

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y
ATAQUE ELECTROLÍTICO EN MUESTRAS
METALOGRÁFICAS**

**PRESENTADO POR:
OSCAR ERNESTO AYALA SÁNCHEZ
JULIO CÉSAR FLORES ESCALANTE
WILLIAM ENRIQUE MENDOZA MACHADO**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2004

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :
Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :
Licda. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :
Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIO :
Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :
Ing. Juan Antonio Flores Díaz

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO MECÁNICO

Título :

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE
ELECTROLÍTICO EN MUESTRAS METALOGRAFICAS

Presentado por :

OSCAR ERNESTO AYALA SÁNCHEZ
JULIO CÉSAR FLORES ESCALANTE
WILLIAM ENRIQUE MENDOZA MACHADO

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :

Ing. Saturnino Gámez Guadrón

Docente Director :

Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

San Salvador, Febrero de 2004

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

Ing. Saturnino Gámez Guadrón

Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

AGRADECIMIENTOS

- En primer lugar a **DIOS**, por haberme dado la vida, la fortaleza y la sabiduría para poder cumplir con los objetivos que se pretenden alcanzar en la vida.
- A mis padres Julio Cesar Sánchez y María Angela Ayala (que descanse en paz), a quienes le dedico el alcance de esta meta, por tenerme la confianza y brindarme siempre todo su apoyo.
- A mis hermanos Miguel Ángel y Fernando de la Cruz por su ayuda y cooperación desinteresada.
- A mi esposa Lucía Patricia por brindarme todo su amor y comprensión
- A mi hijo Oscar Ernesto por inspirarme y motivarme a seguir adelante
- Mis cuñadas Ena Edelina y Cruz Maribel por su apoyo.
- Mi sobrina Karen Ivania por brindarme alegría y ser motivo de entusiasmo para toda mi familia.
- A mis compañeros de trabajo de graduación Julio César Flores Escalante y William Enrique Mendoza Machado por creer en mí, brindarme todo su apoyo y comprensión en los momentos mas difíciles de mi vida.
- A los Docentes Directores que nos guiaron y nos apoyaron en el desarrollo del trabajo de graduación.
- A todas aquellas personas que forman parte de mi familia, tíos, tías, primos y primas, suegros y mis cuñados.

- A todos los compañeros miembros de la SEIM que siempre me apoyaron: Elmer López Cisneros, Nelson Lima Jaco, Valeriano Valdez, Henry Cruz, Edwin Chicas, Efraín García, Roberto Villatoro, Carlos Solórzano, Ricardo Carranza, Misael Melgar, Luis Mozo, Mauricio Polanco, Juan Carlos Artiga, Herbert Salamanca, Juan Carlos López, Wilson Yáñez, Guillermo, Nelson Méndez, Elvis, Edwin Rivera, Leandro Orellana, Juan de Dios, Reinaldo Barrientos, Julio Escobar.

- A todo el personal de la unidad de producción que nos brindaron todo su apoyo.

Oscar Ernesto Ayala Sánchez

AGRADECIMIENTOS

En la vida existen momentos maravillosos con los cuales uno se siente satisfecho por el trabajo realizado, es por ello que me satisface el agradecer a:

DIOS TODOPODEROSO

Por permitirme culminar una etapa de mi vida proporcionándome salud, sabiduría, paciencia y sobre todo alumbrarme en mi camino.

MIS PADRES CRUZ ALBERTO FLORES Y JOSEFINA ELVIRA ESCALANTE

Por ser los padres que siempre estarán a mi lado en todo momento apoyándome incondicionalmente y deseando que cada día sea mejor y por ser las columnas sobre las cuales me sostengo. No hay ni habrá forma en como pagarles todo lo que han hecho por mi, ni palabras que decir para poder expresar todo lo que siento, “GRACIAS PADRES, LOS AMO”.

MIS HERMANOS

Jorge Alberto Flores, Héctor Antonio Flores y Guillermo Flores por apoyarme durante todo este trayecto y brindarme la confianza que no hay que pueda parar a una persona cuando quiere alcanzar una meta.

LA FAMILIA LÓPEZ

Francisco Antonio López, Ernestina Fernández de López y a sus hijas Johanna Melanie López y Jessica Yamileth López, que siempre estuvieron pendientes de la trayectoria de mis estudios superiores.

A MI NOVIA JOHANNA MELANIE LOPEZ

Por regalarme su apoyo y cariño durante el transcurso de mi vida y especialmente por ser uno de las personas que me inspiro a continuar con mis estudios universitarios logrando así el éxito de mi carrera.

MI TIA VERALIS FLORES

Gracias por permitirme ser parte de ustedes y apoyarme durante toda mi vida.

MIS PRIMOS Y PRIMAS

Especialmente a Ena Esmeralda Flores, Tito Valentín Flores, Abilio Flores y Maribel Flores; que no dudaron en ningún momento que podía llegar a culminar mi carrera y así brindarle una satisfacción a mi familia.

DOCENTES DIRECTORES

Por siempre estar dispuestos a colaborar y poner a disposición sus conocimientos para la realización del trabajo de graduación.

MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Oscar Ernesto Ayala Sánchez y William Enrique Mendoza Machado; por creer en mí y apoyarme en todo momento.

MIS COMPAÑEROS

Los estudiantes de ingeniería mecánica que sin negarse me aportaron ayuda en el momento que la solicite en especial a: Elmer Cisneros, Edwin Chicas, Efraín García, Lima Jaco, Misael Melgar, Juan Carlos López, Henry Cruz, Carlos Azucena, Raúl Argueta, Ricardo Carranza, Valeriano, Luis Mozo, Juan Carlos Artiga, Guillermo, Lucas, Nelson Méndez; si no menciono algún nombre porque se me olvido en el instante ruego me disculpen.

“Si haz culminado una obra sin errores, siéntete satisfecho y orgulloso por ser lo que eres, pero si no haz desarrollado la obra como querías, revisa que es lo que hiciste mal, que cuando comprendas que es lo que no te funcionó bien, te sentirás mas satisfecho y orgulloso de ser lo que eres”.

JULIO CÉSAR FLORES ESCALANTE

AGRADECIMIENTOS

En la vida existen momentos maravillosos con los cuales uno se siente satisfecho por el trabajo realizado, es por ello que me satisface el agradecer a:

DIOS TODOPODEROSO

Por permitirme culminar una etapa de mi vida proporcionándome salud, sabiduría, paciencia y sobre todo alumbrarme en mi camino.

MI ABUELA JUANA MENDOZA

Hasta el ultimo minuto de de su vida, me apoyo, para que yo no desmayara en mi intento por llegar a ser un profesional, es por esta razón que mi carrera profesional es una dedicación a su ardua labor que ella me entrego “GRACIAS ABUELA JUANA POR HABER SIDO TAN GRANDE Y HUMILDE DE CORAZÓN”.

MI PADRE ORLANDO MENDOZA CASTRO

Por ser él quien me empujo para que yo saliera adelante, apoyándome durante todo este trayecto y brindarme la confianza que no hay nada que pueda parar a una persona cuando quiere alcanzar una meta; gracias Padre por dejarme una gran herencia “MIS ESTUDIOS”.

MI HERMANO RUBEN ORLANDO MENDOZA

Por ser él quien junto a mi padre y abuela los únicos que saben todo lo que yo he recorrido para llegar hasta aquí, ellos son la fuente de inspiración para seguir adelante.

MI PRIMO CARLOS CESAR RAMIREZ

Gracias por alentarme y decirme lo grande que puedo llegar hacer si me lo propongo, por ayudarme en los momentos críticos de mis estudios, por ser él quien mas me ha engrandecido con las demás personas; quien no dudó en ningún momento que podía llegar a culminar mi carrera.

MIS TIAS Y PRIMOS

Por permitirme ser parte de ustedes y apoyarme durante toda mi vida; especialmente a mi tía y madrina Rosalinda Mendoza, mi tía Ana Mendoza.

DOCENTES DIRECTORES

Por poner a disposición sus conocimientos en las diferentes áreas de la Carrera de Ingeniería Mecánica, para la realización del trabajo de graduación, ya que siempre estuvieron dispuestos a colaborar en lo que les era posible.

MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Oscar Ernesto Ayala Sánchez y Julio Cesar Flores Escalante, por creer en mi y en mi forma de trabajo y apoyarme en todo momento.

MIS AMIGOS

A todos los que me apoyaron desde el inicio de mi carrera, Búho, Cabra, Miquillo, Tomas, Campesino, Chaflán, Chacha, Pineda, Moralito, Estrada, Juan Carlos López, Merino, La mosca, Mileto, etc. a los que fueron parte fundamental en el año que egrese y sin los cuales no hubiese sido posible este sueño: Valeriano Valdez, Lima Jaco, López Cisneros, Mani, Henry Cruz, Edwin Chicas, Efraín García, Roberto Villatoro, Ricardo Carranza, Misael Melgar, Luis Mozo, Mauricio Polanco, Juan Carlos Artiga, Herbert Salamanca, Wilson Yáñez, Nelson Méndez, Leandro Orellana, Juan de Dios; si se me olvida un nombre por favor discúlpenme.

Cesar Reynosa, Miguel Lara, Víctor Reynosa, Walter González, Iván González, Víctor Aldana, Iván Aldana, gracias por apoyarme durante gran parte de mi vida y por no dudar que llegaría hasta a donde me encuentro.

“Los hombres sabios aprenden con los errores que otros cometen; los tontos, con los propios”.

H. G. Bohn

“No hay que confundir nunca el conocimiento con la sabiduría. El primero nos sirve para ganarnos la vida; la sabiduría nos ayuda a vivir”.

Carey, S.

WILLIAM ENRIQUE MENDOZA MACHADO

INDICE

	Pág.
Introducción.....	i
CAPITULO I.....	1
1 Marco teórico.....	1
1.1 Pulido electrolítico.....	1
1.1.1 Mecanismos de pulido electrolítico.....	2
1.1.1.1 Relación entre potencial anódico y densidad de corriente.....	2
1.1.1.2 Efecto de variar la condición de electrolisis.....	4
1.1.1.3 Existencia de la capa viscosa y película superficial.....	6
1.1.2 Características eléctricas de los procesos de pulido.....	7
1.1.2.1 Relación entre potencial anódico, voltaje de celda y densidad de corriente anódica.....	7
1.1.2.2 Relación entre la resistencia de la celda y el voltaje de la celda.....	11
1.1.2.3 Determinación rápida de condiciones de operación óptima.....	11
1.1.3 Factores que afectan las condiciones de pulido.....	13
1.1.3.1 Voltaje y densidad de corriente.....	13
1.1.3.2 Temperatura del electrolito.....	14
1.1.3.3 Agitación del electrolito.....	14
1.1.3.4 Preparación inicial de la superficie.....	15
1.1.3.5 Tiempo de tratamiento.....	16
1.1.3.6 Tamaño del sistema.....	17
1.1.3.7 Imperfecciones en el pulido.....	17
1.1.4 Efectos del electropulido sobre el metal base.....	18
1.1.5 Aplicaciones del electropulido.....	19
1.1.6 Procedimientos generales para electropulido.....	21
1.1.7 Metales para electropulido.....	22
1.1.8 Ataque electrolítico.....	22
1.2 Disposición de aguas residuales del electropulido.....	23
1.2.1 Métodos para el tratamiento de aguas residuales.....	24

1.2.1.1	Tecnologías convencionales.....	25
1.2.1.2	Tecnologías emergentes.....	26
1.3	Normas y especificaciones para el pulido y ataque electrolítico.....	28
1.4	Ventajas y desventajas del pulido y ataque electrolítico con respecto a otros procesos.....	30
CAPITULO II.....		32
2	Estudio de la celda electrolítica.....	32
2.1	Electroquímica.....	32
2.2	Celda electrolítica para pulido y ataque.....	34
2.3	Requerimientos del local para la celda electrolítica.....	35
2.4	Equipo para electropulido.....	37
2.4.1	Tanques para electropulido.....	37
2.4.1.1	Materiales de construcción.....	39
2.4.1.2	Características de los tanques.....	40
2.4.2	Equipo para calentamiento y enfriamiento de la celda.....	42
2.4.3	Soportes o bastidores.....	45
2.4.3.1	Materiales de construcción.....	46
2.4.3.2	Aislamiento de los soportes.....	47
2.4.4	Sistemas de extracción y ventilación.....	47
2.4.4.1	Tipos de ventilación.....	48
2.4.4.2	Sistemas extractores.....	49
2.4.4.3	Ventilación general.....	51
2.4.4.4	Materiales especiales de construcción.....	52
2.4.5	Generadores de corriente continua y bajo voltaje.....	53
2.4.5.1	Detalles y especificaciones del equipo estándar.....	53
2.4.5.2	Tipos de motores impulsores.....	54
2.4.6	Rectificadores.....	54
2.4.7	Enjuague.....	56
2.4.7.1	Sistemas de enjuague.....	57
2.4.8	Secado.....	59

