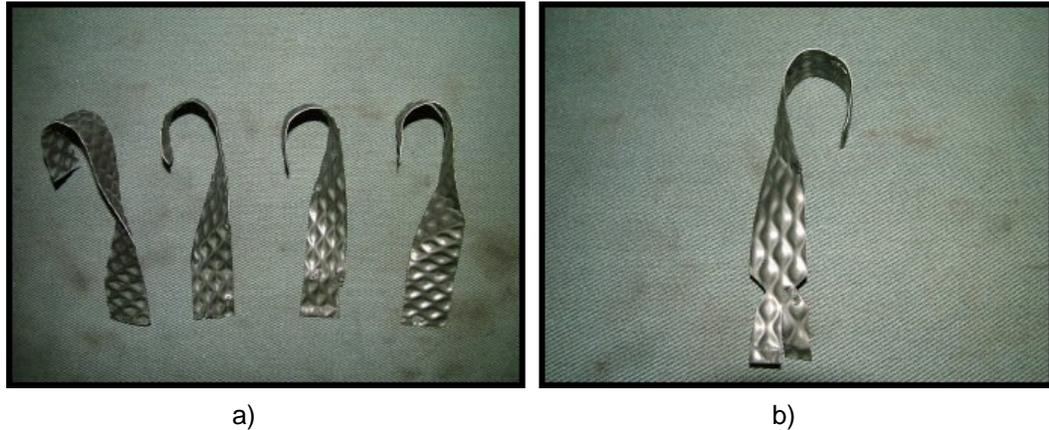


Figura 4.18 a) Agarraderas con el dobléz; b) Cortes en la base de las agarraderas.

5. Las agarraderas se sujetaron a las canastillas mediante cinchos plásticos, apoyadas en el los cortes hechos previamente, con la finalidad de mantener cada oreja en su lugar (figura 4.19).

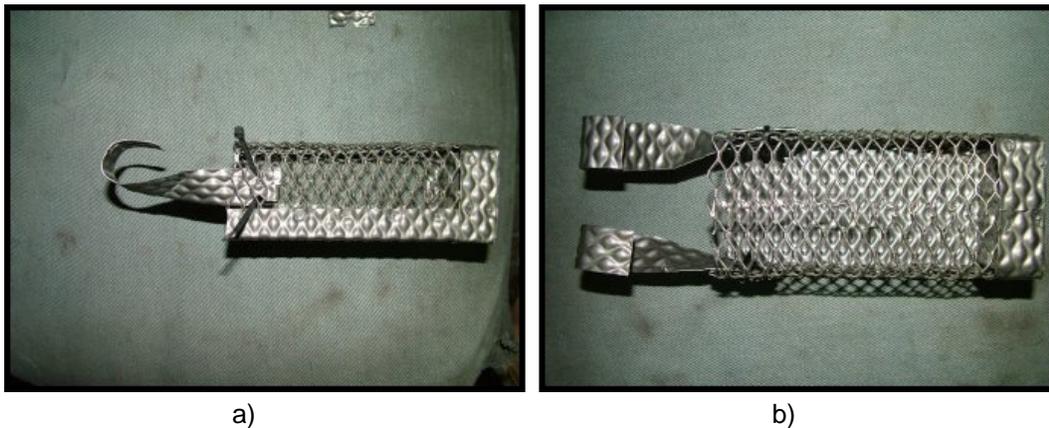
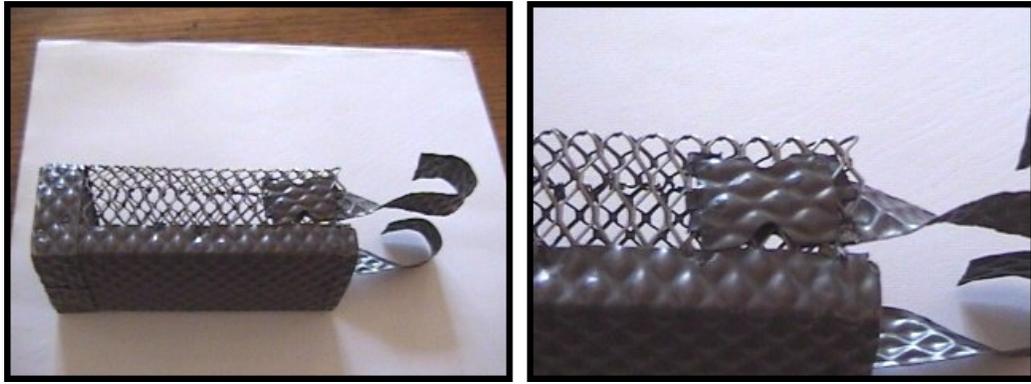


Figura 4.19 a) Sujeción de una agarradera mediante el cincho plástico; b) Canastilla con ambas agarraderas colocadas.

6. Las agarraderas fueron punteadas a las canastillas en el área de los cortes de sus extremos, con la finalidad de asegurar una buena conducción, para lo cuál se removieron los cinchos de plástico colocados anteriormente (Figura 4.20).



a) b)
Figura 4.20 a) Canastilla terminada; b) Agarraderas punteadas.

4.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS SOPORTES

1. Se dibujó el soporte en plastilina, se cortó, se extrajo el perfil (Figura 4.21).



a) b)
Figura 4.21 a) Extracción del perfil del soporte; b) Molde retocado.

2. Se colocó un tubo de cobre de las mismas dimensiones que las barras conductoras para obtener el diámetro deseado en el centro del soporte y se vació resina. Se dejaron transcurrir 15 minutos antes de sacar la muestra (Figura 4.22).

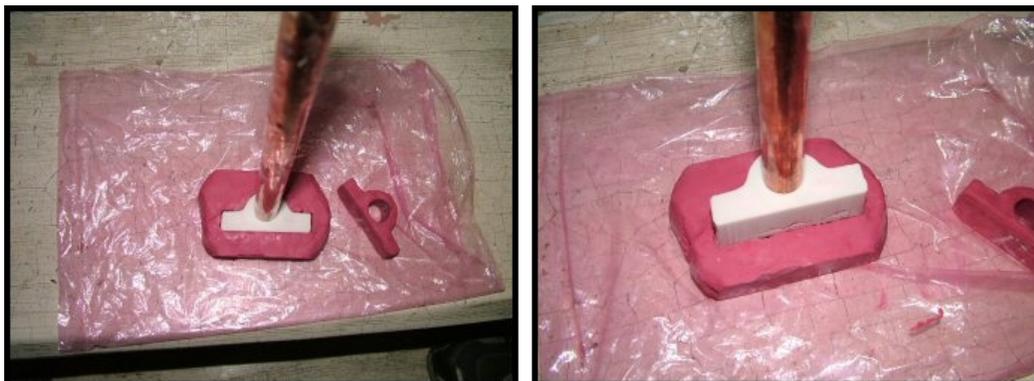


Figura 4.22 Extracción de la muestra a base de resina.

3. Se extrajo el tubo de cobre y la muestra obtenida se lijó para eliminar imperfecciones, además de darle el fileteo necesario (Figura 4.23).



Figura 4.23 a): muestra en bruto, b) lijado de la muestra.

4. Después de que estuvo lista, se preparó caucho en la siguiente proporción: por cada 10g de caucho se añadieron 2 gotas de catalizador para caucho.

Con una espátula pequeña se mezcló durante 1 minuto, y el soporte de muestra se colocó sobre un vidrio limpio previamente preparado.

Posteriormente, se fue untando el caucho hasta formar una capa delgada que cubriera en su totalidad a la pieza y se dejaron transcurrir 20 minutos, se repitió el proceso dos veces más y en la última capa se le añadió gasa para darle cuerpo y firmeza al nuevo y definitivo molde de caucho.

Una vez listo el molde, éste se colocó boca abajo contra un vidrio y se le vació yeso, con la finalidad de proporcionarle una base con mayor firmeza, ya que el caucho es muy flexible (Figura 4.24).



Figura 4.24 a) Caucho sobre la muestra del soporte para hacer el molde; b) Molde de caucho dentro de una base de yeso.

5. Para hacer los soportes necesarios, se preparó resina y se le añadió pigmento en color negro, para el caso del soporte del agitador, se empleó pigmento blanco. Se vertió un poco de resina en el molde hasta alcanzar un espesor de 4mm y se le añadió fibra de vidrio. Se revolvió la fibra con la resina hasta que quedara homogénea, se repitió este paso el número de veces necesario hasta que lograra cubrir todo el molde.
- Se dejaron transcurrir alrededor de 30 minutos antes de sacar el soporte, Este procedimiento se realizó para cada soporte (Figura 4.25).

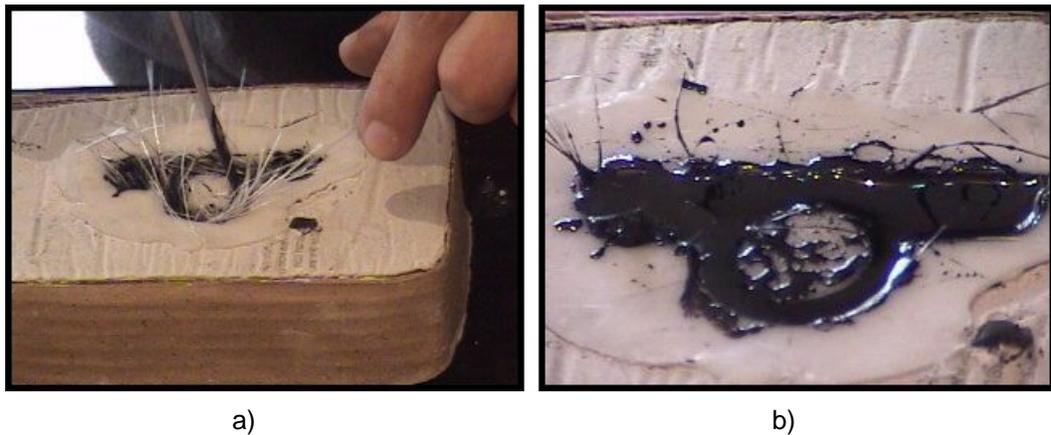


Figura 4.25 a) Colocación de la fibra de vidrio en el molde; b) Proceso terminado del llenado del molde.