2.5 Reactivos.....	60
CAPITULO III.....	65
3 Diseño de la celda para pulido y ataque electrolítico.....	65
3.1 Dimensionamiento de las probetas.....	66
3.1.1 Diseño del montaje de las probetas.....	67
3.2 Selección de la fuente de energía.....	70
3.3 Diseño del tanque.....	73
3.3.1 Dimensionamiento del tanque.....	73
3.3.2 Selección del material del tanque para electropulido.....	77
3.4 Selección de los electrolitos para electropulido.....	78
3.4.1 Cálculo del volumen necesario por el tipo de reactivo.....	80
3.5 Selección del equipo para el calentamiento del electrolito.....	83
3.6 Selección del equipo para la agitación del electrolito.....	85
3.6.1 Alternativas para agitar el electrolito.....	86
3.6.2 Selección del mecanismo de agitación.....	86
3.7 Diseño de los soportes o bastidores para ánodos y cátodos	87
3.7.1 Soportes para ánodos.....	88
3.7.2 Dimensiones y disposición de los cátodos.....	94
3.7.3 Diseño de las barras conductoras.....	95
3.7.3.1 Aislador de la barra conductora.....	98
3.7.4 Aislamiento de los soportes para probetas.....	99
3.8 Propuesta del sistema de extracción y ventilación.....	100
3.9 Sistema de enjuague.....	105
3.10 Sistema de secado.....	106
3.11 Diseño de la estructura del banco de la celda.....	107
3.12 Requerimiento de espacio y las condiciones del local para la celda.....	108
3.13 Manejo y almacenaje de sustancias químicas.....	110
CAPITULO IV.....	114
4 Proceso de construcción y costos de la celda para pulido y ataque electrolítico.....	114
4.1 Hojas de proceso.....	114

4.1.1 Construcción del tanque.....	114
4.1.2 Construcción de las barras aisladoras.....	115
4.1.3 Construcción de los soportes porta probetas.....	115
4.1.4 Construcción del aislador vertical.....	115
4.1.5 Construcción del aislamiento horizontal.....	120
4.1.6 Construcción de las barras conductoras.....	120
4.1.7 Construcción de los cátodos.....	120
4.1.8 Construcción de los ganchos.....	120
4.2 Costos de construcción de la celda electrolítica.....	121
CAPITULO V.....	126
5 Pruebas y análisis de resultados.....	126
5.1 Ensamble de la celda.....	126
5.2 Preparación de las probetas.....	129
5.3 Preparación de los electrolitos.....	131
5.4 Procedimiento para el pulido y ataque electrolítico.....	132
5.5 Pruebas y resultados.....	136
5.5.1 Materiales.....	136
5.5.2 Determinación del número de pruebas para el pulido	139
5.5.3 Ensayo de pulido y ataque electrolítico del cobre AISI 110.....	141
5.5.3.1 Pulido electrolítico.....	141
5.5.3.2 Ataque electrolítico.....	145
5.5.4 Ensayo de pulido y ataque electrolítico del acero inoxidable AISI 304.....	147
5.5.4.1 Pulido electrolítico.....	147
5.5.4.2 Ataque electrolítico.....	150
5.5.5 Ensayo de pulido y ataque electrolítico del aluminio AISI 6061.....	155
5.5.5.1 Pulido electrolítico.....	155
5.5.5.2 Ataque electrolítico.....	157
CAPITULO VI.....	160
6 Manual de mantenimiento de la celda electrolítica.....	160
6.1 Programa de mantenimiento preventivo.....	160

CAPITULO VII.....	162
7 Costos del trabajo de graduación.....	162
Conclusiones.....	165
Observaciones.....	167
Recomendaciones.....	168
Referencias.....	170
Anexos.....	172

INTRODUCCIÓN

La evaluación y ensayo de los materiales metálicos es fundamental, tanto en las actividades de producción, como en las de investigación y desarrollo de materiales. Entre las técnicas de evaluación destaca la metalografía (herramienta fundamental de la metalurgia) pues permite caracterizar la estructura y los constituyentes de los metales y aleaciones, relacionando esta con propiedades tales como la resistencia a la corrosión y la resistencia mecánica. Así, basándose en los aspectos metalúrgicos de cada caso, el analista puede predecir el comportamiento de un determinado material bajo condiciones agresivas o severas, establecer las causas del fallo de un componente metálico y/o tomar medidas para prevenir o minimizar el daño en situaciones similares.

Para cumplir con este objetivo se hace uso de muchas técnicas existentes para la preparación de las probetas; entre las cuales se encuentra el pulido electrolítico (electropulido); el cual se vale del principio de funcionamiento de una celda electrolítica, produciendo una reacción química aplicando cierta densidad de corriente en un electrolito adecuado al material de las probetas en estudio, obteniendo el acabado necesario que permita hacer una adecuada observación en el microscopio metalográfico.

Durante el desarrollo del presente trabajo se incluyen el marco teórico sobre el electropulido, descripción general de la celda, el diseño y selección de los elementos, la construcción, pruebas y resultados donde se describen los procedimientos experimentales que se ejecutaron en el laboratorio con el fin de obtener los resultados apropiados y definir las condiciones de operación en el pulido y ataque electrolítico.

Al final se incluyen los manuales de mantenimiento y la estimación de los costos del trabajo de graduación.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

El objetivo principal de este capítulo es dar a conocer todas aquellas características que describen el proceso de electropulido, algunos conceptos, teorías, aplicaciones que existen, y otras generalidades que servirán para establecer una mejor referencia sobre dicho proceso, etc.

1.1 PULIDO ELECTROLÍTICO

El pulido electrolítico, según **Jacquet**, consiste en introducir la probeta en un electrolito adecuado y usarla como ánodo, haciendo circular por el sistema una intensidad de corriente eléctrica continua, elegida convenientemente, la cual es característica para el metal y electrolito utilizado. Cuando se hace que las probetas bajo condiciones adecuadas, se disuelvan como ánodos, su superficie se vuelve tersa y brillante. A este procedimiento se le conoce con el nombre de “**Electropulido**” o “**Limpieza electrolítica**”. Se deben considerar ciertos factores metalúrgicos para obtener la mayor ventaja del pulido electrolítico. Cuando se hace esto, se logran ahorros en el costo y mejoras técnicas que revelan la microestructura.

El grado de pulido alcanzado para una probeta dada, es función de la densidad de corriente, de la diferencia de potencial entre los electrodos, preparación de la superficie a tratar, de la composición y temperatura del electrolito, del arreglo de la celda y de la duración del proceso.

Durante el pulido electrolítico no se efectúa en el metal trabajo mecánico alguno, por lo tanto, las superficies electropulidas tienen propiedades únicas y ventajas en relación con el acabado de superficies por la acción cortante y frotante de los abrasivos y herramientas. Debido a estas diferencias, el pulido electrolítico no es otro método para producir la apariencia de brillo que se obtiene por el pulimento ordinario. Es un método para obtener nuevas cualidades y apariencias de superficies que son notables en muchas aplicaciones.

1.1.1 MECANISMOS DE PULIDO ELECTROLÍTICO

No existe una teoría generalmente aceptada en cuanto al mecanismo de acción del electropulido, pero ocurren ciertos fenómenos anódicos que caracterizan al electropulido, dichos fenómenos son:

- 1.- La polarización de los electrodos metálicos conduce, en ciertas condiciones, a la pasivación del ánodo, que desaparece agitando la solución o al interrumpir la corriente polarizante.
- 2.- Bajo ciertas condiciones, estos fenómenos inestables de la pasivación están relacionados con una pulsación de la corriente, por ejemplo un cambio espontáneo, periódico, más o menos rápido y marcado en la intensidad de la corriente.
- 3.- Los fenómenos de la pasivación del ánodo y la pulsación de la corriente están reflejados en una curva intensidad-potencial.
- 4.- La pulsación de la corriente va asociada a cambios visualmente observables en la superficie del ánodo.
- 5.- A cierta densidad de corriente, característica del metal y del electrolito, ocurre la transformación de la superficie del ánodo de mate a brillante y lisa, esta transformación va asociada, en ciertos casos por una pulsación en la intensidad de la corriente.

1.1.1.1 RELACIÓN ENTRE POTENCIAL ANODICO Y DENSIDAD DE CORRIENTE

Si es aplicado un incremento de potencial a la celda, y la celda permite alcanzar un equilibrio en cada cambio de voltaje, entonces el potencial del ánodo, el potencial del cátodo, y el voltaje de la celda se relacionaría aproximadamente con la densidad de corriente como se muestra en la Figura 1.1.

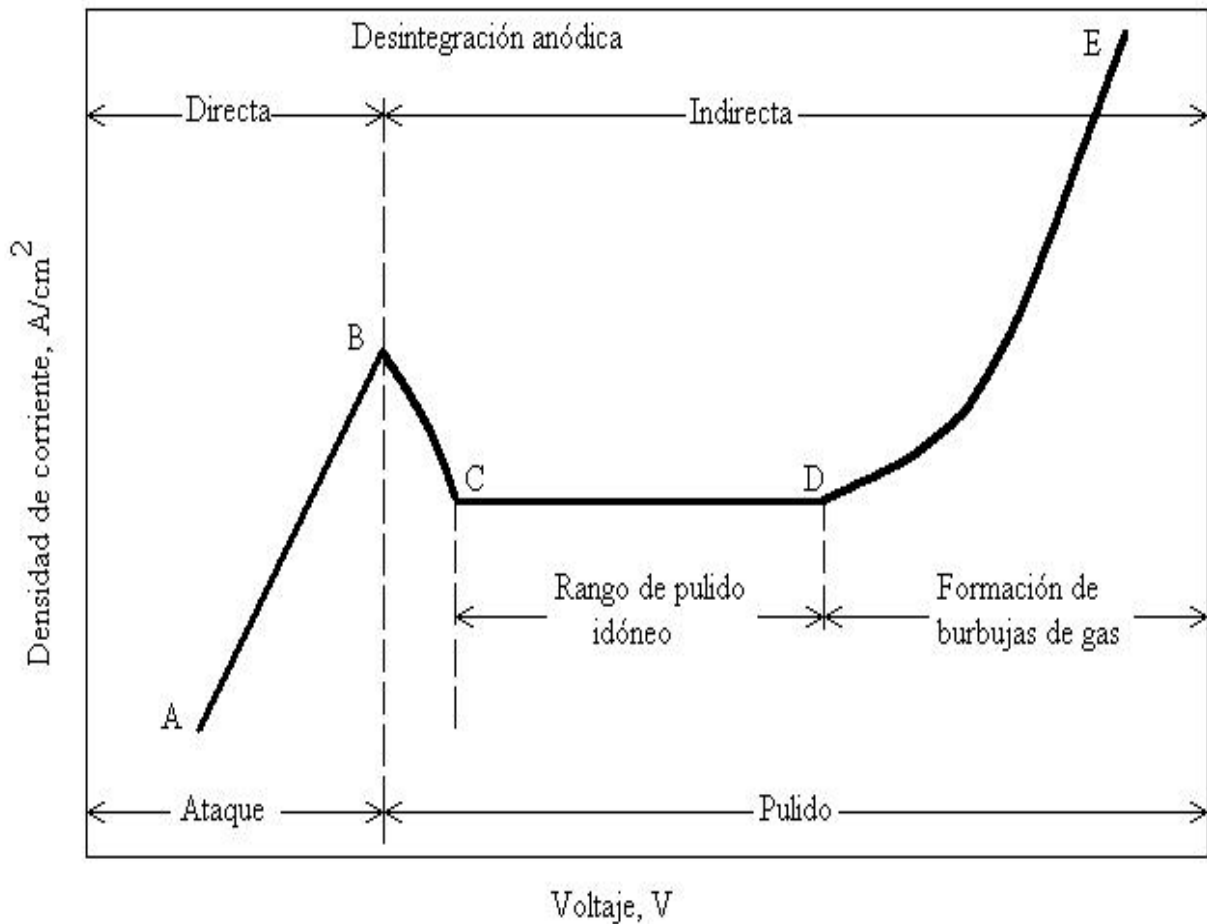


Figura 1.1. Curva de la densidad de corriente en función del voltaje.