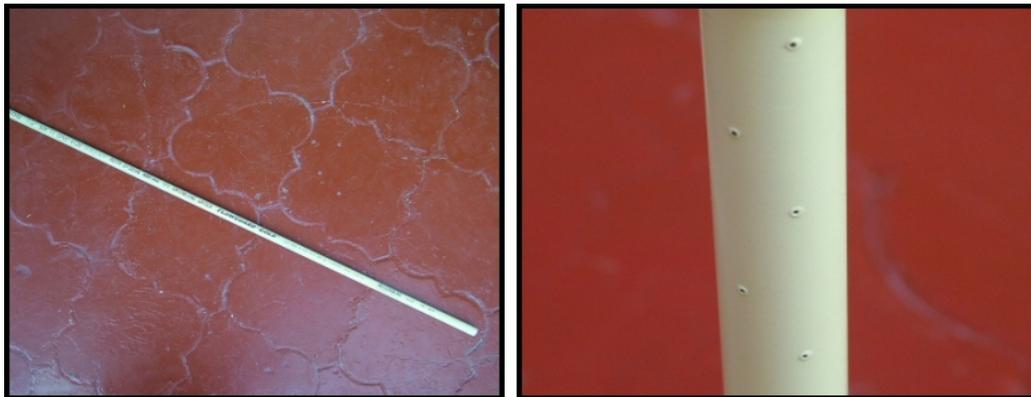
6. Enseguida, se realizaron las perforaciones indicadas en el dibujo de detalle. Para darle un buen acabado, se lijaron cuidadosamente y se lavaron cada uno de los soportes (Figura 4.26).



Figura 4.27 a) Soporte extraído del molde; b) Soportes lijados y perforados.

4.4 CONSTRUCCIÓN DEL AGITADOR

1. Se cortaron los tubos de Poli-Cloruro de Vinilo Clorinado (CPVC) de 0.5 plg en tramos de 19 cm, 16 cm, 22 cm, 4 cm y de 2 cm de longitud.
2. Al tramo de tubo de 19 cm se le hicieron dos hileras de perforaciones con un espaciamiento de 1 plg entre agujeros. Las perforaciones se hicieron con ayuda de una aguja para obtener agujeros con el menor diámetro posible (Figura 4.27).



a)

b)

Figura 4.27 a) Tubo de CPVC; b) Tubo perforado.

3. Se limpiaron los extremos de cada tubo con un limpiador adecuado para este material y se dejaron secar unos minutos (Figura 4.28).



a)

b)

Figura 4.28 a) Limpiador para CPVC; b) Aplicación del limpiador en la tubería.

4. Se pegaron los accesorios necesarios, como codos y tapones a los tramos de tubo con cemento para esta aplicación y se dejaron transcurrir 15 minutos aproximadamente (Figura 4.29)



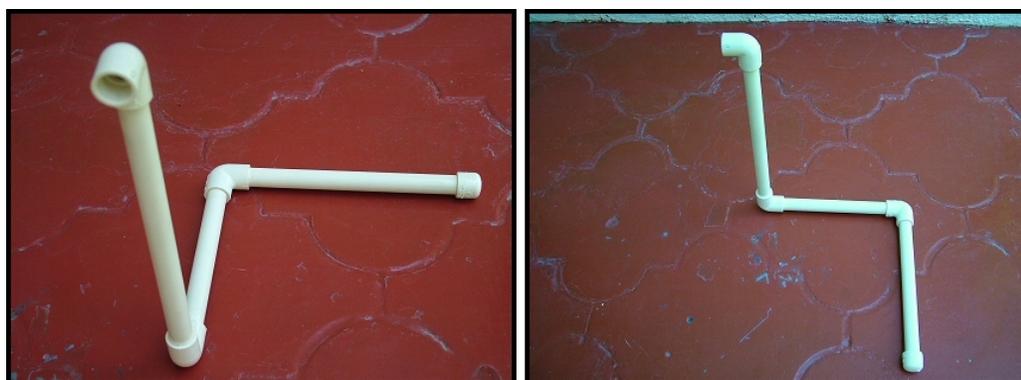
a)

b)

c)

Figura 4.29 a) Pegamento para CPVC; b) Aplicación del pegamento; c) Pegado.

- Para terminar la primera parte del agitador, se unieron todos los tubos con sus respectivos accesorios siguiendo el procedimiento ya descrito, hasta formar el cuerpo del agitador (Figura 4.30).

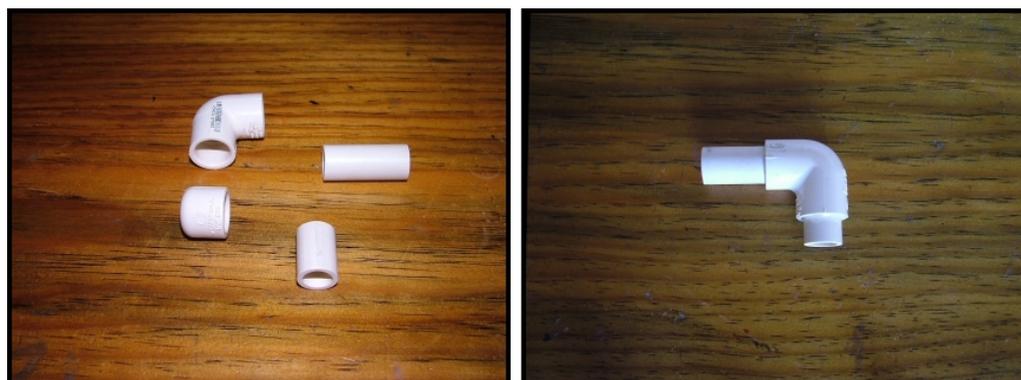


a)

b)

Figura 4.30 a) Vista frontal del agitador; b) Vista lateral del agitador.

- Se cortaron dos tramos de tubo con una longitud de 4cm y 1.5cm , que fueron pegados a un codo, para un adaptador entre el agitador y la bomba (Figura 4.31).



a)

b)

Figura 4.31 a) Accesorios de CPVC para adaptador; b) Adaptador.

7. A un tapón de CPVC se le realizó una perforación del mismo diámetro de la manguera. Un adaptador para manguera de pecera en forma de “L”, fue cortado de tal forma que permitiera unir la manguera con el adaptador (Figura 4.32).



Figura 4.32 a) Tapón perforado; b) Accesorio empleado como cople para unir a la manguera con el adaptador.

8. En el extremo de la manguera se colocó el cople previamente cortado y se metió a presión en al tapón. Por último, éste se pegó al extremo corto del codo descrito en el paso 6 (Figura 4.33).

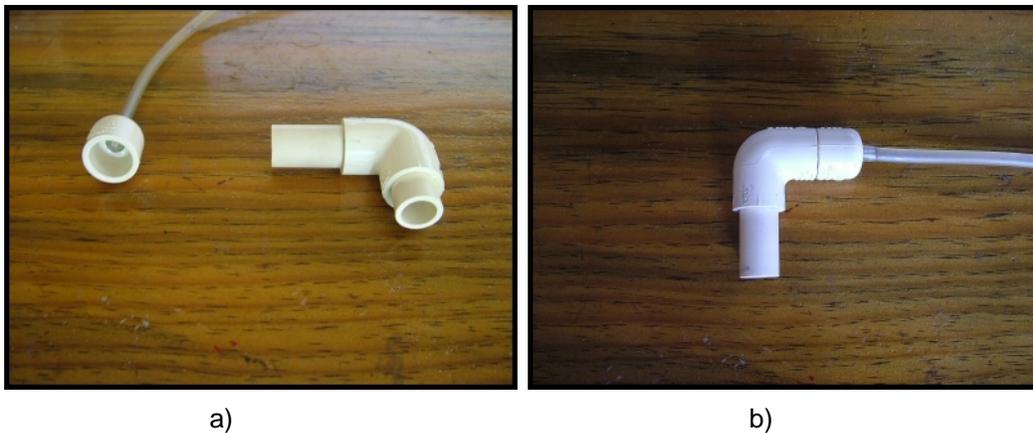


Figura 4.33 a) Manguera unida al tapón del adaptador; b) Adaptador terminado.

4.5 CALENTADOR

Como se mencionó en el capítulo de diseño, el calentador debe reunir una serie de características para su óptimo funcionamiento (material, potencia, área de contacto), por lo cual, se dio la necesidad de fabricarlo especialmente para esta aplicación, ya que comercialmente, el calentador más pequeño superaba las dimensiones del tanque y la potencia requerida.

Adicionalmente se le integró el termostato para facilitar el control de la temperatura de la cuba, ya que este parámetro es muy importante para el proceso (Figura 4.34).



Figura 4.34 a) Calentador de 500 Watts; b) Termostato del calentador.

1. También, se agregó una extensión a los cables del calentador y se reemplazó la manguera original por una manguera con un interior metálico para proteger al cable, con una longitud capaz de cubrir la totalidad del mismo. Posteriormente se colocaron terminales en los extremos de los cables para realizar la conexión de éstos con el sistema eléctrico general (Figura 4.35).

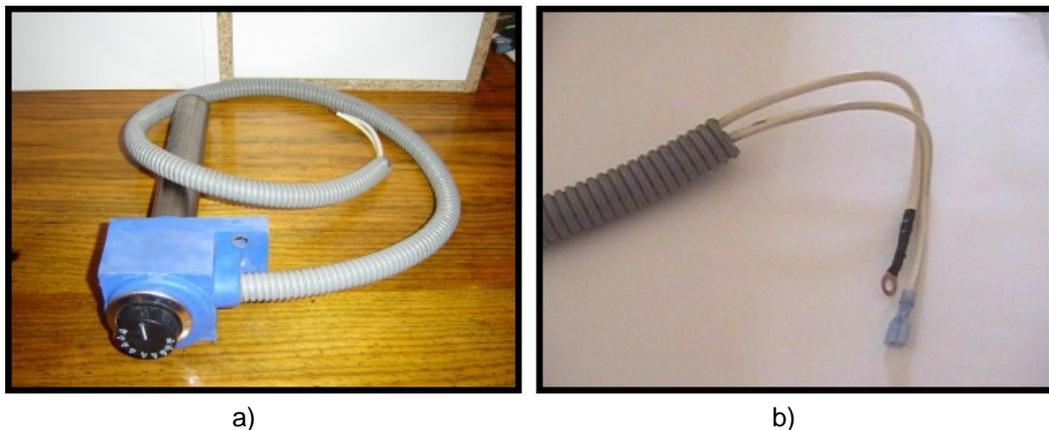


Figura 4.35 a) calentador manguera industrial; b) Cable con terminales.

4.6 CONSTRUCCIÓN DE LAS BOLSAS ANÓDICAS

Al igual que el calentador, las bolsas anódicas comerciales excedieron el tamaño requerido, por lo que fue necesario adaptarlas al tamaño de las canastillas que se realizaron previamente.

1. Se cortó transversalmente una bolsa de tamaño estándar, obteniendo dos partes iguales.
2. Se cosieron los extremos con hilo de nylon para obtener dos bolsas pequeñas. Finalmente se le hizo a cada bolsa una jareta y se hizo pasar un cordón para facilitar la sujeción de las bolsas a cada canastilla (Figura 4.36).

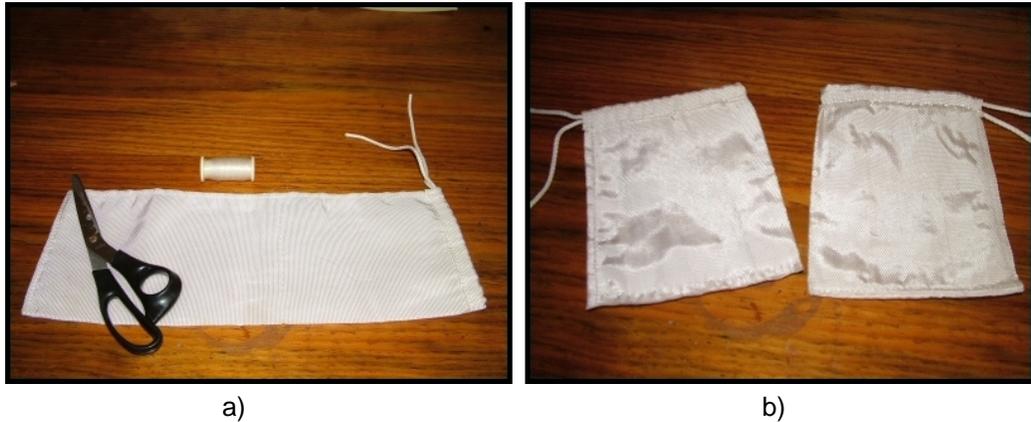


Figura 4.36 a) Bolsa de tamaño estándar; b) Bolsas anódicas al tamaño de las canastillas.

3. Las canastillas de poliéster se sometieron, al igual que el tanque, a un proceso de neutralización, por lo que fue necesario sumergirlas en la solución al 5% de ácido sulfúrico en agua y dejarlas reposar por un lapso de 72 horas (Figura 4.37).

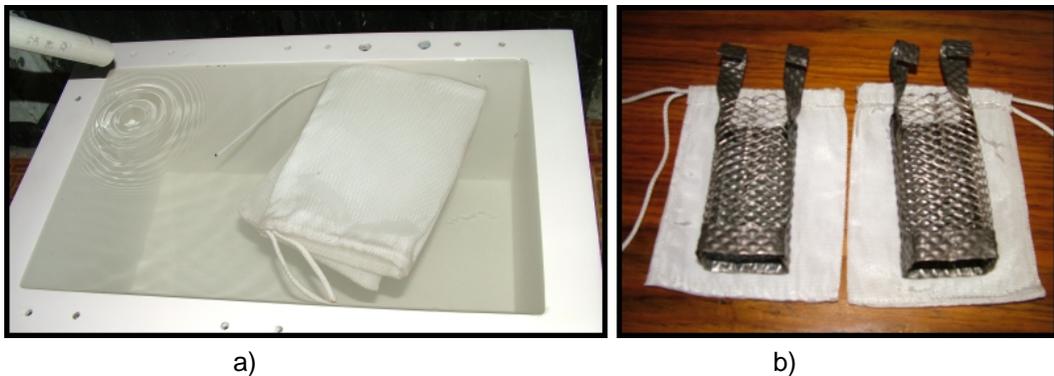


Figura 4.37 a) Bolsas anódicas sumergidas en la solución neutralizante; b) Bolsas anódicas terminadas.

4.7 CONSTRUCCIÓN DE LAS BARRAS CONDUCTORAS

1. Para la fabricación de las barras anódicas se cortaron 2 tramos de tubo de cobre con una longitud de 34cm cada uno y uno de 28cm .

2. Se soldaron los tubos de cobre con los accesorios: codos y una "T", de acuerdo con el diseño (Figura 4.38).

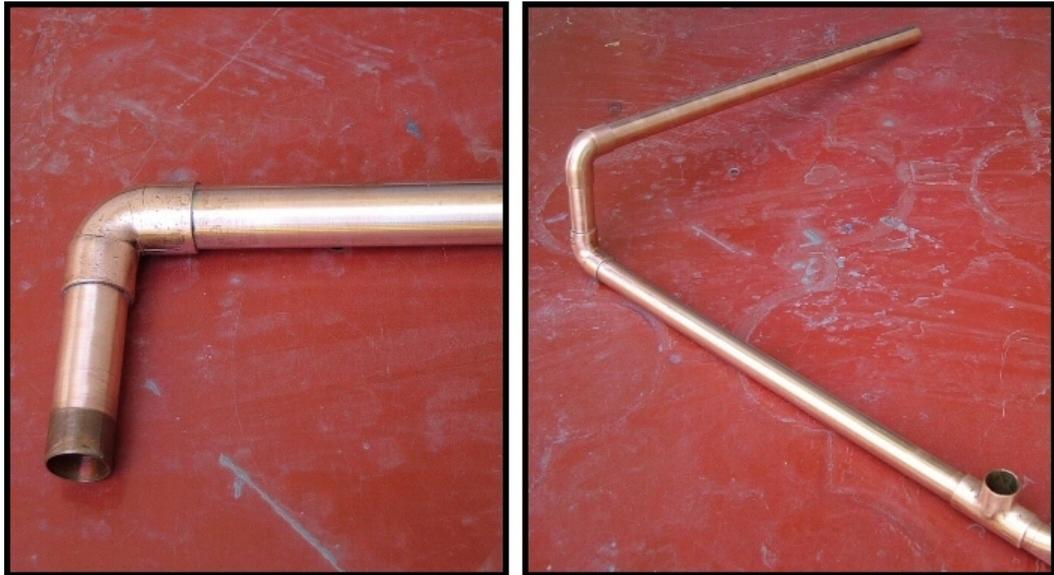


Figura 4.38 Accesorios soldados a los tubos de las barras conductoras.

3. Los extremos de las barras anódicas se aplanaron y se esmerilaron. Uno de los extremos se perforó para poder hacer las conexiones eléctricas necesarias (Figura 4.39).



a)

b)

Figura 4.39 a) Extremo aplanado del tubo; b) Extremo perforado para realizar las conexiones eléctricas.

4. Para la barra catódica, se corto un tramo de 34cm de longitud, se aplanó uno de sus extremos y se dobló 90°. Después, el tubo se perforó de la misma forma que el extremo de las barras anódicas (Figura 4.40).

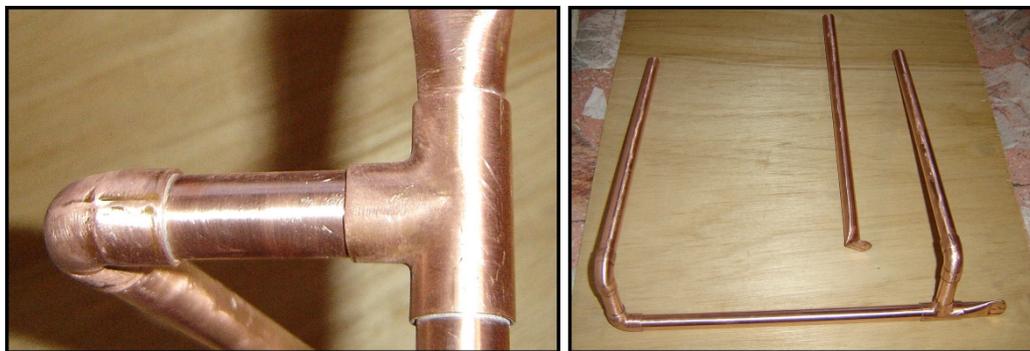


a)

b)

Figura 4.40 a) Doblez en uno de los extremos; b) Extremo perforado.

5. Finalmente se lijó todo en conjunto para remover excesos de soldadura y mejorar el contacto (Figura 4.41).



a)

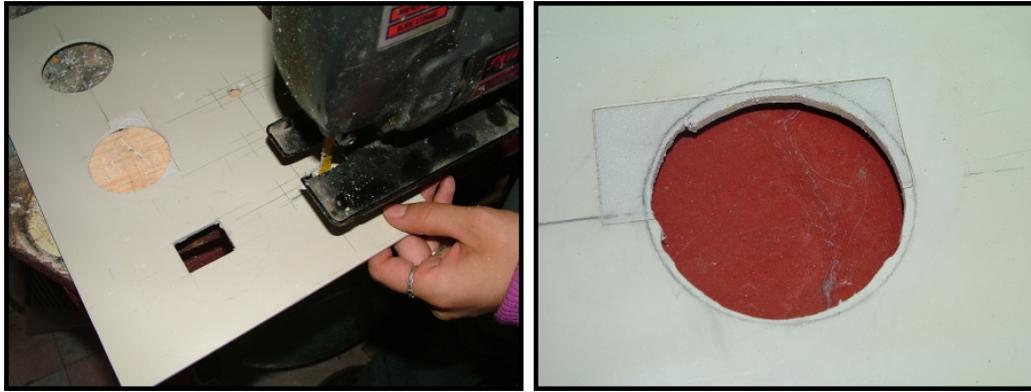
b)

Figura 4.41 a) Accesorios sin exceso de soldadura; b) Barras conductoras terminadas.

4.8 CONSTRUCCIÓN DEL PANEL DE CONTROL

Para la realización del panel de control se utilizó una placa de plástico con las dimensiones especificadas en el capítulo de diseño.

1. Se realizaron los trazos para cada uno de los accesorios del panel: los botones, la perilla y las carátulas, luego, se hicieron las perforaciones con una sierra caladora (Figura 4.42).

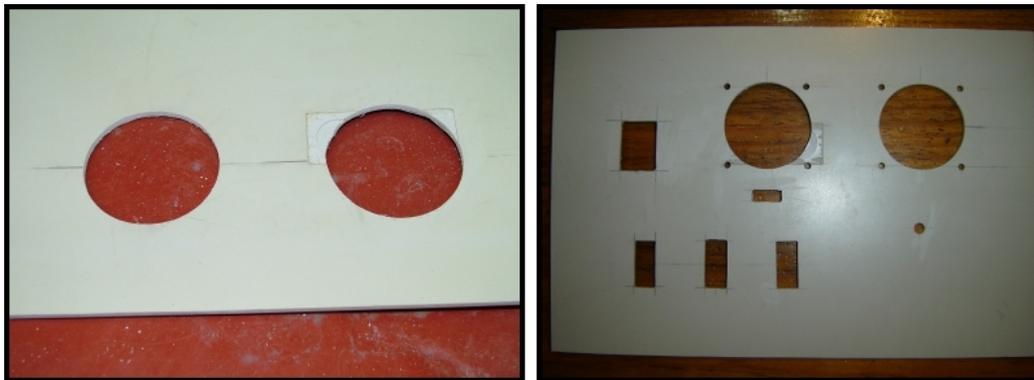


a)

b)

Figura 4.42 a) Panel siendo perforado; b) Perforaciones sin acabado.

2. Con una lima se desbastaron las perforaciones y con el empleo de una lija se les dio un acabado final con la finalidad de asegurar una correcta sujeción de cada accesorio: botones, carátulas y perilla (Figura 4.43).



a)

b)

Figura 4.43 a) Agujeros para carátulas; b) Acabado final de las perforaciones.

3. Se realizó un positivo impreso en papel albanene con el diseño de la carátula, para serigrafiar, posteriormente se le hicieron algunos ajustes necesarios (Figura 4.44).



a)

b)

Figura 4.44 a) Impresión en albanene; b) Positivo con los ajustes.