(Fuente: ASM Handbook, Formerly Ninth Edition, Metals Handbook Volume 9, Metallography and Microstructure, Printed in the United State of America, 1995).

Los cambios en la condición de la superficie durante el tratamiento pueden relacionarse para secciones específicas de las curvas, correspondientes a cuatro fases principales.

A lo largo de AB la probeta es atacada; en BC ocurre inestabilidad, y oscilaciones periódicas de densidades de corriente; a lo largo de CD ocurre el pulido con densidad de corriente constante (comúnmente llamada límite de densidad de corriente), la calidad del pulido se incrementa con un aumento del voltaje hasta D; a lo largo de DE ocurre evolución de gas y la superficie se vuelve rugosa.

1.1.1.2 EFECTO DE VARIAR LA CONDICION DE ELECTROLISIS

Para estudiar el mecanismo del proceso del pulido, existen varias condiciones que influyen en la relación entre el potencial del ánodo y las curvas de la densidad de corriente:

Temperatura: Las investigaciones realizadas por **Honeycombe** y **Hughan**, determinaron la relación entre el potencial del ánodo y la densidad de corriente en ciertos valores de temperaturas para un electrolitito y un metal específico (un sistema de ácido fosfórico y probeta de cobre), en cada temperatura, la variación de voltaje (longitud CD en la Figura 1.1) fue la misma, pero esto ocurrió con diferentes densidades de corriente. Dichos resultados se resumen en la Tabla 1.1.

En dicha tabla se observa que al incrementar la temperatura, disminuye considerablemente la condición del pulido de la superficie de los metales.

Tabla 1.1. Efecto de la temperatura en el pulido del cobre.

Temperatura °C	Potencial del ánodo V	Densidad de corriente A/dm ²	Estado de la superficie
4.5	0.5-1.5	1.86	Pulido aceptable
22	0.5-1.5	3.88	Pulido aceptable
31	0.5-1.5	5.12	Pulido aceptable
50	0.5-1.5	8.37	Poco uniforme
70	0.4-1.4	8.06	Desigual

(Fuente: W. J. McG. TEGART, M.Sc., The Electrolytic and Chemical Polishing of Metals in Research and Industry, Pergamon Press LTD, London, 1956.)

Concentración: La relación entre el potencial del ánodo y la densidad de corriente del ánodo, que existe a temperatura ambiente varía con el grado de concentración que mantenga la solución como se presenta en la Tabla 1.2.

El grado de concentración en las soluciones no debe de ser muy baja ni muy elevada, ya que si es demasiada pobre la superficie solamente es atacada pero no pulida, y si es elevada existe pulido pero no se eliminan las ralladuras dejadas por el pulido previo.

Viscosidad: Los estudios realizados por **Hickling** y **Higgins**, determinaron que el límite de la densidad de corriente es inversamente proporcional a la viscosidad en soluciones de ácidos fosfóricos conteniendo cantidades variables de glicerol.

Tabla 1.2. Efectos de la concentración en el pulido de cobre

Concentración (g / l H₃PO₄)	Potencial del ánodo (V)	Densidad de corriente (A/dm²)	Estado de la superficie
65	0.3-1.3	5.27	Superficie totalmente atacada
130	0.4-1.5	9.92	Superficie totalmente atacada
196	0.5-1.4	8.68	Señales de pulido en los bordes de la probeta
261	0.6-1.5	11.63	Pulido en los bordes de la probeta
392	0.5-1.5	5.12	Pulido pobre en el centro de la probeta
522	0.5-1.5	3.88	Buen pulido en toda la superficie
1044	0.3-1.5	1.94	Buen pulido, pero aun existen rayaduras
1570	0.3-1.8	0.62	Buen pulido pero aun existen rayaduras originales

(Fuente: W. J. McG. TEGART, M.Sc., The Electrolytic and Chemical Polishing of Metals in Research and Industry, Pergamon Press LTD, London, 1956.)

Agitación: Una agitación mecánica aumenta el límite de densidad de corriente unas 3 o 5 veces, sin embargo hay que saber que las piezas son pulidas mejor, si se les brinda un movimiento moderado en una solución.

1.1.1.3 EXISTENCIA DE LA CAPA VISCOSA Y PELÍCULA SUPERFICIAL

Con la aplicación de corriente, se forma una película polarizada en la superficie metálica bajo tratamiento, permitiendo a los iones metálicos difundir a través de dicha película. Las micro y macro proyecciones, o puntos altos de la superficie rugosa, lo mismo que zonas con rebabas, son áreas de mayor densidad de corriente que el resto de la superficie, y se disuelven a mayor velocidad dando lugar a una superficie más lisa, nivelada y sin rebabas. Simultáneamente, y bajo condiciones controladas de intensidad de corriente y temperatura, tiene lugar un abrillantamiento de la superficie.

El espesor de la película no es constante, siendo mayor en los valles; y como su resistencia eléctrica es superior a la de la solución de electropulido, conduce a una disolución preferencial de los picos, y a una nivelación de la superficie.

En la Figura 1.2(a), se puede apreciar el esquema de un corte transversal (a escala microscópica) de la superficie al comienzo del procedimiento, y en la Figura 1.2(b), como después de un tiempo de tratamiento la superficie se ha disuelto y comienza a nivelarse.

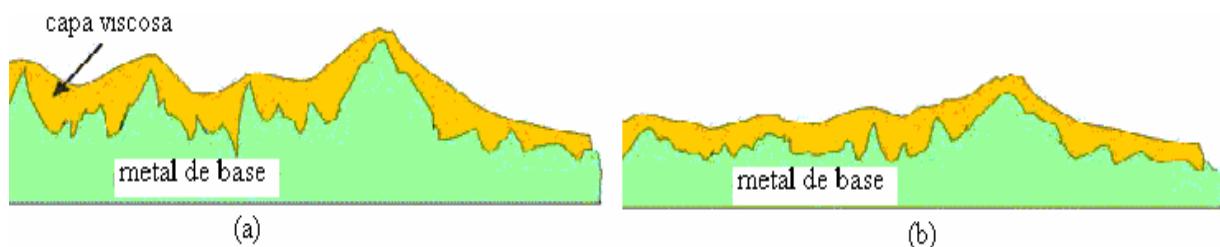


Figura 1.2. Vista transversal a nivel microscópico de la superficie sometida a electropulido.

Inicialmente, la superficie del ánodo puede ser cubierta con una película negra, pero esta desaparece tan pronto como se forme la capa viscosa. Parece que la presencia de una capa viscosa esta íntimamente asociada con el pulido, además es difícil determinar la composición de la capa viscosa, en parte porque su naturaleza química es compleja y en parte por las dificultades de las pruebas.

Al comparar este método con una superficie de acabado mecánico, la ausencia de rayas, deformaciones, restos de metal e incrustaciones de abrasivos caracterizan a la superficie electropulida, por lo que tiene la verdadera estructura cristalina del metal que no ha sido deformada por el trabajo en frío que acompaña a los métodos de acabado mecánico.

El tipo de acabado producido por el electropulido es totalmente diferente del que se produce por el pulido mecánico, el cual produce una superficie especular debido a que obliga al material deformado a presentar un plano uniforme y refleja la luz en una sola dirección. En el electropulido, la superficie es diferente, ya que si bien esta libre de rayaduras y tensiones, presenta una estructura tridimensional que refleja la luz en todas direcciones.

1.1.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS PROCESOS DE PULIDO

Cuando se requiere realizar el proceso de pulido, es necesario conocer todas aquellas características eléctricas que durante el proceso se puedan controlar para establecer la relación entre ellas, obteniendo de esta manera los mejores resultados posibles.

1.1.2.1 RELACIÓN ENTRE POTENCIAL ANÓDICO, VOLTAJE DE CELDA Y DENSIDAD DE CORRIENTE ANÓDICA

Los cambios en el ánodo son factores controlados en el proceso de pulido, la relación entre el potencial del ánodo y la densidad de corriente del ánodo debe usarse en cualquier estudio del mecanismo. Sin embargo en la práctica, no es posible la medición directa del potencial del ánodo;

por eso la relación entre el voltaje aplicado a la celda y la densidad de corriente del ánodo tiene que ser usada para controlar el proceso, y en algunos casos para estudiar el mecanismo de pulido. En la Figura 1.3, se muestra una celda para este propósito. En muchos casos donde se observa una densidad de corriente fija limitada, los resultados obtenidos con tal aparato dan una suficiente guía para las condiciones de operación. En estos casos la caída de potencial a través de la solución es comparativamente pequeña, y las curvas del voltaje de la celda contra la densidad de corriente del ánodo exhiben características similares para las curvas del potencial del ánodo. Sin embargo en otros casos, por ejemplo en algunas soluciones de ácido perclórico, la caída de potencial a través de la solución es grande, aproximadamente 20 a 30 V, mientras el potencial del ánodo es solamente de 3 a 4 V; solamente el voltaje total de la celda es considerado.

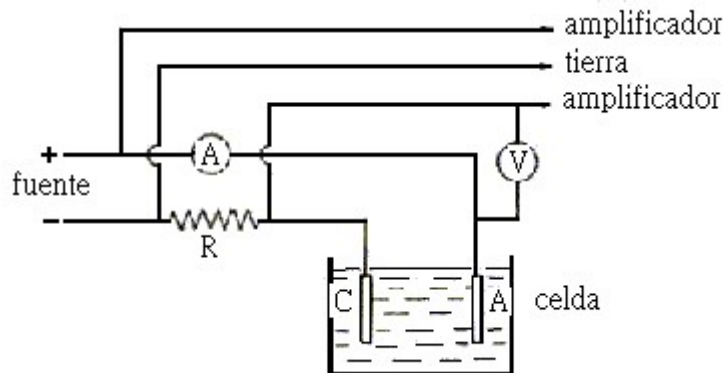


Figura 1.3. Circuito usado para el estudio de la relación entre el voltaje de la celda y la densidad de corriente del ánodo.

La relación entre el voltaje de la celda y la densidad de corriente del ánodo dependen de la caída de potencial a través de la celda, se ha desarrollado una confusión considerable a través del uso de dos tipos de circuitos para el control del proceso de pulido, como lo son el circuito potenciométrico y el circuito serie. Debido a esta confusión, es algunas veces hecha una falsa distinción entre dos formas de la curva del voltaje de la celda contra la densidad de corriente del ánodo. Las curvas de la forma mostradas en la Figura 1.1, son obtenidas usualmente con soluciones donde ocurre una pequeña caída de potencial a través de la celda y es utilizado un circuito potenciométrico; las curvas de la forma mostradas en la Figura 1.4, son obtenidas

usualmente con soluciones donde ocurre una caída de potencial grande a través de la celda y se utiliza un circuito serie. En el último caso, el límite de la corriente de la sección CD esta casi completamente ausente.

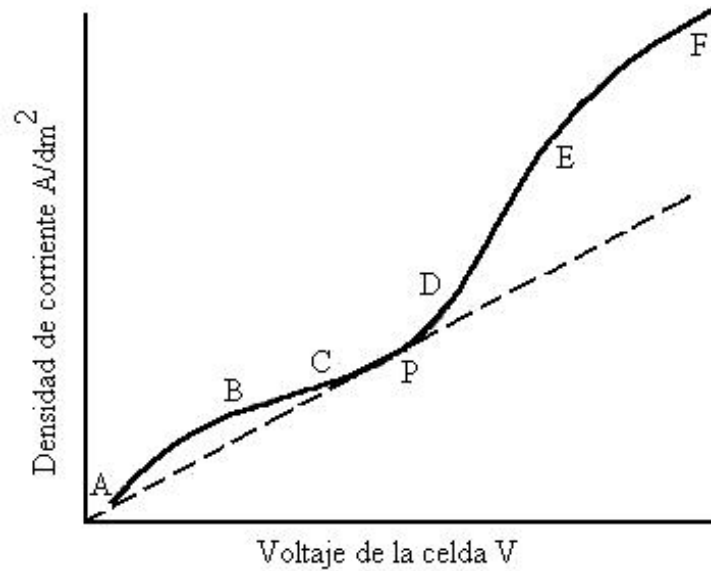


Figura 1.4. Forma general de la relación entre el voltaje de la celda y la densidad de corriente del ánodo cuando se utiliza un circuito serie.