4. Para emulsionar la malla de serigrafía, se utilizó sericrom y bicromato de sodio. Se aplicó en un cuarto bajo condiciones de revelado (cuarto con luz roja). Después, con la ayuda de un ventilador se secó la malla durante 25 minutos aproximadamente (Figura 4.45).



a)
b)
Figura 4.45 a) Pintura y solventes para serigrafía; b) Malla sin destapar.

5. El positivo en papel albanene se colocó sobre la malla y ésta se insoló con un foco reflector de 500 W durante 6 min , luego la malla se retiró y fue remojada en agua para revelar la imagen. Para destapar completamente la malla, primero se le aplicó agua a presión y después se utilizó un aspersor (Figura 4.46).



a)
b)
Figura 4.46 a) Insolación de la malla; b) Destapado de la malla con agua a presión.

6. La placa de plástico se lavó perfectamente y se le quitó el exceso de grasa con alcohol.
7. La malla terminada y la placa de plástico se colocaron en un brazo para serigrafía (Figura 4.47).



a)

b)

Figura 4.47 a) Malla destapada; b) Colocación de la malla en el soporte.

8. Una vez lista la placa del panel de control, se colocó en el soporte. Con pintura negra especial para este material, se imprimió la imagen en la placa (Figura 4.48).

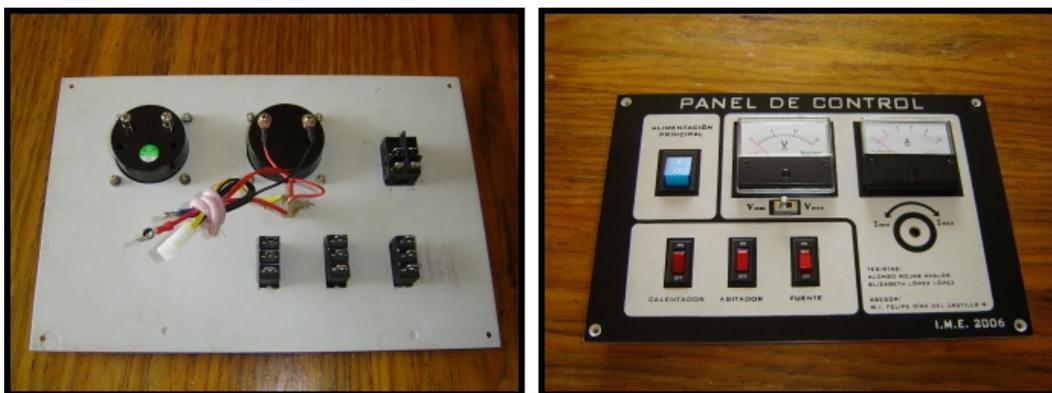


a)

b)

Figura 4.48 a) Impresión de la placa; b) Panel de control impreso.

9. Se colocaron los accesorios en el panel de control, con excepción de la perilla, misma que se instaló en el ensamble. Los botones fueron colocados a presión y las carátulas con tornillos (Figura 4.49).



a)

b)

Figura 4.49 a) Vista posterior del panel con los accesorios colocados; b) Vista frontal del panel de control terminado.

4.9 MUEBLE

El mueble se fabricó de acuerdo a la geometría y dimensiones mostradas en el capítulo de diseño (Figura 4.50).

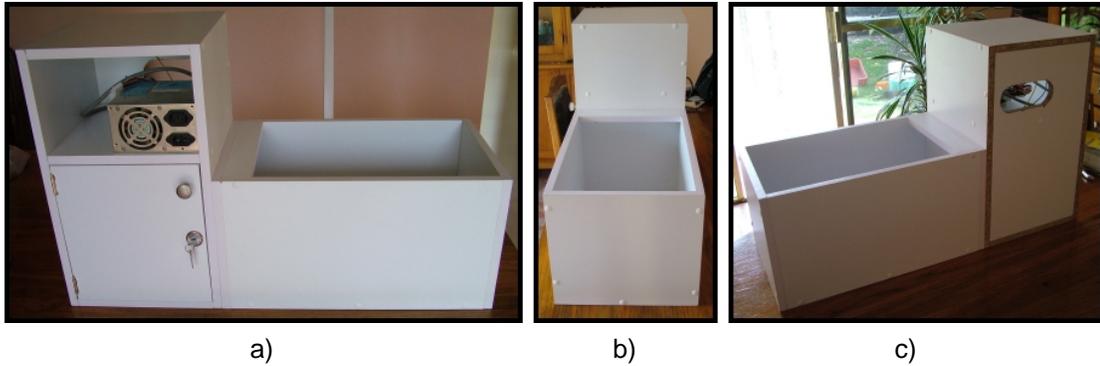


Figura 4.50 a) Vista frontal del mueble; b) Vista lateral; c) Vista posterior.

1. En la parte posterior del mueble, se acondicionó una placa metálica para sujetar los cables como medida de seguridad evitando que éstos se movieran y dañaran alguna conexión, además, en el compartimiento para el sistema eléctrico, se colocaron cuatro ángulos pequeños para fijar la base principal (Figura 4.51).

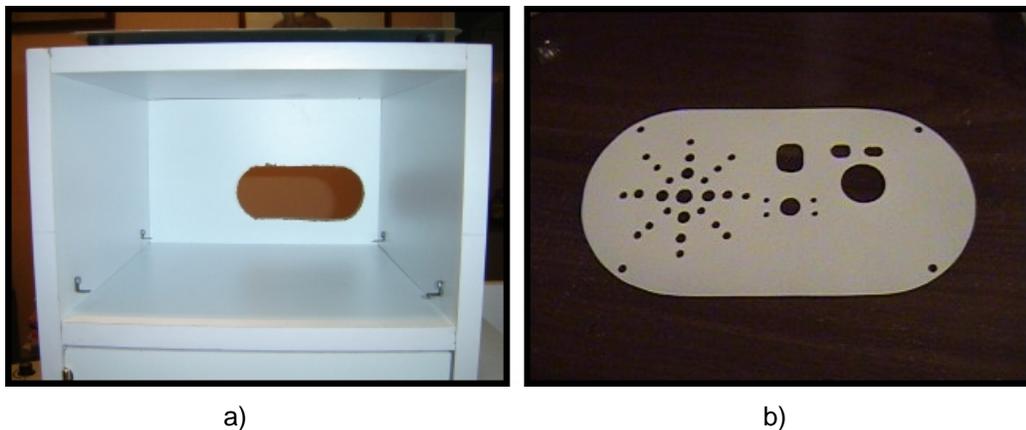


Figura 4.51 a) Ángulos colocados en el compartimiento; b) Placa metálica de la parte posterior del mueble para sujetar los cables.

2. Se cortaron 4 tramos de la canaleta plástica y se realizaron los trazos para las perforaciones necesarias.
3. En la parte trasera del mueble se atornillaron los tramos de la canaleta plástica con el fin de guiar y proteger el cableado de las barras anódicas y la barra catódica (Figura 4.52).



a)

b)

Figura 4.52 a) Base de la canaleta atornillada en la parte posterior del mueble; b) Canaleta completa colocada.

4. Se cortó una hoja de corcho en forma rectangular y se colocó en la parte inferior del compartimiento del mueble dedicado a contener al tanque, con la finalidad de brindarle a éste mayor estabilidad, debido a las irregularidades de la base (Figura 4.53).



a)

b)

Figura 4.53 a) Compartimiento del mueble para el tanque; b) Corcho en el fondo del compartimiento.

4.10 FUENTE DE PODER

1. La fuente para computadora se destapó y en uno de los costados de la carcasa, se perforó para adaptarle el ventilador externo. Se conectó en la entrada principal de la fuente según el capítulo de diseño (Figura 4.54).
2. Se suprimieron las terminales de toma de corriente de la fuente sobrantes, y únicamente se dejaron dos salidas de voltaje, una de 5V y otra de 10V .



a)

b)

Figura 4.54 a) Fuente original; b) Ventilador exterior adaptado.

3. A la tapa superior de la fuente se le realizaron 4 perforaciones para sujetar sobre ésta la bomba del agitador (Figura 4.55).



a)

b)

Figura 4.55 a) Tapa superior de la fuente perforada; b) Bomba colocada en la fuente.

4. La resistencia variable no contaba con ningún dispositivo que permitiera el control de la corriente, por lo que fue necesario implementarle un sistema mecánico para este fin (Figura 4.56).



a)

b)

Figura 4.56 a) Resistencia de 10Ω a $100W$; b) Dispositivo mecánico para controlar la resistencia.

5. A la resistencia se le adaptó el dispositivo mencionado en el paso anterior, además, se colocó una extensión en el brazo para unir a éste con la perilla de control. La resistencia se montó en una base de metal, pero los puntos de contacto entre la resistencia y la base se aislaron. Posteriormente se le agregaron cables en cada extremo para realizar las conexiones eléctricas necesarias (Figura 4.57).

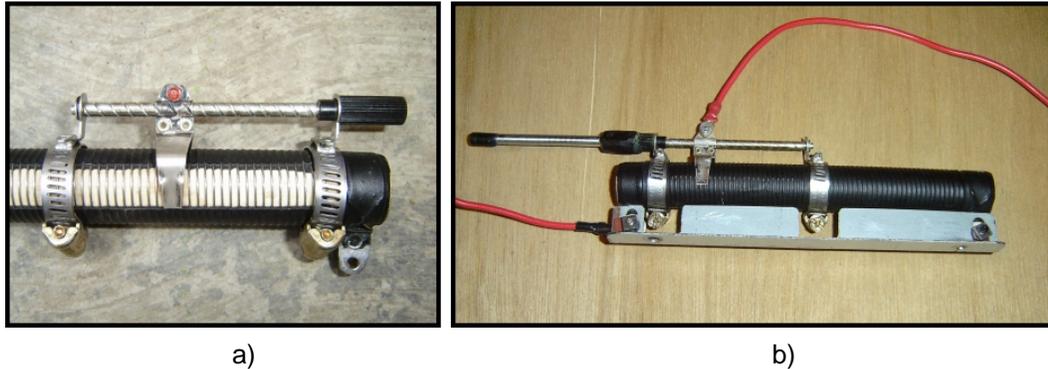


Figura 4.57 a) Dispositivo colocado en la resistencia; b) Resistencia con extensión y cables montada en la base.