Las diferencias entre las dos clases de resultados son explicados fácilmente, los circuitos respectivos son considerados en detalle (ver Figura 1.5 y Tabla 1.3) y se reconoce que hay equivalencia completa entre los dos circuitos.

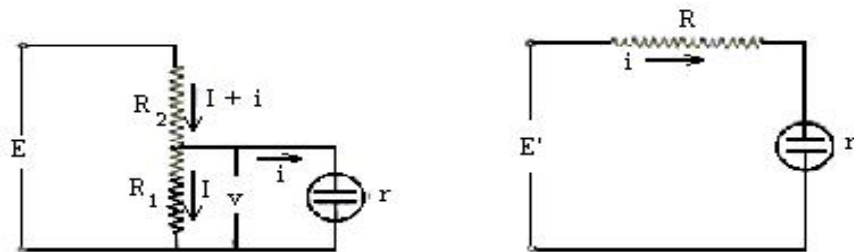


Figura 1.5. Comparación de los circuitos potenciométrico y serie.

Usando el teorema de **Thevenin** cualquier circuito potenciométrico puede ser reemplazado por un circuito serie equivalente, y viceversa. Por ejemplo los dos circuitos ilustrados en la Figura 1.5, tendrán características eléctricas equivalentes, con tal de mantener la relación siguiente:

$$E' = E \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$R = \left[\frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2)} \right]$$

Prácticamente los circuitos potenciométricos son equivalentes a circuitos series teniendo muy bajas resistencias, para que la corriente sea determinada principalmente por la resistencia de la celda, aunque el voltaje a través del resto de la celda sea sustancialmente constante para todas las condiciones.

Para operaciones optimas de un circuito potenciométrico, la resistencia R_1 de la sección del potenciómetro en paralelo con la celda debe ser pequeña en comparación con la resistencia de la celda (r). Cualquier incremento en la resistencia de la celda, como al inicio del pulido, es acompañada por una caída inmediata en la corriente, y esto proporciona una indicación sensible de los cambios en la celda.

Tabla 1.3. Relación de los circuitos potenciométrico y serie.

	Circuito potenciométrico	Circuito serie
Ecuaciones del circuito	$v = IR_1 = ir$ $E = (I + i)R_2 + v$	$E' = (R + r)i$
Relación para un pulido óptimo	$R_1 \ll (r + I)i$	$R \gg r$
Pérdidas de potencia	$(I + i)^2 R_2 + I^2 R_1 \cong I^2 (R_1 + R_2)$	$i^2 R$

Por otro lado, los circuitos series usualmente tienen una resistencia alta en serie comparada con la resistencia de la celda, y consecuentemente, la corriente es determinada principalmente por la resistencia en serie y no es afectada por variaciones en la resistencia de la celda. El voltaje a través de la celda variará como varíe la resistencia de la celda, y será aproximadamente proporcional a la resistencia de la celda.

Así, con una variación conveniente de las condiciones eléctricas, es posible obtener una serie de curvas de voltaje de la celda contra la densidad de corriente del ánodo.

1.1.2.2 RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA DE LA CELDA Y EL VOLTAJE DE LA CELDA

Desde que se forman las capas de los productos de reacción en el ánodo, aumenta la resistencia de la celda, la relación entre la resistencia de la celda y el voltaje de la celda puede ser usada para el estudio del mecanismo de pulido. Para la mayoría de combinaciones metal/electrolito, la gráfica de la resistencia de la celda contra el voltaje de la celda tiene un máximo único, el cual corresponde a las condiciones de operación óptima. La posición de esta máxima resistencia de la celda puede determinarse de la curva del voltaje de la celda contra la densidad de corriente del ánodo, dibujando una tangente a la curva desde el origen. El voltaje que corresponde a la máxima resistencia de la celda, depende del circuito que se use. Con un circuito potenciométrico, la máxima resistencia de la celda corresponde al final de la región CD del pulido, pero con un circuito serie la posición de la resistencia máxima de la celda no está claramente definido (ver la Figura 1.4).

1.1.2.3 DETERMINACIÓN RÁPIDA DE CONDICIONES DE OPERACIÓN ÓPTIMA

Es posible predecir las soluciones de pulido convenientes a partir de consideraciones químicas, pero se requiere a menudo investigaciones considerables para determinar las condiciones óptimas de operación.

Bertein¹ discute este problema, y propone el uso de celdas electrolíticas que permita una investigación simultánea de un alto rango de densidades de corriente del ánodo. Dos de estos arreglos son mostrados en las Figuras 1.6a y 1.6b. Si se le aplica una corriente fija a estas celdas, el ánodo muestra las zonas donde varía el acabado de la superficie, y la inspección indica si la solución es conveniente para el pulido. Si la solución es conveniente, los rangos óptimos de densidades de corriente pueden ser estimados de las posiciones y longitudes de las zonas pulidas. La celda mostrada en la Figura 1.6b, tiene las ventajas de permitir la observación del ánodo durante el paso de la corriente y el control exacto de la temperatura.

En cada celda, la densidad de corriente del ánodo es mayor cerca del nivel del líquido y disminuye progresivamente en el fondo. En operación, cuando una corriente constante pasa a través de la celda, el acabado a cualquier profundidad en el ánodo se relaciona a la densidad de corriente a esa profundidad.

Si el electrolito es de una composición conveniente para el electropulido, los rangos óptimos de la densidad de corriente pueden ser estimados aproximadamente de las posiciones y las longitudes de las zonas pulidas.

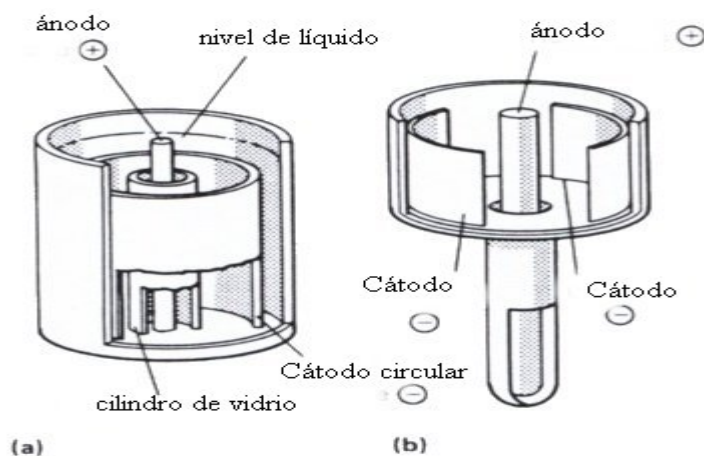


Figura 1.6. Celdas de pruebas utilizadas en la evaluación de las condiciones de operación del pulido.

¹ Fuente: W. J. McG. TEGART, M.Sc., The Electrolytic and Chemical Polishing of Metals in Research and Industry, Pergamon Press LTD, London, 1956

1.1.3 FACTORES QUE AFECTAN LAS CONDICIONES DE PULIDO

Diferentes métodos de electropulido no dan necesariamente el mismo resultado en cuanto a brillantez, apariencia y color sobre el mismo metal o pieza. Tampoco son iguales en costo, en sencillez de los factores de control, ni en extensión de aplicación. Las variables que afectan la apariencia del electropulido son:

1.1.3.1 VOLTAJE Y DENSIDAD DE CORRIENTE

En general, el electropulido del laboratorio es más satisfactorio bajo condiciones en donde se controle la diferencia de potencial que las condiciones donde se controle la densidad de corriente. Aparte de la dificultad de mantener una densidad de corriente constante, los periodos largos de la electrolisis con densidades de corriente muy sobre el valor estable (CD) puede resultar en evolución de gas, el cual puede causar defectos en la superficie. Además, durante la fase inicial del ataque anódico antes de que las condiciones de pulido se estabilicen, es deseable una densidad de corriente considerablemente alta, mas que los valores de estabilidad para pulir, a fin de minimizar el tiempo necesario para establecer las condiciones de pulido. Estas altas densidades de corriente iniciales, así como las densidades de corriente de estabilidad para el pulido, se logran simplemente aplicando desde el inicio de la electrolisis, una diferencia de potencial a la celda en el rango de pulido.

Sin embargo, cuando es necesario aplicar densidades de corrientes altas para producir el pulido, se pierde una considerable cantidad de energía en los circuitos potenciométricos, en estos casos se recomienda un circuito serie. Para que el circuito serie no sea sensible a los cambios de la resistencia en la celda, es necesario tener una resistencia grande en serie con la celda, y se requiere un suministro de voltaje alto.

1.1.3.2 TEMPERATURA DEL ELECTROLITO²

La resistencia de un electrolito disminuye con un aumento en la temperatura, y así el voltaje requerido para obtener la misma densidad de corriente es menor. El voltaje, V , para mantener una densidad de corriente, esta dado por la ecuación empírica:

$$V = K/(a\theta + b)$$

Donde θ es la temperatura y K , a , y b son constantes determinadas por la conductividad del electrolito, las dimensiones de la celda, y la corriente que pasa a través de la celda. Esta claro de esta ecuación que el voltaje requerido para mantener una densidad de corriente dada disminuye con un incremento de la temperatura. Sin embargo a temperaturas altas, la viscosidad del baño disminuye lo que hace más difícil mantener la capa viscosa en el ánodo. Así la temperatura óptima de operación debe ser seleccionada para minimizar la energía requerida sin dañar el acabado.

En algunos casos hay un aumento considerable en la temperatura de la solución durante el pulido, esto se debe en parte a la resistencia de la solución y en parte a la presencia de capas de resistencia altas en el ánodo.

1.1.3.3 AGITACIÓN DEL ELECTROLITO

Durante la electrolisis, bajo condiciones de estado estable, los productos de la reacción tienden a acumularse alrededor de los electrodos. En algunos casos, la difusión y la convección no pueden suministrar suficiente electrolito fresco al ánodo, y es necesario agitar para remover algunos de los productos de la reacción y mantener la capa viscosa en un espesor óptimo para el pulido. La agitación evita que las corrientes de gas cambien la dirección del flujo a través de la superficie de las piezas y esto se logra con más efectividad al cambiar la dirección del movimiento de la barra

² Fuente: W. J. McG. TEGART, M.Sc., The Electrolytic and Chemical Polishing of Metals in Research and Industry, Pergamon Press LTD, London, 1956

de trabajo. La agitación aumenta la velocidad del electropulido, acortando así la duración del proceso.


Sin embargo debe ser evitada una agitación excesiva porque esto puede destruir completamente la capa viscosa, y lograr impedir las condiciones de pulido. Revolviendo o agitando también se impide un calentamiento local excesivo debido al paso de la corriente a través de las capas de alta resistencia en el ánodo y resulta en una temperatura mas uniforme en la celda.

En muchos casos, los mejores resultados son obtenidos por rotación u oscilación del ánodo en lugar de la agitación de la solución. Sin embargo la agitación por medio de aire es suficiente en piezas de forma sencilla que requieren solo pulido de corta duración. Para el mezclado de las soluciones, se recomienda una agitación moderada por aire que mantenga una temperatura uniforme y evite la estratificación.

1.1.3.4 PREPARACIÓN INICIAL DE LA SUPERFICIE

La preparación y limpieza superficial puede definirse como “la remoción de grasa u otras materias extrañas” que se encuentren en la superficie de los metales y que se pueden eliminar realizando buenos procedimientos de limpieza.