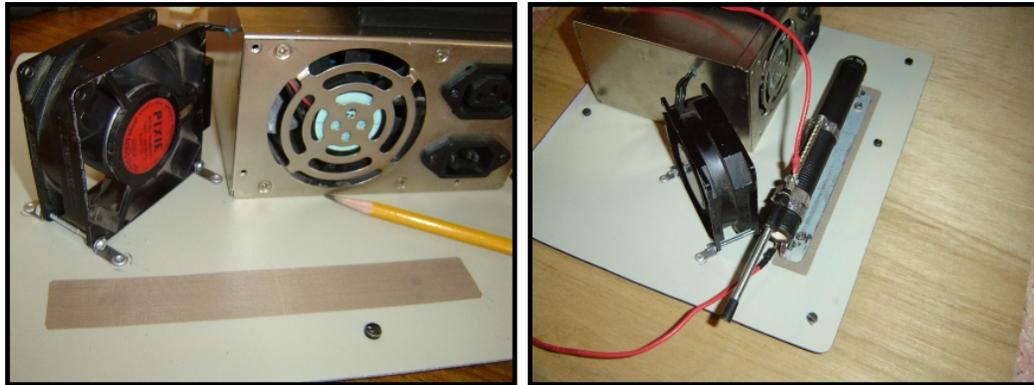
6. Para la colocación de los elementos que integran a la fuente de poder, se fabricó una base metálica que los contuviera. Se cortó una lámina con las mismas dimensiones del apartado del mueble que fue destinado para ello. La placa se perforó y mediante remaches se colocaron unos sujetadores para el ventilador. Después se le atornillaron a la base unas patas de goma en las esquinas que permitiera colocarla fácilmente en el mueble (Figura 4.58).



Figura 4.58 a) Vista posterior de la base metálica; b) Vista frontal.

7. Se colocó una tira de teflón en la base principal como medida de seguridad, ya que el soporte de la resistencia, además de ser metálico, eleva su temperatura

mientras el sistema se encuentra en operación. De esta forma, la resistencia fue aislada eléctrica y térmicamente. Posteriormente, los elementos que constituyen a la fuente fueron dispuestos en la base principal (Figura 4.59).



a)

b)

Figura 4.59 a) Teflón sobre la base principal; b) Elementos que constituyen a la fuente.

8. Se fabricó una pieza con dos terminales generales metálicas, cada una de ellas con cuatro perforaciones para alimentar a todos los elementos que constituyen al sistema. Las terminales fueron aisladas eléctricamente entre sí, mediante una pequeña plataforma de resina. Posteriormente, se instaló en la base principal (Figura 4.60).



a)

b)

Figura 4.60 a) Terminales generales; b) Terminales atornilladas a la base principal.

4.11 ENSAMBLE

1. Los soportes de fibra de vidrio se atornillaron al tanque para sostener a las barras conductoras: dos anódicas y una catódica (Figura 4.61).



a)

b)

Figura 4.61 a) Tanque sin soportes; b) Soportes atornillados al tanque

2. Las barras conductoras se colocaron entre los soportes y en los extremos frontales de cada una de ellas, fue colocado a presión un tapón de cobre (Figura 4.62).



a)

b)

Figura 4.62 a) Tapones colocados en los extremos de las barras; b) Vista de las barras anódicas colocadas.

3. El calentador se sujetó al tanque con tornillos, mientras que el agitador se instaló a través de su soporte cuidando que quedara centrado en el tanque (Figura 4.63).



a)

b)

c)

Figura 4.63 a) Calentador colocado; b) Posición del agitador dentro del tanque; c) Tanque con los accesorios.

- Las rondelas de níquel fueron colocadas dentro de las canastillas de titanio, luego, se introdujo cada canastilla en su respectiva bolsa de poliéster y se colgaron en las barras anódicas (Figura 4.64).



Figura 4.64 a) Ubicación de las canastillas en el interior del tanque; b) Colocación de las canastillas en el tanque.

- El tanque fue colocado en el mueble. Las barras conductoras se hicieron coincidir con la canaleta del tanque para permitir la realización de las conexiones necesarias (Figura 4.65).



Figura 4.65 a) Colocación del tanque en el mueble. b) Barras conductoras alineadas con la canaleta del mueble.

- Se conectaron los extremos de las barras anódicas a la terminal positiva de la fuente de poder, mientras que el extremo de la barra catódica se conectó a la terminal negativa de la misma. Las conexiones se hicieron mediante tornillos para poder ser removidas y facilitar su limpieza, como lo indica el diseño (Figura 4.66).

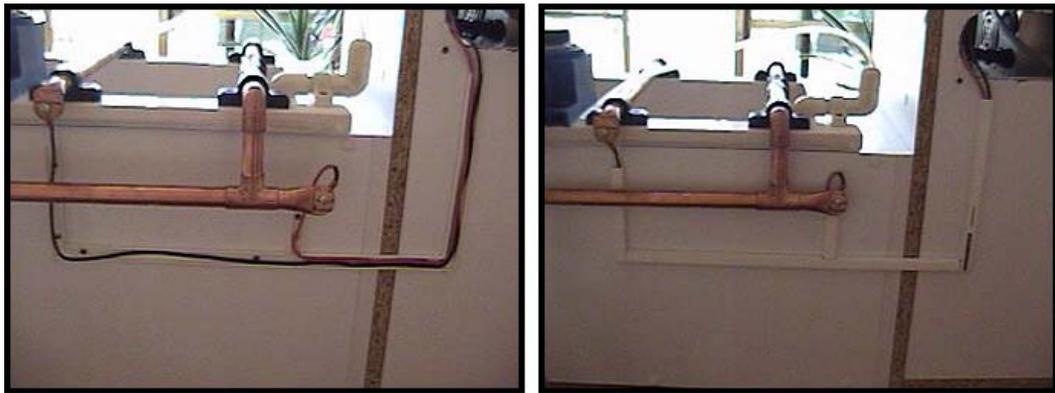


a)

b)

Figura 4.66 a) Conexión de la barra catódica; b) Conexión del punto común de las barras anódicas.

7. Realizadas las conexiones, se hicieron pasar los cables de las barras conductoras a través de la base de la canaleta plástica y luego se cubrieron con la tapa de ésta, asegurándose de que los cables no se superpusieran entre sí para permitir que la canaleta sellara adecuadamente (Figura 4.67).

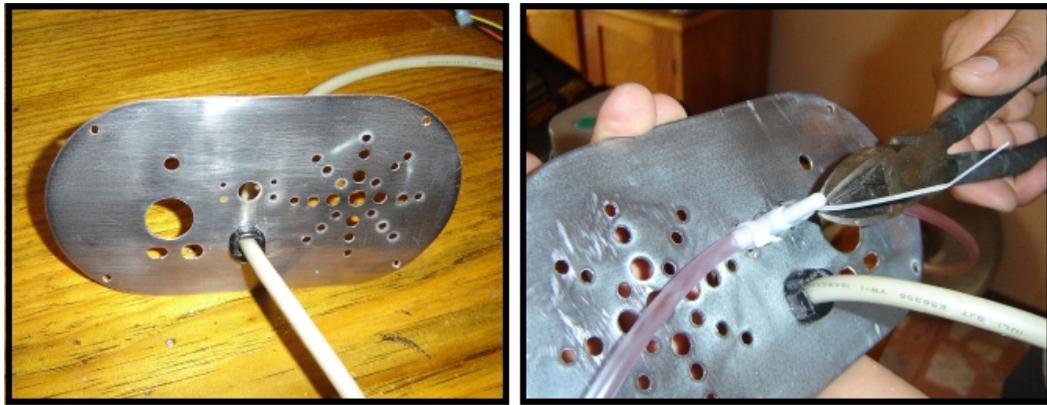


a)

b)

Figura 4.67 a) Colocación de los cables de las terminales de las barras dentro de la canaleta; b) Canaleta dispuesta con los cables en su interior.

8. El cable de la fuente de alimentación se hizo pasar a través de la placa metálica que cubre la cavidad del mueble y se le colocó un seguro de plástico que limitara su movimiento.
9. A la placa de metal fue sujeta la válvula reguladora de la bomba con cinchos plásticos (figura 4.68).



a)

b)

Figura 4.68 a) Seguro para el cable de la fuente de alimentación; b) Sujeción de la válvula a la placa metálica.

10. El cable del calentador se hizo pasar por la placa de metal, al igual que la manguera que conecta al agitador con la bomba. La placa se atornilló al mueble y en el interior del mismo, se posicionó el cable del calentador mediante abrazaderas metálicas, manteniendo al cable convenientemente inmóvil (figura 4.69).



a)

b)

Figura 4.69 a) Posicionamiento de la placa metálica en el mueble; b) Sujeción del cable del calentador.

11. Se prepararon todos los cables con sus respectivas terminales para llevar al cabo las conexiones de todos los dispositivos eléctricos. Se realizaron todas las conexiones en las terminales generales situadas en la base principal, que se aprecia en la figura 4.57 de este capítulo. Una vez que lista la base principal, se introdujo al mueble (Figura 4.70).

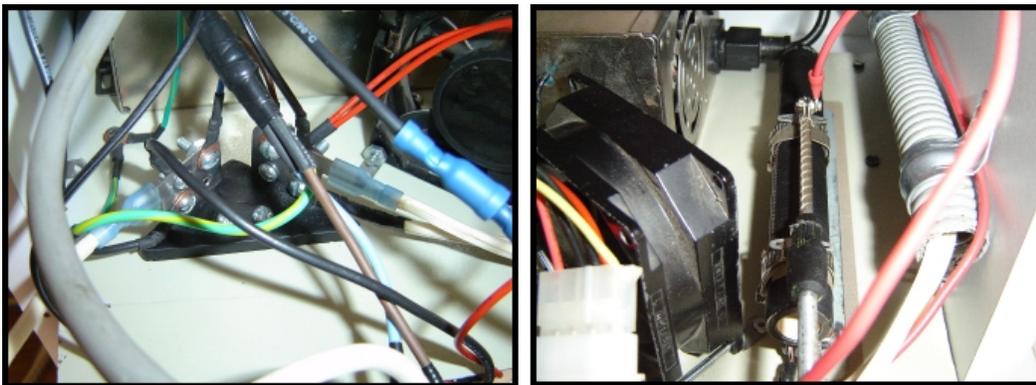


a)

b)

Figura 4.70 a) Posicionamiento de la placa metálica en el mueble; b) Sujeción del cable del calentador.

12. Los extremos libres de cada uno de los cables, se dejaron disponibles para conectar el panel de control a través de sus accesorios. El cable proveniente de las barras anódicas se hizo pasar a través de las abrazaderas dispuestas para sujetar al cable del calentador, de esta forma, se evita el riesgo de que la terminal positiva haga contacto con la resistencia o con algún otro elemento (Figura 4.71).

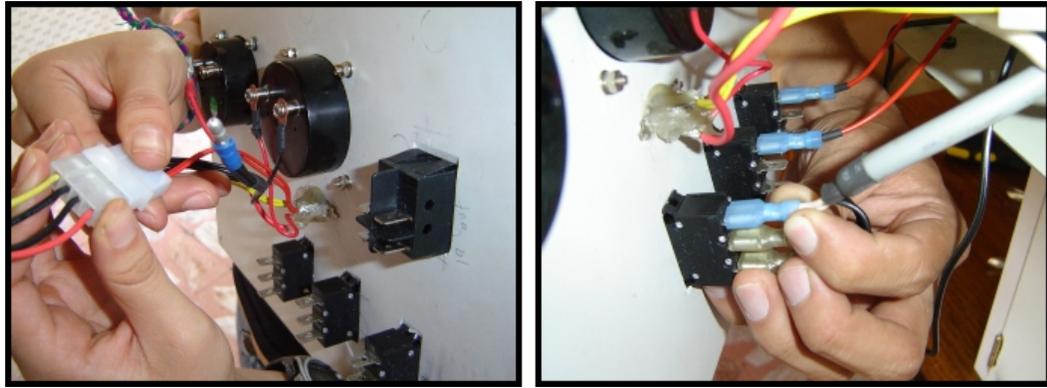


a)

b)

Figura 4.71 a) Conexiones en las terminales generales; b) Cable de la terminal positiva puesto entre las abrazaderas del cable del calentador.