Si hay que limpiar piezas, se debe considerar primero el material menos peligroso. Idealmente, el método de limpieza preferido implicará el número menor de pasos, empleará el medio menos tóxico y generará el menor residuo, como se presenta a continuación:

- Aire y agua
 - Abrasivos
 - Detergentes
 - Soluciones Alcalinas
 - Soluciones Ácidas
 - Solventes
- 
- Más deseable
- Menos deseable

Los medios más deseables de limpieza son el aire y el agua. Si estos no son efectivos, los medios abrasivos con aire y agua como acarreadores son los próximos más deseables. Estos pueden aplicarse frotando la pieza a mano o con un aparato de tipo soplete que utiliza presión.

Si para lograr la limpieza necesaria se requiere el uso de químicos, estos deben probarse en el orden siguiente: Las soluciones acuosas de detergentes, las soluciones alcalinas, las soluciones ácidas y los solventes.

Esta jerarquía se basa en los riesgos de las opciones impacto ambiental y los costos de tratamientos, pero principalmente se debe de identificar el tipo de suciedad que tiene la superficie y la preparación preliminar que se requiera para efectuar un pulido electroquímico, y poder posteriormente realizar un análisis metalográfico.

En general el tiempo del pulido disminuye con el incremento de la fineza y planeidad de la superficie inicial. Sin embargo, en algunos casos hay una rugosidad óptima del acabado inicial, por ejemplo **Von Hamos**³ recomienda que el acabado inicial debe ser dado con un pulido mecánico de papel lija 00 para cobre, papel lija 400 para latones y aluminio y papel lija 240 para metales blancos y aceros. La densidad de corriente uniforme y la falta de gradientes de concentraciones del electrolito en una superficie lisa parecen producir un aumento relativamente lento en concentraciones de iones de metal alrededor del ánodo, y así el establecimiento de las condiciones de pulido pueden requerir un tiempo más largo en una superficie lisa que para una superficie áspera o rugosa.

Si el acabado inicial es demasiado basto, el tiempo que se requiere para producir una superficie lisa es prolongado, y la cantidad de metal removido es excesivo.

1.1.3.5 TIEMPO DE TRATAMIENTO

El tiempo de electrolisis necesario para producir un pulido determinado varía con el metal, el estado inicial de la superficie y la solución usada. Sin embargo como una regla general

³ Fuente: W. J. McG. TEGART, M.Sc., The Electrolytic and Chemical Polishing of Metals in Research and Industry, Pergamon Press LTD, London, 1956

aproximada, se ha encontrado que el tiempo necesario de tratamiento es inversamente proporcional a la densidad de corriente usada.

El tiempo requerido en el electropulido es en general del orden de minutos; aunque es preferible trabajar con amperios-minutos de tratamientos ya que son una medida directa del tratamiento efectuado; en esta forma, a mayor densidad de corriente se emplea menos tiempo.

1.1.3.6 TAMAÑO DEL SISTEMA

Un factor muy importante en la operación de cualquier proceso electroquímico es el tamaño del sistema, ya que los cambios en tamaño pueden cambiar considerablemente las condiciones de operación; Esta es en parte la razón por lo que las soluciones usadas en el proceso de electropulido industrial son diferentes de aquellas usadas para el mismo metal en el laboratorio.

1.1.3.7 IMPERFECCIONES EN EL PULIDO

Aunque una superficie electropulida es generalmente lisa y brillante, tales condiciones ideales son obtenidas solamente con metales puros o aleaciones de una sola fase libre de inclusiones. Resultados pobres son obtenidos con aleaciones de dos fases o mas complejas. Para aleaciones, se pueden distinguir dos casos generales:

- a) Si la fase secundaria es anódica, esta es atacada preferencialmente y la intensidad del ataque depende del potencial local entre la segunda fase y matriz circundante.
- b) Si la segunda fase es catódica, la matriz es atacada preferencialmente alrededor de las partículas de la segunda fase y esto puede separar y erosionar la superficie. Esto puede suceder durante el pulido de aceros y hierro fundido.

En cada caso los efectos son intensificados por incrementos en la densidad de corriente y tiempo prolongado de pulido. Algunas veces se observan estructuras periódicas en superficies electropulidas y tienden a ocultar la verdadera estructura del metal.

1.1.4 EFECTOS DEL ELECTROPULIDO SOBRE EL METAL BASE

Con el fin de producir resultados favorables en el electropulido, se depende de las condiciones del metal, idóneas para electropulirse, estas condiciones vienen dadas por:

- La uniformidad del tamaño de grano y su finura.
- La homogeneidad de la estructura.
- Ausencia de defectos superficiales, como inclusiones no metálicas.

Se obtienen resultados mediocres con las aleaciones de dos o más fases, cuando el tamaño de grano es excesivo o cuando el metal ha sufrido un trabajo mecánico previo que deje tensiones en la superficie. Todos estos defectos se acentúan cuando se aumentan las densidades de corriente y el tiempo del electropulido.

Los resultados directos del electropulido son:

- La reducción del espesor de la capa exterior del metal debido a la disolución anódica.
- Un cambio en la microgeometría de la superficie.
- Un acabado brillante.

El electropulido también tiene efectos sobre las propiedades del metal relacionadas con su superficie. Al mecanizar los metales por medio de herramientas cortantes y abrasivos, queda expuesta la superficie a los cambios mecánicos y térmicos. Se producen deformaciones y roturas de la red cristalina superficial, convirtiendo los cristales en fragmentos de tamaño tanto más pequeño cuanto más cerca estén de la superficie. Aparece una superficie exterior deformada con tensiones internas.

En el cambio de estructura superficial intervienen también efectos térmicos. Todos estos procesos implican la formación sobre la superficie del metal de una capa con estructura y propiedades diferentes al resto del metal.

El efecto del electropulido sobre las propiedades de un metal o aleación, dependen de la naturaleza del material electropulido, su composición química, su estructura y el tratamiento mecánico previo, influyendo en el grado de reflexión obtenido, en el mejor de los casos se consigue de 80 al 90 % de reflexión. La reflexión se mantiene por más tiempo en superficies electropulidas que en las pulidas mecánicamente.

El electropulido no tiene efectos significativos sobre las tensiones internas, ni causa deformaciones de la superficie. El electropulido tiene efectos sobre la microdureza superficial del metal.

1.1.5 APLICACIONES DEL ELECTROPULIDO

Algunas de las aplicaciones del electropulido de las que se ha investigado pueden clasificarse como sigue:

Decoración: Los artículos formados en prensa, de metales laminados en frío, son los productos más importantes que se pueden producir en gran escala, electropuliéndolos en forma económica para darles una apariencia de calidad.

Los productos de alambre y los artículos igualmente intrincados pueden ser electropulidos para darles mejor apariencia a un costo mucho más bajo del que resultaría empleando medios mecánicos para el acabado.

Preparación para el electrorrecubrimiento: El electropulido es excelente en la preparación de superficies para electrorrecubrimientos. El metal depositado es más terso y libre de agujeros e imperfecciones y tiene una oportunidad para la mayor adherencia posible.

Al evitar la formación de metal dañado, el electropulido proporciona limpieza mecánica para completar la limpieza química (ausencia de óxidos) así como limpieza física (ausencia de materiales como grasa, granos de abrasivos).

Remoción de material: Puesto que el electropulido quita metal de manera uniforme, efectúa también una operación similar al de maquinado. Como tal, tiene la gran ventaja de no producir fisuras por tensión ni deformar los metales endurecidos. Su acción es independiente de la dureza del metal, si el proceso de endurecimiento no cambia las propiedades químicas. Debido a que no deja huellas de trabajo en la superficie, ni residuos metálicos, el electropulido proporciona superficies que tienen propiedades metalúrgicas sin igual en las áreas en que el metal frota con metal. El maquinado de precisión se obtiene a un costo menor del que resultaría con un trabajo a máquina más lento hecho por operarios especializado.

Metalografía: El electropulido es usado ampliamente en la metalografía de probetas de acero inoxidable, aleaciones de cobre, aleaciones de aluminio y otros metales que son difíciles de pulir por métodos mecánicos convencionales, además, para eliminar las distorsiones producidas por el pulido mecánico.

El pulido electrolítico puede remover completamente todos los rastros remanentes del metal trabajado por esmerilado mecánico y operaciones de pulido usados en la preparación de probetas. Cuando el electropulido es usado en metalografía, es precedido por esmerilado mecánico y seguido por un ataque electrolítico.

Determinación de espesores de recubrimientos: Aunque los métodos electrolíticos para la medición de espesores no ha gozado de una aplicación muy extensa, la falla en aplicarlos con mayor amplitud puede haberse debido en su mayor parte a la carencia de equipo comercial apropiado. El principio fundamental es sencillo. Si la muestra a probar se coloca en disolvente apropiado y se hace anódico, se producirá un potencial definitivo entre el recubrimiento y la solución. Este potencial persistirá en tanto el recubrimiento se este disolviendo, pero cuando el metal de base quede expuesto, se desarrollará un nuevo potencial entre el metal de base y la solución, aun si el metal de base queda en la solución anodicamente.

1.1.6 PROCEDIMIENTOS GENERALES PARA ELECTROPULIDO

Para efectuar un electropulido a cualquier material metálico se deben efectuar una serie de operaciones, como se muestra en la Figura 1.7 y dependen del tipo de aplicación.

La limpieza es necesaria antes del electropulido para quitar la suciedad de la superficie, como óxidos, grasa, aceite, huellas dactilares, manchas de los compuestos empleados en la embutición o en troquelado y manchas excesivas o escamas producidas por calentamiento. Todas las partículas sólidas deben ser quitadas de la superficie, de lo contrario actuarán como aislantes dejando zonas de pulido heterogéneo en la superficie como resultado del electropulido.

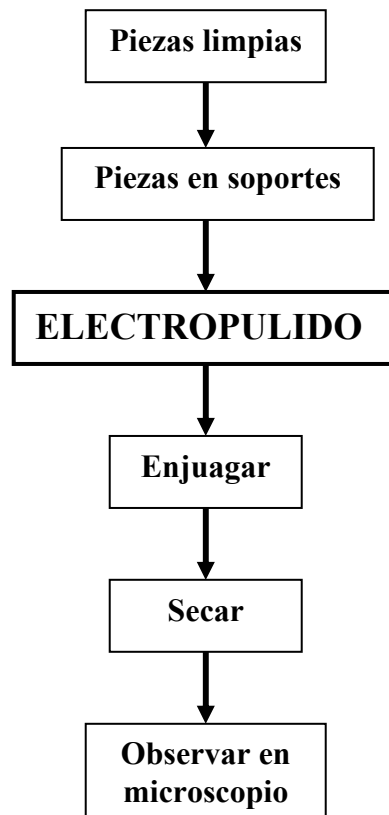


Figura 1.7. Procedimiento general para electropulido

1.1.7 METALES PARA ELECTROPULIDO

El éxito de un electropulido, en cuanto a su apariencia y costo, requiere metales con una estructura uniforme de grano fino, libre de grietas, inclusiones no metálicas y otras materias no homogéneas. Las aleaciones de fases múltiples no se electropulen bien en baños comerciales.

Las fases ricas en silicio, plomo o fósforo ocasionan dificultades. En la mayoría de los metales laminados es difícil lograr un buen electropulido si hay una reducción en cualquiera de las operaciones, un recocido inapropiado entre pasadas en frío, un decapado excesivo, pasadas de laminación con un alto porcentaje de trabajo en frío, descarburación de la superficie y esmerilado o laminado sobre rodillos sucios. Los cortes profundos hechos en el torno, fresadora, conformadora o esmeril son perjudiciales para un buen electropulido, como también lo es la limpieza por chorro de arena o de granalla en cualquier forma.

Aceros Inoxidables: La mayoría de los aceros inoxidables de uso más común, de las series 300 y 400, pueden ser electropulidos.

Acero: Se obtienen resultados satisfactorios del electropulido en aceros ordinarios al carbono tales como: AISI 1010, 1020, 1040 y 1080; Además aceros de baja aleación: 4130, 4030, 4340 y 4140.

Aluminio: La mayoría de las aleaciones laminadas de aluminio y varias de las fundidas en arena y en moldes metálicos pueden ser electropulidas.

Cobre: El cobre y las aleaciones de cobre pueden ser electropulidas satisfactoriamente.

1.1.8 ATAQUE ELECTROLÍTICO

Aunque puede ser obtenida cierta información de una probeta pulida, la microestructura es usualmente visible únicamente después del ataque. Solamente características que presentan una diferencia significativa en reflectividad (10 % o más) pueden ser observadas sin ataque.

En muchos casos, una probeta pulida no puede presentar las microestructuras porque la luz incidente es reflejada uniformemente, ya que pequeñas diferencias en reflectividad no pueden ser reconocidas por el ojo humano, se deben utilizar otros medios (microscopios, etc.).

Inmediatamente después que la operación del electropulido se ha completado, el ataque electrofítico puede ser realizado, en algunas aplicaciones reduciendo el voltaje a aproximadamente una décima parte del potencial requerido para el electropulido y entonces se continua con la electrolisis por unos pocos segundos, hasta revelar la microestructura del material.

1.2 DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL ELECTROPULIDO

Las partículas o iones de metal que se disuelven de las piezas, deben ser removidas del baño de electropulido para mantenerlo en operación. Esto se hace en algunos baños por electrodeposición sobre los cátodos. En la mayoría de los casos se hace por precipitación (sedimentación) de sales insolubles. En otros casos los metales no se depositan ni se precipitan, sino que permanecen disueltos, alcanzando una concentración a la cual disminuye la velocidad de un buen electropulido. Entonces se descarta una parte del baño “envejecido” y se reemplaza con baño fresco. Este procedimiento de “decantación” regular mantiene una buena composición electropulidora. El líquido desaguado normalmente de los baños de electropulido se reemplaza con un baño fresco o con una solución renovada.

El control más sencillo resulta cuando el metal recubre el cátodo en la misma proporción que se disuelve de la probeta. La sedimentación es técnicamente efectiva para remover metales y puede también aumentar el costo de operación.

El factor más importante para el control es la viscosidad del electrolito, la cual depende del agua y de la concentración del metal disuelto, de la relación de los constituyentes activos del baño y de la temperatura.

El objeto del tratamiento de las aguas de desperdicio, es el de producir un efluente satisfactorio y disponer de cualquier lodo o sólidos resultantes del tratamiento, con una instalación que se pueda operar a un costo general mínimo. Las cada vez mayores restricciones medioambientales implican la necesidad de tener definidos perfectamente los residuos que se generan en los diferentes procesos de investigación e industriales, para disponer de ellos convenientemente y evitar los posibles riesgos de impacto ambiental.

1.2.1 MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La tecnología para el tratamiento y acondicionamiento del agua ha avanzado hasta el punto de que ahora es posible convertir cualquier agua cruda en agua que tenga las características deseadas. El tratamiento se hace empleando uno o más tipos de procesos unitarios según se requieran. Un tratamiento más extenso si se requiere mayor calidad del agua, aumentará tanto el costo del equipo como el de la operación química.

En la mayor parte de los sectores industriales o de investigaciones de laboratorio, en los cuales se producen residuos, tanto de naturaleza sólida como líquida, se realizan diversas pruebas para conocer su nivel de toxicidad, clasificarlos y facilitar su gestión.

Las cada vez mayores restricciones medioambientales implican la necesidad de tener definidos perfectamente los residuos que se generan en los diferentes procesos industriales o de laboratorio, para evitar los posibles riesgos de impacto ambiental.

La caracterización de un residuo consiste principalmente en el conocimiento de su composición química y su toxicidad, con el fin de clasificarlo como residuo tóxico o no, y gestionar su última ubicación, bien en un depósito de seguridad en el caso de residuos tóxicos, bien estudiar su posible aplicación como combustible para generación de energía, o su posible reutilización.

Actualmente existen diferentes métodos para el control de la contaminación, los también denominados tratamientos al final del proceso. La selección del sistema más adecuado dependerá de las características particulares de los efluentes a ser tratados, entre éstas los caudales,

composiciones y concentraciones. Sin embargo, un factor decisivo en la selección de uno de estos sistemas será los costos asociados a la inversión y a la operación de tales sistemas.

Los residuos líquidos pueden ser tratados utilizando tecnologías convencionales o bien tecnologías emergentes. Dentro de las tecnologías convencionales se encuentran los procedimientos químicos que promueven neutralización, precipitación, sedimentación y filtración. Por otra parte, dentro de las tecnologías emergentes pueden ser utilizadas la evaporación, intercambio iónico, osmosis inversa, ultrafiltración, entre otras.

1.2.1.1 TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES

La aplicación de tecnologías que minimicen los tóxicos generados en procesos químicos, debe estar orientada al comportamiento de los componentes químicos obtenidos como residuos líquidos. Dentro de estas tecnologías se pueden mencionar:

Filtración: Es el proceso de infiltrar residuos líquidos a través de una cama porosa ó medio filtrante de tamaño y grado apropiados que normalmente es arena o carbón de antracita, pero que puede ser, para propósitos especiales, carbono activado o carbonato de calcio. El filtro puede ser un depósito de acero de tipo a presión, o un tanque abierto del tipo por gravedad construido de acero, madera, o concreto. Los filtros más pequeños se hacen, por lo común, del tipo a presión mientras que las unidades mayores pueden ser del tipo por gravedad que son más económicas en recipientes de gran tamaño.

El verdadero medio filtrante, a su vez, es soportado por tres o cuatro capas de grava o carbón más gruesos, cada una de tamaño diferente. La capa más gruesa en el fondo, descansa sobre el sistema colector de los líquidos filtrados.

Clarificación: Los sólidos suspendidos en el agua tienen una tendencia a asentarse si las partículas individuales son de densidad y tamaño suficientes. El proceso de asentamiento directo se conoce como sedimentación.

La velocidad de asentamiento decrece con la disminución del tamaño de las partículas para cualquier densidad dada de sólidos en suspensión; en consecuencia, podría resultar demasiado lenta la sedimentación directa para que resulte un medio práctico de tratamiento. En tales casos, se emplea la adición de coagulantes químicos.

Es comúnmente necesario añadir un reactivo alcalino, tal como ceniza de sosa junto con el coagulante químico para producir el coágulo deseado, especialmente para aguas de baja alcalinidad. Realmente el proceso de coagulación consiste de tres fases. La primera es un periodo de mezcla rápida que se consigue por medio de aire o por agitación mecánica para dispersar las sustancias químicas añadidas a través del agua sometida a tratamiento. El segundo es un periodo de mezcla lenta para promover el crecimiento de los coágulos, y el asentamiento quieto se efectúa en el tercer paso en el que los coágulos se asientan en el fondo para su eliminación.

Análisis: Es innecesario efectuar un análisis completo de las diversas muestras de aguas residuales; solamente es necesario determinar el pH y algunos componentes químicos críticos. Otra determinación útil es la cantidad de agentes neutralizantes necesarios para ajustar las aguas de desperdicios a un rango de pH predeterminado.

La neutralización del desperdicio líquido alcalino raramente es un problema; normalmente hay suficiente desperdicio ácido producido para lograr un pH satisfactorio.

1.2.1.2 TECNOLOGÍAS EMERGENTES

Las tecnologías emergentes en el tratamiento de residuos líquidos se basan fundamentalmente en procesos de separación y la mayoría de las veces requieren previamente, de la separación de efluentes o aguas residuales o bien modificaciones de planta. Se suma a ello, la necesidad de contar con una adecuada capacitación del personal, para la operación y manutención de los equipos. Dentro de estas tecnologías se pueden mencionar:

Evaporación: En esta tecnología, el residuo líquido es sometido a ebullición hasta su concentración, de modo que el vapor obtenido es condensado y puede ser reutilizado para

procesos de lavado o enjuague. La evaporación no es una técnica reciente y al ser aplicada como tratamiento, permite obtener un agua de alta calidad.

Intercambio iónico: Existen dos tipos de unidades de intercambio:

1. Catiónicos
2. Aniónicos

La unidad catiónica contiene un tipo específico de resina para remover los iones cargados desde la solución. Los cationes son reemplazados por iones hidrógeno que son desplazados desde la resina. Luego de un tiempo, la capacidad de la resina decrece, debiendo ser regenerada, por ejemplo con ácido sulfúrico. La unidad de intercambio aniónico contiene una resina que remueve los iones cargados negativamente, tales como cromatos y cianuro. Estos se reemplazan con iones hidroxilo (OH⁻), que se desplazan desde la resina, debiendo ser regenerada con una base fuerte como el hidróxido de sodio.

La tecnología de intercambio iónico es adecuada para el tratamiento o recuperación de materiales a partir de soluciones muy diluidas. Esta tecnología es utilizada para purificar las aguas drenadas de los procesos de lavado, pudiendo posteriormente, reciclarse las aguas purificadas.

Técnicas de membrana: Las tecnologías de membrana, tales como la osmosis inversa y ultrafiltración, son particularmente utilizadas en el tratamiento/recuperación de metales en sistemas de ciclo cerrado, provenientes de los residuos líquidos de las aguas de lavado. Las técnicas de membrana se utilizan usualmente, para concentrar los efluentes totales de una planta, con el fin de facilitar un posterior tratamiento químico.

Osmosis Inversa: es un proceso de separación a presión a través de una membrana, en la cual el flujo de residuo líquido alimentado a presión, es separado en un agua reconocida como producto, denominado permeado o permeato, que contiene muy pocas sales y un concentrado o rechazo, rico en sales. Esta separación se debe a una permeación selectiva del agua a través de una membrana semipermeable.

Ultrafiltración: en esta técnica, la solución a tratar es filtrada a través de un filtro muy fino con el propósito de remover sólidos, emulsiones y compuestos orgánicos de alto peso molecular.

Se utiliza en la regeneración de limpiadores alcalinos, refrigerantes o baños que requieran la remoción de partículas y aceites emulsificados. Además, se usa en el tratamiento de reducción de volumen de refrigerantes agotados, limpiadores y aguas de lavado.

1.3 NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA EL PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO

Las especificaciones de mayor interés sobre el pulido electrolítico son las elaboradas por la American Society for Testing Materials (ASTM), estas normas definen los términos técnicos y el procedimiento para obtener un electropulido de calidad y no pretende señalar todos los problemas de seguridad, que se puedan dar.

Es la responsabilidad del usuario de estas normas establecer la seguridad apropiada y prácticas saludables, además de regular las aplicaciones y las limitaciones antes de ser utilizadas.

A continuación se enlistan las normas ASTM relacionadas con el pulido electrolítico y prácticas metalográficas de especímenes:

E 1558-93: Guía Estándar para Pulido Electrolítico de Especímenes Metalográficos

Esta es una guía que trata del pulido electrolítico como un medio de preparación de especímenes para propósitos metalográficos. Se describen procedimientos para pulir una variedad de metales.

E 3-95: Métodos de Preparación de Especímenes Metalográficos

Esta norma describe las condiciones, la selección apropiada y la preparación de los especímenes a los cuales se les realizará un examen metalográfico, el cual tiene como objetivo revelar las fases e inclusiones estructura en los metales y sus aleaciones, por medio del microscopio óptico.

En casos especiales, el objetivo del examen pueda requerir la observación de más detalles que en otros casos. Por la diversidad de equipos disponibles y la gran variedad de problemas encontrados, esta norma es una guía para el metalógrafo, pero no describe la variedad de técnicas requeridas para resolver problemas individuales.

E 7-95: Terminología Relacionada a la Metalografía.

Esta norma cubre la definición de términos y símbolos usados en los documentos ASTM relacionados con el campo de la metalografía y los exámenes metalográficos. Los términos que son solamente relevantes para una norma particular, o que son definidos adecuadamente en un diccionario general no están definidos en esta terminología.

Esta norma incluye terminología usada en el área metalográfica, como son, pero no limitado a: Microscopio óptico, prueba de dureza por microindentación, preparación del espécimen para difracción de rayos X y microscopio de electrones, metalografía cuantitativa, fotomicrografía, y determinación del tamaño de grano y el contenido de inclusiones.

E 407: Métodos para Microataques de Metales y Aleaciones.

Esta norma cubre las soluciones químicas y procedimientos que se usan en el ataque de metales y aleaciones para su examen microscópico. Las precauciones de seguridad e información variada son también incluidas.