13. Los accesorios del panel de control se conectaron a los extremos libres de los cables que se encontraban unidos a las terminales generales por medio de los botones y de las carátulas. En todos los cables, cuyos extremos llevaban conexión directa al panel de control, se emplearon terminales que entraran a presión, con la finalidad de permitir remover al panel de control de manera rápida y segura, en caso de que sea necesario hacer alguna clase de ajuste en el sistema eléctrico general (Figura 4.72).



a)

b)

Figura 4.72 a) Conexión de la fuente de poder al panel; b) Terminales puestas a presión en los accesorios del panel de control.

14. Ya que se realizaron todas las conexiones, se atornilló el panel de control al mueble y se le colocaron tapones plásticos sobre las cabezas de éstos para mejorar su presentación (Figuras 4.73, 4.74 y 4.75).

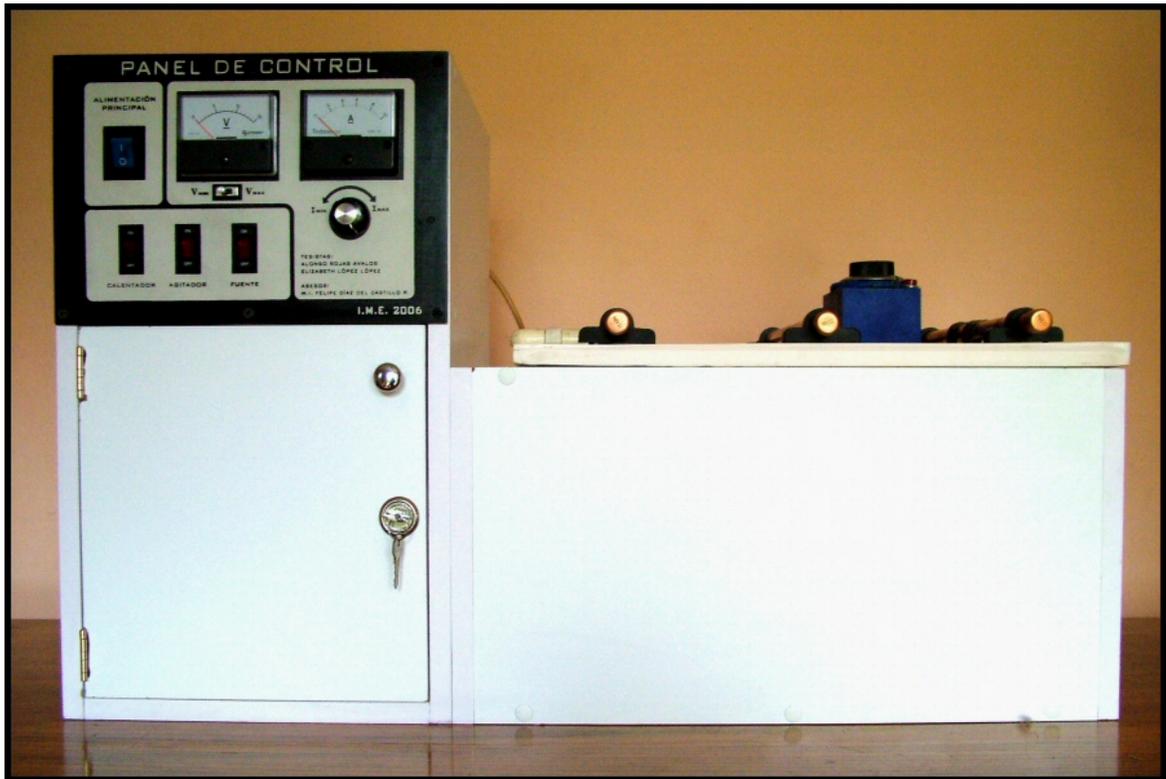


Figura 4.73 Vista frontal del sistema de electrodeposición terminado.



Figura 4.74 Vista posterior del sistema de electrodeposición terminado.



Figura 4.75 Vista superior del sistema de electrodeposición terminado.

4.12 COSTOS DEL SISTEMA DE ELECTRODEPOSICIÓN

En la tabla 4.1 se muestra una lista del costo económico de este proyecto. Es importante recalcar que la información que aquí se presenta, se refiere únicamente a la parte de la construcción del sistema de electrodeposición, dejando fuera otros costos importantes como son: la mano de obra, los gastos de transporte, las pruebas fallidas, etc. Este importe corresponde a los precios del año en curso.

Tabla 4.1 Desglose de costos del sistema.	
PRODUCTO	COSTO (\$)
sulfato de níquel	417.48
cloruro de níquel	127.91
ácido bórico	19.64
níquel	496.06
canastilla de titanio	627.55
bolsa para canastilla	41.18
abrillantador inicial	97.06
abrillantador mantenimiento	92.61
tanque	300.00
revestimiento tanque	300.00
calentador	680.00
tubería de cobre	50.00
material para soportes	100.00
carátulas para panel	160.00
removedor de pintura	50.00
pinturas de aceite	100.00
resistencia variable	100.00
pivote para resistencia	45.00
abrazaderas	8.00
fuente	220.15
terminales para conexiones	100.00
ventilador	60.00
botones para panel de control	95.00
accesorios de cobre	80.00
rodillo para fibra de vidrio	60.00
pigmento fibra de vidrio	100.00
material para serigrafía	200.00
acrílico para panel	50.00
mueble	400.00
punteado de las canastillas	60.00

Tabla 4.1 Continuación	
papel pH	126.45
tornillos	65.23
material para agitador (CPVC)	130.00
termómetro	120.00
carbonato	120.00
ácido sulfúrico	100.00
bomba para agitador	120.00
llave allen	3.00
cable para conexiones	25.00
corcho para mueble	90.00
taponos para el panel de control	3.00
aislante para resistencia (Teflón)	15.00
lámina para base principal	15.00
cinta de aislar	4.50
lijas	40.00
estopa	10.00
solvente para pintura	12.50
canaleta para el mueble	25.00
lámina posterior para el cableado	15.00

TOTAL **\$ 6,277.32**

CAPÍTULO 5

PRUEBAS

*...raro es el ingeniero que no pueda beneficiarse por la observación de sus obras puestas en servicio.
EDWARD KRICK V.*

El sistema de electrodeposición fue sometido a una serie de pruebas con la finalidad de comprobar su funcionamiento, una vez demostrado lo anterior, se inició un proceso de optimización de las condiciones de operación y de otras variables involucradas, para lo cual fue necesario mantenerlo en observación durante un periodo de tiempo razonable. Debido a las características del proceso, se decidió que el lapso de tiempo invertido se mediría en relación al número de pruebas y no al tiempo dedicado a las mismas.

En la práctica se llevaron a cabo muchos ensayos, de los cuales se incluyen detalladamente en este capítulo los 7 primeros, ya que son los que arrojaron más información en relación al manejo adecuado del sistema y de todo el equipo en general. Los dos primeros ensayos se registraron detalladamente con la finalidad de ofrecer una idea más clara del proceso llevado a cabo, mientras que los resultados de los ensayos restantes, se presentan resumidos en una tabla.

Antes de describir las pruebas realizadas, se muestra la tabla 5.1 como apoyo en la fase de experimentación, debido a que en los procesos de galvanoplastia se pueden presentar problemas críticos, los cuales son muy frecuentes, por lo que los fabricantes de productos químicos para galvanoplastia ofrecen guías específicas para cada tipo de

baño donde se exponen estos problemas junto con sus respectivas causas para darles solución de manera rápida y eficaz.

Tabla 5.1 Problemas comunes y sus respectivas soluciones en los baños de níquel brillante. ^[17]		
PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
1. Depósito sin brillo	Abrillantador B2-A insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> • Adicionar abrillantador B2-A en proporción de 0.1ml/l
2. Depósito con apariencia gris-negro, especialmente en áreas de baja densidad de corriente.	Impurezas metálicas como zinc, cobre, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Electrolizar a $0.1 - 0.2\text{ A/dm}^2$ • Usar aditivo BS-15.
3. Depósito con saltos en áreas de baja densidad de corriente.	Sospecha de cromo hexavalente.	<ul style="list-style-type: none"> • Tratar con sulfato ferroso. Por cada <i>ppm</i> de cromo sospechado adicionar 3.2 g/l de sulfato ferroso. Llevar el <i>pH</i> a 5.8 y agitar por 4 horas. Filtrar y bajar el <i>pH</i> a 4.2 .
4. Depósitos tensionados.	Abrillantador BS-123 insuficiente.	<ul style="list-style-type: none"> • Adicionar $2 - 5\text{ ml/l}$ de abrillantador BS 123.
	Exceso de abrillantador B2-A.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir adiciones de B2-A.
	Contaminación orgánica.	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento con carbón activado o filtración sobre carbón y adicionar 0.25 ml/l de Antipit B-4.
	Impurezas metálicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Electrolizar o mantener con aditivo BS-15.
5. Depósitos picados	Baja concentración de agente humectante.	<ul style="list-style-type: none"> • Adicionar B-4 para aire o BS-660 para agitación mecánica.
	Contaminación orgánica.	<ul style="list-style-type: none"> • Filtrar sobre carbón activado o tratamiento con carbón después de adicionar 0.1 ml/l de agua oxigenada.

[17] Galvanolyte, S.A. de C.V. *Memorando; Proceso de níquel Brillante*. Fabricantes de productos químicos y equipo para galvanoplastia y pulido, 2006.

5.1 PREPARACIÓN DEL ELECTROLITO

Para fines de identificación se muestran las imágenes correspondientes a los aditivos que conforman al electrolito (Figura 5.1).

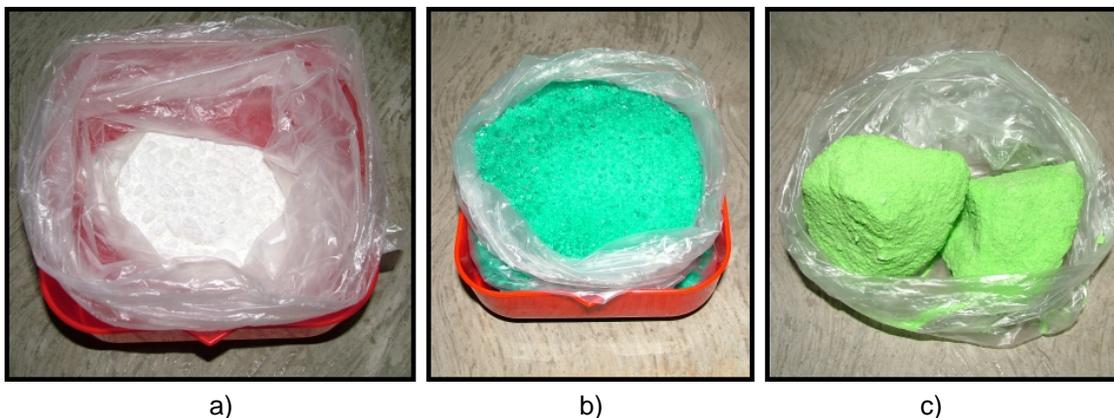


Figura 5.1 a) Ácido bórico; b) Sulfato de níquel; c) Cloruro de níquel.

1. Para preparar la solución fue necesario pesar cada uno de los aditivos y en el caso del cloruro de níquel pulverizarlo, en las siguientes cantidades, mismas que fueron especificadas en el capítulo de diseño (Figura 5.2):

Sulfato de níquel 4.40 *kg*

Cloruro de níquel 1.20 *kg*

Ácido Bórico 900 *g*

Turbobrite R2000 Inicial 200 *ml*

Turbobrite R2000 Maintenance 4.0 *ml*



Figura 5.2 Aditivos pesados; b) Pulverización del cloruro de níquel.

2. Los componentes de la solución se diluyeron previamente en agua a una temperatura de $80^{\circ}C$, para facilitar su incorporación a la cuba y evitar con ello, preparar una cantidad superior a la necesaria (Figura 5.3).



Figura 5.3 Adición de los aditivos a la cuba.

5.2 PRÁCTICA # 1

OBJETIVO

Niquelar una placa rectangular de cobre con un área de total de $1dm^2$; considerando las dos caras y el espesor de $1mm$ (Figura 5.4).

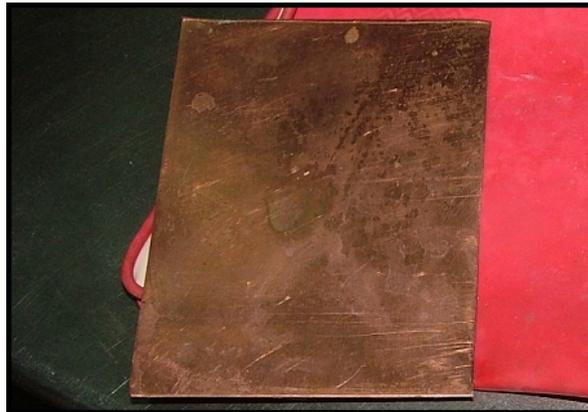


Figura 5.4 Placa de cobre limpia.

CONDICIONES DE OPERACIÓN:

Temperatura: $50^{\circ}C$

Intensidad de corriente: $2.5 A$

Potencial hidrógeno (pH): 3.0

Tiempo de operación: 4 min

Voltaje $8.5V$

CONCENTRACIÓN DE ADITIVOS EN EL ELECTROLITO:

Sulfato de níquel $4400 g$

Cloruro de níquel $1200 g$

Acido Bórico $900 g$

Turbobrite R2000 Inicial $200 g$

DESARROLLO

1. El calentador se puso a trabajar con 2 horas de anticipación, aproximadamente, hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

2. Se ajustaron las variables: corriente, voltaje y pH a los valores indicados en las condiciones de operación. La lectura del pH reveló un valor de 3.0, por lo que fue necesario elevarlo con varias lechadas de 20 g de carbonato de níquel disueltos en 200 ml del electrolito cada una de ellas. Cada solución con carbonato de níquel fue vertida lentamente en el electrolito e inmediatamente el pH fue revisado, hasta alcanzar el valor indicado anteriormente (Figura 5.5).

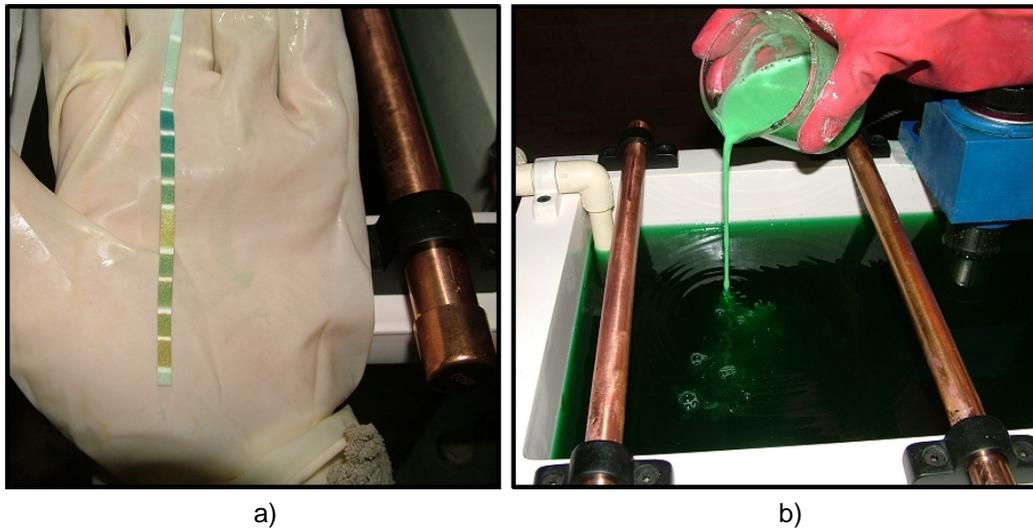


Figura 5.5 a) Lectura del pH; b) Ajuste del pH con carbonato de níquel.

3. Se limpió la pieza a recubrir con agua y jabón para retirar grasa u otras sustancias depositadas en la superficie de la misma.
4. La pieza fue secada cuidadosamente con estopa limpia.
5. Se sujetó la pieza mediante un cable de cobre, en cuyos extremos se soldó una pinza “caimán”, cada uno de un tamaño apropiado para la aplicación.
6. La pieza se colocó en la barra catódica en una posición adecuada, según las recomendaciones del capítulo de diseño.
7. Se puso en marcha la agitación por aire.
8. Se suministró la energía eléctrica y paralelamente se activó el cronómetro.

9. Después del tiempo señalado anteriormente, la pieza fue retirada del tanque.
10. Se suprimió la alimentación de todos los accesorios eléctricos.

CÁLCULOS Y OPERACIONES

Con la ayuda de la ecuación 2.1 se pudo conocer la cantidad de níquel; W [g] depositada sobre la placa de cobre:

$$W = \frac{I \cdot T \cdot M}{n \cdot F}$$

Datos:

$$I = 2.5 \text{ A}$$

$$T = 28 \text{ min} = 1680 \text{ s}$$

$$M_{Ni} = 58.71 \text{ g/mol}$$

$$n_{Ni} = 2$$

$$F = 96500 \text{ A} \cdot \text{s/mol}$$

Sustituyendo en la ecuación,

$$W = \frac{(2.5\text{A})(240\text{s})(58.71\text{g})(\text{mol})}{(2)(96500\text{A}\cdot\text{s})(\text{mol})} = 0.1825 \text{ g ; cantidad de níquel depositada}$$

RESULTADOS Y OBSERVACIONES

La pieza presentó una mancha de color gris oscuro en el centro de ambas caras y un acabado heterogéneo, con zonas cuyo recubrimiento fue pobre en contraste con otras donde presentó grumos, como consecuencia de un exceso de material electrodepositado. Para una mejor apreciación del resultado obtenido, se incluye una fotografía de la pieza terminada (Figura 5.6).



Figura 5.6 Pieza niquelada.

De acuerdo a la tabla 5.1, el baño de níquel fue contaminado por algún metal, como por ejemplo, cobre ó cinc, al revisar la superficie de los caimanes empleados para la sujeción de la pieza al cátodo, se observó que ésta terminó drásticamente sucia y de color negro.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 5.2 Tabla que muestra los resultados obtenidos de Ni 2 (I) / Cu	
Homogeneidad del deposito	pésima
Color del acabado	gris
Características el brillo	opaco
Imperfecciones en el acabado	manchas y grumos

COMENTARIOS

El material del que están hechos los caimanes de sujeción que fueron utilizados en esta práctica, no se conoce con certeza, pero se creyó que dicho material contaminaba la solución, por lo que no se volvió a emplear en el resto de las pruebas. La pieza que se niqueló fue lavada a mano, sin el uso de guantes, con agua y jabón previamente, pero no se sometió a un desengrase.

El valor del pH estuvo bajo, alrededor de 3.0

CONCLUSIONES

Se dedujo que el material de los caimanes contaminó la solución, sin embargo, esta teoría no se comprobó en esta primera práctica. El contacto previo de las manos con la pieza que fue recubierta, pudo haber dejado grasa en la superficie de ésta, lo cuál contribuyó a un mal acabado del niquelado.

5.3 PRÁCTICA # 2

OBJETIVOS

- Averiguar si el material de los caimanes de sujeción que fueron utilizados en la práctica No. 1 contaminó a la solución.
- Niquelar una placa de cobre de 0.5 dm^2 con un espesor de 1 mm (Figura 5.7)
- Elevar y mantener el valor del pH en su valor óptimo: 4.2
- Manipular la pieza sólo con el uso de guantes, para evitar residuos de grasa.

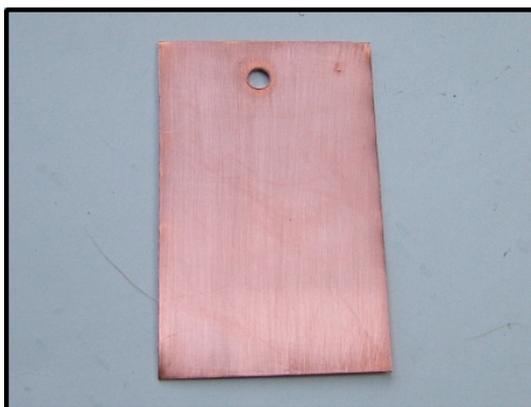


Figura 5.7 Placa de cobre lijada y perforada previamente.

CONDICIONES DE OPERACIÓN:

Temperatura: 60°C

Intensidad de corriente: 2 A

Potencial hidrógeno (pH) 4.2

Tiempo de operación: 60 s

Voltaje: 9.5 V

CONCENTRACIÓN DE ADITIVOS EN EL ELECTROLITO:

Sulfato de níquel	4400 g
Cloruro de níquel	1200 g
Acido Bórico	900 g
Turbobrite R2000 Inicial	200 g

DESARROLLO

1. El calentador se puso a trabajar con 2 horas de anticipación, aproximadamente, hasta alcanzar la temperatura de trabajo.
2. Se ajustaron las variables: corriente, voltaje y pH a los valores indicados en las condiciones de operación. Se decidió reducir el tiempo a 60 s , con la intención de observar si la pieza comenzaba a mancharse de negro como en la práctica No. 1, donde el pH tenía un valor de 3.0, por lo que fue necesario elevarlo con varias lechadas de 20 g de carbonato de níquel disueltos en 200 ml cada una de ellas. Cada solución con carbonato de níquel fue vertida lentamente en el electrolito e inmediatamente el pH fue revisado, hasta alcanzar el valor de 4.2, el cual es considerado óptimo para los baños de níquel brillante.
3. Se lijó y perforó la pieza a niquelar, utilizando siempre guantes al manejarla.
4. La pieza fue colocada en un recipiente con agua para evitar el contacto de ésta con el oxígeno del medio; así como con otros elementos que hayan podido actuar como impurezas.
5. Se sujetó la pieza mediante un gancho de titanio (Figura 5.8).