1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO CON RESPECTO A OTROS PROCESOS⁴

Cuando se aplica apropiadamente, el electropulido, puede ser una herramienta útil para la metalografía ya que ofrece varias ventajas:

1. Para algunos metales el electropulido puede producir una alta calidad en el acabado de la superficie, mejor que el obtenido por métodos mecánicos.
2. Cuando se ha establecido un procedimiento, se obtienen resultados satisfactorios rápidamente y pueden ser reproducidos con mucha facilidad.
3. Puede lograrse una reducción significativa de tiempo, si son pulidas simultáneamente muchas muestras de un mismo material.
4. En el electropulido, un área seleccionada en la superficie de un metal relativamente grande puede ser preparada sin destrucción alguna, esto es, sin la necesidad de estar seccionando para remover un fragmento.
5. El electropulido es particularmente satisfactorio para metales suaves y de fase única, los cuales pueden ser difíciles de pulir por métodos mecánicos.
6. La microestructura final de un espécimen preparado mecánicamente puede resultar con apariencias que enmascaren a los problemas reales (como lo son incrustaciones de metal, rayaduras y similares), los cuales son producidos en la superficie incluso con trabajos de rectificación cuidadosos y operaciones de pulido mecánico; esto no ocurre en el electropulido. Estas características son importantes en pruebas de microdureza, estudios de difracción de rayos-X y especialmente en el microscopio electrónico, en el cual las resoluciones altas son importantes, ya que esto requiere limpieza, y superficies de metal sin deformaciones.
7. Inmediatamente después que la operación del electropulido ha sido completado, el ataque electrolítico puede ser realizado en algunas aplicaciones reduciendo el voltaje

⁴ Fuente: E 1558-93: Guía Estándar para Pulido Electrolítico de Especímenes Metalográficos

(generalmente cerca de una décima del potencial requerido para el pulido), por un corto tiempo antes de que se finalice el procedimiento.

Las principales limitaciones o desventajas del electropulido son:

1. Muchas de las mezclas químicas usadas para electropulido son venenosas o peligrosas si no son manejadas apropiadamente; algunas de estas son altamente inflamables o potencialmente explosivas. Estos riesgos son similares a los que se presentan en el manejo y mezclado de las sustancias reactivas.
2. En aleaciones de fases múltiples, el grado de disolución de cada fase puede ser diferente. Esto resultará en una superficie que no es plana.
3. Las superficies electropulidas pueden quedar ligeramente onduladas, en lugar de ser perfectamente planas y, por consiguiente, no puede ser conveniente para la observación en todas las ampliaciones.
4. La porción pulida en áreas adyacente a imperfecciones, como las inclusiones no metálicas y porosidades, es normalmente mayor que en la matriz circundante y tiende a exagerar el tamaño de las inclusiones y porosidades.
5. Los materiales donde se montan los especímenes pueden reaccionar con el electrolito, produciendo calentamiento o explosiones.
6. Las superficies electropulidas de ciertos materiales pueden convertirse en pasivas y por lo tanto difíciles para atacar.
7. La cantidad (espesor de capa superficial) de metal removido por electropulido es normalmente baja, aproximadamente $1\mu\text{m}/\text{min}$, por lo que el daño inducido por el cortado y esmerilado no desaparece si la preparación se detiene antes de una lija de SiC (Carburo de Silicio) grado 600 y tiempos cortos de electropulido.

CAPITULO II

2 ESTUDIO DE LA CELDA ELECTROLÍTICA

Es difícil describir una celda de uso general, ya que los diferentes procesos presentan diferentes exigencias, por lo que deben tenerse en cuenta los diferentes factores que se necesitan controlar, como por ejemplo la agitación del electrolito, control de la temperatura, fuente de energía, etc.

2.1 ELECTROQUÍMICA

Para obtener una corriente eléctrica, debe haber una fuente de energía (potencial) y portadores de carga eléctrica. La fuente es generalmente una batería o alguna otra fuente de energía eléctrica. Los portadores de carga pueden ser los electrones, como en los metales, o los iones, como sucede en las sales fundidas o soluciones iónicas. El primer caso se denomina conducción metálica y el segundo conducción electrolítica. En la conducción metálica, los electrones se introducen en uno de los extremos del alambre, se desplazan a gran velocidad hacia el otro extremo: el alambre en su totalidad siempre se encuentra eléctricamente neutro.

Puesto que los electrones externos en el metal poseen una energía cinética muy alta y no están adheridos muy fuertemente a un átomo en particular, la conducción metálica es extremadamente alta. A altas temperaturas la conductancia disminuye. En la conducción electrolítica no hay electrones libres, pero sí iones que transportan la carga eléctrica. Al igual que en la conductancia metálica tiene que existir en todo tiempo una neutralidad eléctrica en cada parte de la solución; esto se consigue agregando iones positivos o negativos que se extraen con igual rapidez. Existen dos tipos de conductancia electrolítica: a través de celdas electrolíticas, en las cuales la energía eléctrica origina una reacción química, y las celdas voltaicas o galvánicas, en las cuales una reacción química produce energía eléctrica. En una celda electrolítica, la energía eléctrica es utilizada para generar una reacción química (ver Figura 2.1). En la celda, los electrones se desplazan desde el ánodo a través del circuito externo hacia el cátodo. Los aniones se dirigen hacia el ánodo, en donde se produce la oxidación. Los cationes se dirigen hacia el cátodo donde

se produce la reducción. Hay que tener en cuenta que estas reacciones se producen debido a la energía eléctrica suministrada al sistema. Tanto la oxidación como la reducción ocurren en la celda. Los electrones perdidos por una sustancia deben ser ganados por la otra. En cada caso cualquier reacción en el cátodo es una reducción y en el ánodo es una oxidación.

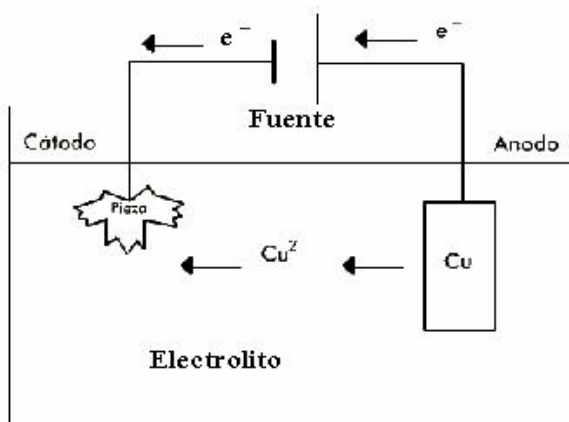


Figura 2.1. Principio de la celda electrolítica

Una celda electroquímica es una combinación del tipo mostrado en la Figura 2.2:

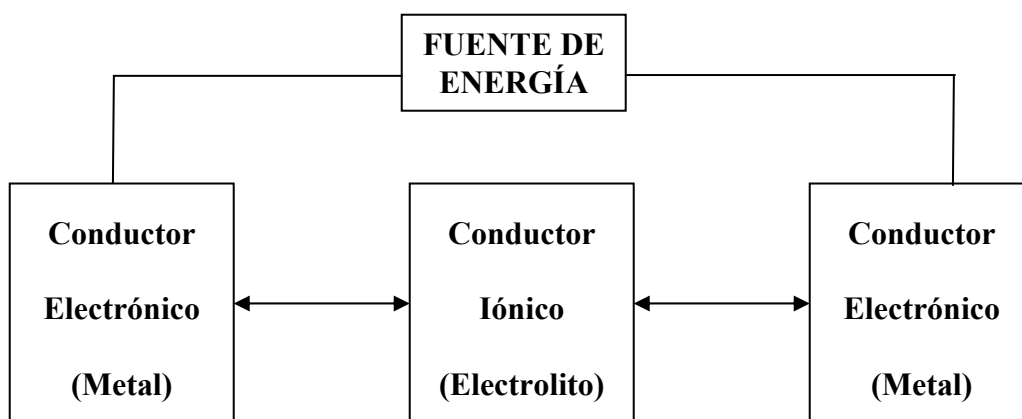


Figura 2.2. Esquema que representa como se relacionan los elementos de una celda electrolítica.

En ella pueden tener lugar procesos electroquímicos con el paso de una corriente eléctrica. Si la celda electroquímica produce energía eléctrica, causada por el consumo de energía química, se dice que tenemos una **celda galvánica** ó **pila**. Si, en cambio, la celda electroquímica consume corriente de una fuente de corriente externa, almacenando como consecuencia energía química, se dice que tenemos una **celda electrolítica**.

El transporte de electricidad por los iones desde la superficie de los electrodos a través del electrolito puede ir acompañado de reacciones químicas. Fue **Faraday** quien estudió este tipo de reacciones y enunció las leyes que la rigen:

- 1.- La cantidad de un elemento o solución que se libera en un electrodo es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que pasa a través de la disolución.
- 2.- Si la cantidad de electricidad es constante, el peso de distintos elementos liberados es proporcional a sus equivalentes químicos. La cantidad de sustancia liberada por un culombio se conoce como equivalente electroquímica. El equivalente electroquímico es igual al peso atómico dividido por la carga del ión. La cantidad de electricidad necesaria para hacer reaccionar un equivalente electroquímico se llama Faraday y es igual a 96,500 culombios.

2.2 CELDA ELECTROLÍTICA PARA PULIDO Y ATAQUE

Para el electropulido es necesario hacer uso de una celda electrolítica, la cual puede estar conformada por los elementos básicos, como se muestra en la Figura 2.3. Esta es simplemente un contenedor para el electrolito, en el cual el cátodo y el ánodo están suspendidos en el electrolito. La celda usualmente está hecha de vidrio, pero los polímeros tales como el polietileno o polipropileno deben ser usados para soluciones que contengan iones de fluoruro. Algunas veces la celda usada puede ser de acero inoxidable, el cual puede servir también como cátodo. Frecuentemente la celda está rodeada por agua o un baño con hielo, o es enfriada por otros métodos.

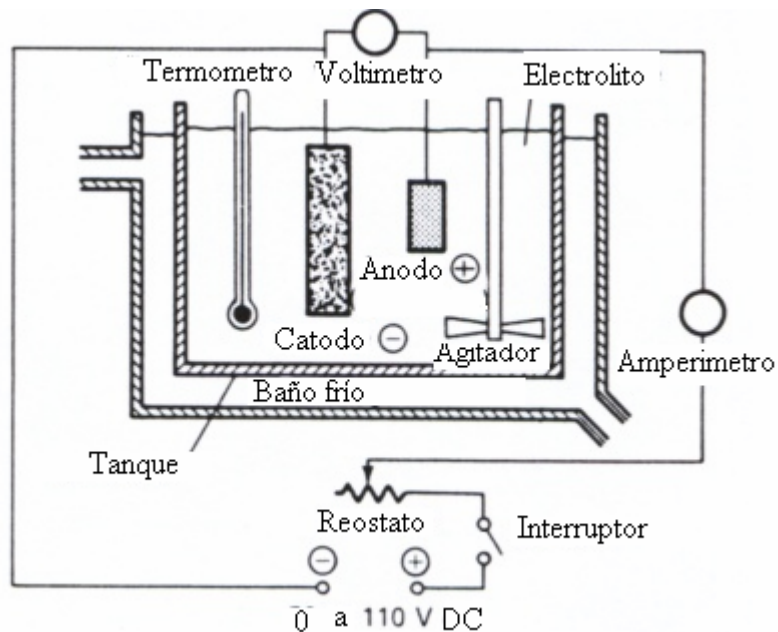


Figura 2.3. Celda electrolítica típica para electropulido

(Fuente: ASM Handbook, Formerly Ninth Edition, Metals Handbook Volume 9, Metallography and Microstructure, Printed in the United State of America, 1995).

2.3 REQUERIMIENTOS DEL LOCAL PARA LA CELDA ELECTROLITICA

La ambientación de un local de electropulido dentro de un espacio físico es un asunto de considerable importancia. Se le debe situar en relación con las operaciones de pretratamiento y postratamiento para obtener un flujo uniforme de las piezas al entrar y salir del laboratorio con un mínimo manejo y almacenamiento temporal. Además, se deben considerar dos factores controladores del diseño que implican la habilidad, en primer lugar para extraer los humos corrosivos y perjudiciales sin peligro para el personal de laboratorio o de los alrededores y segundo descargar las aguas del enjuagado y encargarse de las sustancias químicas que se puedan derramar sin daño al personal o al medio ambiente.