Figura 5.8 Gancho de titanio.

11. La pieza se colocó en la barra catódica en una posición adecuada, según las recomendaciones del capítulo de diseño.
12. Se puso en marcha la agitación por aire.

13. Se suministró la energía eléctrica y paralelamente se activó el cronómetro.
14. Después del tiempo señalado anteriormente, la pieza fue retirada del tanque.
15. Se suprimió la alimentación de todos los accesorios eléctricos.

CÁLCULOS Y OPERACIONES

Con la ayuda de la ecuación 2.1 se pudo conocer la cantidad de níquel; W [g] depositada sobre la placa de cobre.

$$W = \frac{I \cdot T \cdot M}{n \cdot F}$$

Datos:

$$I = 2 \text{ A}$$

$$T = 60 \text{ s}$$

$$M_{Ni} = 58.71 \text{ g/mol}$$

$$n_{Ni} = 2$$

$$F = 96500 \text{ A} \cdot \text{s/mol}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.1,

$$W = \frac{(2\text{A})(60\text{s})(58.71\text{g})(\text{mol})}{(2)(96500\text{A}\cdot\text{s})(\text{mol})} = 0.0365036 \text{ g}$$

Por lo que la cantidad de níquel depositada fue de 36.5 mg.

RESULTADOS Y OBSERVACIONES

La pieza resultó visiblemente más homogénea, sin presentar manchas oscuras como en la práctica 1, el acabado en general, fue aceptable, acentuándose el brillo en el contorno de la pieza. En el área de contacto de la pieza con el gancho de titanio, se pudo observar una parte cobriza sin recubrimiento, debido a que el periodo de tiempo

fue relativamente corto. Para una mejor apreciación del resultado obtenido, se incluye una fotografía de la pieza terminada (Figura 5.9).



Figura 5.9 Pieza niquelada.

Los resultados se registraron nuevamente en una tabla con la finalidad de facilitar su consulta y de mostrar las características del acabado de manera clara (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Tabla que muestra los resultados obtenidos de Ni 1 (I) / Cu	
Homogeneidad del deposito	aceptable
Color del acabado	níquel brillante
Características el brillo	semibrillante
Imperfecciones en el acabado	ninguna

COMENTARIOS

El acabado de la pieza mejoró mucho con respecto a la primera práctica, pero el tiempo de electrodeposición no fue suficiente para que la pieza presentara mas brillo.

CONCLUSIONES

Los caimanes que fueron empleados en la práctica 1 contaminaron a la solución y fueron culpables de las manchas oscuras que presentó la pieza niquelada de la misma práctica.

5.4 REPORTE DE LOS ENSAYOS RESTANTES

En seguida se muestran los resultados que se obtuvieron del resto de los ensayos realizados. Cada uno de ellos incluye una fotografía para facilitar la descripción de las características de cada pieza (Tabla 5.4).

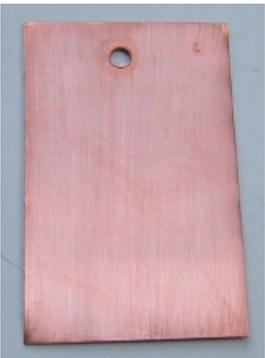
Tabla 5.4 Resultados de las últimas cinco pruebas realizadas.						
PIEZA No.	CONDICIONES DE OPERACIÓN		FOTOGRAFÍAS		DEPÓSITO DE NÍQUEL	OBSERVACIONES
			ANTES	DESPUÉS		
3 Placa de cobre $A = 1/2 \text{ dm}^2$	$V =$	9.5 V			0.14601 g	Presentó zonas opacas y zonas con brillo. Lo que implicó un acabado no satisfactorio.
	$I =$	2 A				
	$pH =$	4.2				
	$T =$	60° C				
	$t =$	4 min				
4 Placa de cobre $A = 1/2 \text{ dm}^2$	$V =$	9.5 V			0.07300 g	En la superficie se encontraron zonas ligeramente opacas y mostró mayor brillo en general.
	$I =$	2 A				
	$pH =$	4.2				
	$T =$	60° C				
	$t =$	2 min				

Tabla 5.4 Resultados de las últimas cinco pruebas realizadas.

PIEZA No.	CONDICIONES DE OPERACIÓN		FOTOGRAFÍAS		DEPÓSITO DE NÍQUEL	OBSERVACIONES
			ANTES	DESPUÉS		
5 Placa de cobre $A = 1/4 dm^2$	$V =$	5 V			0.03650 g	Presentó un mejor acabado y brillo que las muestras anteriores, sin embargo, el brillo todavía no es satisfactorio.
	$I =$	1 A				
	$pH =$	4.2				
	$T =$	60° C				
	$t =$	2 min				
6 Rondana Acero bajo carbono $A = 0.14 dm^2$	$V =$	9.5 V			0.05475 g	El acabado fue homogéneo con un brillo satisfactorio. El área de sujeción resultó manchada.
	$I =$	2 A				
	$pH =$	4.2				
	$T =$	60° C				
	$t =$	1.5 min				
7 Tubo de cobre $A = 1/2 dm^2$	$V =$	5 V			0.08213 g	Acabado exterior uniforme y brillo satisfactorio. El área interior del tubo no llegó a recubrirse completamente, debido a que el posicionamiento no fue el óptimo, ya que interiormente no se colocó un ánodo, y la pieza no se sumergió
	$I =$	1 A				
	$pH =$	4.2				
	$T =$	60° C				
	$t =$	4.5 min				

CONCLUSIONES

Después del trabajo realizado (diseño y construcción de un sistema de electrodeposición), se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Al enfrentar el diseño con la realidad, surgen nuevas complicaciones no contempladas hasta entonces, por ejemplo, que un dispositivo dé solución a un problema específico, pero que como resultado de su funcionamiento, entorpezca ó dificulte el trabajo de otro elemento del sistema.
2. Las propuestas teóricas, en la mayoría de los casos, además de estar fundamentadas científicamente, deben apegarse a los productos disponibles, ya que puede ocurrir que algún dispositivo con ciertas características no exista como tal en el mercado ó que si éste existe, su costo sea muy elevado. Aunque idealmente ésta no sea la mejor solución, en la práctica funciona bien.
3. Cada solución, trae consigo un subconjunto de problemas secundarios que ocasionan modificaciones de última hora.
4. La observación del sistema en operación, ofrece un panorama más amplio del problema y conduce a nuevas alternativas de solución para la mejora de algunos aspectos.
5. La creatividad no solo es una valiosa herramienta durante el proceso de diseño, sino un requisito indispensable.

En general, este trabajo pretende ofrecer a los compañeros de la carrera, una idea más clara de la forma en la que se lleva a cabo un proceso de electrodeposición a nivel industrial y aminorar las carencias de nuestros laboratorios.

Personalmente, nos deja valiosas experiencias que seguramente serán de gran ayuda en el ámbito laboral, además de la satisfacción de concluir con esfuerzo una preparación producto del trabajo en conjunto de profesores y alumnos. Esta aportación es una forma de agradecer a nuestra Universidad todas las lecciones académicas y de vida recibidas en esta Institución.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ávila Javier y Genescá Joan. Más allá de la herrumbre. 3ra. ed. México: La ciencia /9 para todos, Fondo de Cultura Económica, 2003.
2. Ávila Javier y Genescá Joan. Más allá de la herrumbre II. La lucha contra la corrosión. 3ra. ed. México: La ciencia /79 para todos, Fondo de Cultura Económica, 2003.
3. Blum William. Galvanotecnia y galvanoplastia: Dorado, plateado, niquelado, cromado. Trad. Lanuza Escobar J. A. México, CECSA, 1964.
4. Claudio Rodríguez Pedro. Galvanoplastia aplicada. Teoría y práctica. Buenos Aires, Alsina, 1998.
5. Caswell. The Caswell plating manual. Version 7. Estados Unidos, Caswell, 2003.
6. Díaz del Castillo Rodríguez Felipe. Tecnología de materiales II. Laboratorio de tecnología de materiales. México: FESC C4, 2005.
7. Dini J W. Electrodeposition: The materials science, coatings and substrate. Estados Unidos, Noyes publications, 1993.
8. Genescá Joan. Más allá de la herrumbre III. Corrosión y medio ambiente. México: La ciencia /121 para todos, Fondo de Cultura Económica, 1994.
9. Glayman J. Galvanotecnia, técnica y procedimientos. 2da. ed. España. Trad. Sanchiz Sarasola I, Técnicos Asociados, 1980.
10. John H. Meiser y Keith J Laidler. Fisicoquímica. México, CECSA, 1998.
11. Jurado Rojas Yolanda. Técnicas de investigación documental. México, Thomson, 2002.
12. Krick V. Edward. Introducción a la ingeniería y al diseño en la ingeniería. México, Limusa, 1980.
13. Muñoz Razo Carlos. Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis. México, Prentice Hall, 1998.
14. Poyner, J. A. Electroplating. Inglaterra, Argusbook, 1991.

15. Roberge Pierre R. Handbook of corrosion Engineering. Estados Unidos, McGraw Hill, 2000.
16. Winston Revie R. Uhlig's corrosion handbook. 2da. ed. Estados Unidos: John Wiley & sons Inc, 2003.
17. Zumdahl, Steven S. Fundamentos de Química. México, Trad. Aguilar Ortega María Teresa, McGraw Hill, 1994.

FUENTES ELECTRÓNICAS

1. <http://www.caswell.com>
2. <http://www.corrosion-doctors.org>
3. <http://www.corrosionlab.com>
4. <http://eippcb.jrc.es> (European Institute for prospective technological studies)
5. <http://www.elprisma.com>
6. <http://www.galvanolyte.com.mx>
7. <http://www.import.per.net>
8. <http://www.procainsa.com>
9. <http://www.san-jorge.net>
10. <http://www2.uca.es> (Universidad de Cádiz, España)

FUENTES ELECTRÓNICAS

1. <http://www.caswell.com>
2. <http://www.corrosion-doctors.org>
3. <http://www.corrosionlab.com>
4. <http://eippcb.jrc.es> (European Institute for prospective technological studies)
5. <http://www.elprisma.com>
6. <http://www.galvanolyte.com.mx>
7. <http://www.import.per.net>
8. <http://www.procainsa.com>
9. <http://www.san-jorge.net>
10. <http://www2.uca.es> (Universidad de Cádiz, España)