Se prefiere la localización en un piso bajo, pero esto requiere que todas las fuentes de humos sean dirigidas al exterior por medio de chimeneas lo suficiente altas para librar la parte superior del edificio y llenar los requerimientos locales. La colocación en el piso superior favorece la

extracción de los humos pero requiere un mantenimiento muy cuidadoso de los tanques, pisos, drenajes, sumideros, y tuberías para evitar fugas y daños en los pisos inferiores.

Cualquier instalación de electropulido, independientemente de su tamaño, deberá contar con los siguientes requerimientos fundamentales:

1. Almacenamiento de las probetas
2. Espacio para almacenamiento de los reactivos
3. Área adecuada para el procesado que incluye prelimpieza, electropulido, y tratamientos posteriores
4. Espacio adecuado para la inspección de las probetas
5. Área protegida para la colocación de la fuente
6. Área adecuada para la disposición de las aguas residuales
7. Espacio para lavabos

En general, un sistema operado manualmente no encuentra dificultades en cuanto a la altura del techo, porque la profundidad de los soportes esta limitada por la longitud del brazo del operador y aún con una plataforma elevada alrededor de los tanques es suficiente un promedio de altura de techo de 2.5 a 2.75 m. Sin embargo, con dispositivos de transferencia mecánica tales como soportes elevadas, pueden emplearse con ventaja soportes más profundos y la altura de techo deberá ser considerada como un factor limitador.

El piso del local deberá ser construido de material de concreto, o baldosas (azulejos), ya que los pisos absorbentes de madera u otros materiales similares pueden ser peligrosos, sobre todo cuando las soluciones ácidas se han secado, y la madera puede ser sensible a la ignición por medio de la fricción.

Los bancos del laboratorio deben construirse de materiales resistentes y no de madera, para prevenir absorción ácida, sobre todo a la superficie del fondo que descansa en el suelo y estaría sujeto a una mayor exposición de los derramamientos del ácido. Se recomiendan los estantes, armarios y armario-estantes de acero.

2.4 EQUIPO PARA ELECTROPULIDO

La mayor parte del equipo de electropulido utiliza materiales estándar de construcción. El electropulido tiene unos cuantos requisitos especiales:

- 1.- Debido a las densidades de corrientes más elevadas, la barra conductora y la estructura de los soportes deben ser más pesadas, y el contacto del soporte a la pieza y del soporte a la barra debe ser firme y positivo.
- 2.- Los refuerzos de los tanques del baño pulidor deben ser mas pesados, porque estos pesan mucho mas, por lo común, que los baños para depósitos electrolíticos.
- 3.- La contaminación y las impurezas son un problema mucho menor.
- 4.- Por lo común, la conductividad del electrolito es baja, de manera que los voltajes son mayores y el efecto de calentamiento es más grande.

2.4.1 TANQUES PARA ELECTROPULIDO

El principal requerimiento de un tanque para una celda electrolítica, es mantener el líquido (electrolito) sin fugas y sin contaminación por un período de tiempo deseado. El líquido específico y la temperatura a usar determinará la selección del material de construcción o del revestimiento. El tamaño del tanque, forma y construcción, depende de su uso, del material de construcción y del tipo de instalación en que se utilizará.

Para baños ácidos el tanque debe estar forrado, por lo común con plomo químico, también se puede emplear acero inoxidable u otro material resistente a la corrosión. El líquido de los baños electropulidores pesa de 1.5 a 2 kg/L aproximadamente, por lo tanto los tanques deben ser contruidos en forma especial para líquidos pesados; se prefiere la construcción con placas de acero soldadas.

Deberá haber amplio espacio en el tanque para los soportes, cátodos y serpentines de calentamiento o enfriamiento, porque la operación de electropulido se recomienda de 1 a 1.5 A/L, si se proporciona un dispositivo adecuado de enfriamiento la operación puede exceder los 1.5 A/L. La distancia de los cátodos a las paredes del tanque y a los serpentines, más la del fondo del tanque a la probeta, deberá ser mayor que la distancia de la probeta a los cátodos; esto evita desviaciones de la corriente al tanque que produciría un electropulido irregular. Otro procedimiento para evitar las desviaciones de corriente es proteger los extremos, lados y fondo del tanque con hojas de vidrio resistentes al calor.

El tanque deberá tener una profundidad de 305 mm mayor que la del punto más bajo de los soportes. Algunos tipos de baños se agotan o vencen en períodos de 1 a 4 meses, otros de 6 a 12 meses.

La anchura del tanque debe ser lo suficiente como para permitir acomodar una fila de probetas y dos filas de cátodos o dos filas de probetas y tres de cátodos. La longitud del tanque debe exceder la necesidad para las piezas colocadas en los soportes y permitir el movimiento de la barra de trabajo.

Las barras que sostienen a los cátodos y a las probetas deben estar separadas del tanque por medio de aisladores no absorbentes tales como porcelana, vidrio. La madera y los plásticos absorben baño electropulidor y ocasionan cortocircuitos en el tanque.

2.4.1.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los materiales usados para construcción de los tanques deben ser químicamente resistentes al líquido (electrolito) que vaya a contener, a menos que se use un revestimiento, en cuyo caso el revestimiento debe llenar este requerimiento. En cualquier caso el líquido no debe ser contaminado.

Tanto el material de construcción como el uso del revestimiento, son determinantes en el diseño de un tanque.

Los materiales más comunes para los tanques son: la madera, plástico, vidrio, cerámica, concreto y acero, como se describe a continuación.

Tanques de madera: Los tanques de madera se han usado extensamente en el pasado. En la actualidad su uso está limitado. Los tanques circulares se emplean principalmente para el mezclado o el almacenamiento, en tanto que los tanques rectangulares se utilizan para decapar, enjuagar y algunas aplicaciones de electrorrecubrimiento. Se puede hacer uso de una gran variedad de maderas como el ciprés rojo, el abeto, el pino amarillo, etc.

Algunas veces los tanques de madera son revestidos con materiales comunes como plomo, plásticos, hule o asfalto. En tales ocasiones la madera se vuelve sencillamente un cascarón de soporte y la selección de la madera se vuelve relativamente poco importante.

Tanques de polímeros: Varios materiales poliméricos se vuelven más populares hoy en día, como lo son:

- a.- La fibra de vidrio aglutinada con resina poliéster
- b.- Resina acrílica
- c.- Polietileno
- d.- Polipropileno

Tanques de acero: El acero es el material de uso más común para la construcción de los tanques, debido a su bajo costo, gran resistencia y facilidad de fabricación. Es apropiado mecánicamente para todos los baños electrolíticos, pero se aplica algún revestimiento para prevenir la contaminación por el hierro y en especial para aislarlo contra las corrientes parásitas. La elevada resistencia del acero se utiliza totalmente en el diseño de los tanques para soportar varias partes del equipo y accesorios, tales como entradas, salidas y otras características especiales según se requiera.

2.4.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS TANQUES

La forma general de un tanque para electropulido convencional es la de una caja sin tapa, sin embargo, a estas cajas se añaden ciertas características según se requiera: para mayor resistencia, drenaje, circulación del líquido para una operación eficiente.

A continuación se mencionan algunas de las características principales:

Soportes para la base del tanque: Estos deberán colocarse a través de los tanques grandes y espaciados lo suficiente para prevenir que el fondo del tanque se pandee debido al peso de la solución (electrolito).

Cercos para tanques: Los cercos para tanques sirven para diversos propósitos: como tirantes para el borde superior del tanque, y como dispositivo de soporte para las barras de cátodo y ánodo, serpentines, controles, etc. Los cercos pueden ser de cualquier forma estructural que proporcione un refuerzo adecuado, el ángulo de hierro es el material mas adecuado para este propósito. Para la construcción de tanques pequeños, limitado al uso de láminas de 4.5 a 6.35 mm de espesor. Es suficiente un borde doblado de 51 a 76 mm (como se ilustra en la Figura 2.4).

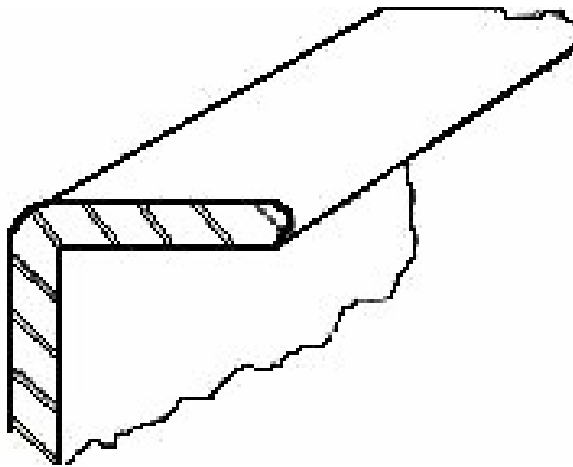


Figura 2.4. Borde doblado para la construcción de tanques pequeños

(Fuente: Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967)

Refuerzos del tanque: Cinchos de refuerzo que pueden ser de cualquier forma estructural, para evitar cualquier pandeo apreciable, y el material a utilizar puede ser ángulo de hierro.

Tirantes laterales: Los tanques grandes y profundos requieren más soportes que el proporcionado por el cerco de ángulo de hierro.

Fondos: El diseño y la pendiente del fondo de un tanque son importantes debido a que influyen la habilidad de desaguar sin retención el líquido y de eliminar por medio de lavado los sólidos tales como suciedad o lodo.

Muchos sólidos se asientan y se pegan a superficies inclinadas a un ángulo mucho mayor que el de la inclinación práctica para fondos con declive. Sin embargo, un fondo ligeramente inclinado es una ayuda para completar el desagüe y la limpieza con manguera (como se observa en la Figura 2.5)

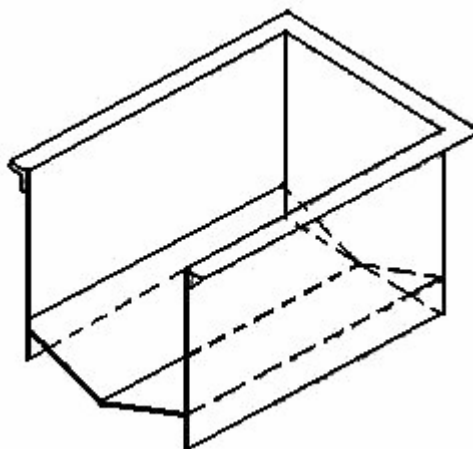


Figura 2.5. Fondo de tanque con doble inclinación.

(Fuente: Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967)

Montaje de las válvulas de desagüe: En el caso de un tanque sencillo sin sumidero el desagüe deberá ser colocado en el fondo y cerca de una esquina, para facilidad de instalación y mantenimiento, para que cuando se limpie, todo el lodo pueda ser arrastrado por lavado hacia esa esquina y desaguarla.

Accesorios de los tanques: Sobre un tanque en reposo se pueden montar varios accesorios y mecanismos. Estos pueden incluir barras, ánodos y cátodos, las primeras sirven como soportes para los ánodos y los cátodos; las unidades o serpentines para calentamiento y enfriamiento, agitadores, líneas para agitación por aire, dispositivos de control y aspersores.

2.4.2 EQUIPO PARA CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO DE LA CELDA

El propósito de este apartado, es proporcionar la información necesaria para que se pueda hacer una selección adecuada del equipo para la transferencia térmica y su instalación, es innecesario un diseño preciso, ya que solo se requiere que el equipo sea el adecuado y sin embargo no sea

excesivamente grande. Sencillamente se busca proveer una capacidad un poco mayor que la necesaria. El empleo de los principios de transferencia de calor ha sido confinado a calcular el calor que debe transferirse y al concepto del coeficiente total de transferencia de calor de una pieza del equipo con el propósito de calcular el área requerida.

Los factores que deben ser considerados para el calentamiento y enfriamiento de la celda electrolítica son los siguientes:

A. Medio para el calentamiento o enfriamiento

Calentamiento:

- 1.- Vapor
- 2.- Agua caliente
- 3.- Electricidad
- 4.- Gas

Enfriamiento:

- 1.- Agua fría
- 2.- Salmuera refrigerante

B. Tipos de serpentines

- 1.- Interno (inmersión)
- 2.- Externo

C. Materiales de construcción

- 1.- Resistencia a la corrosión
- 2.- Compatibilidad con la solución

3.- Resistencia mecánica

4.- Costo

La selección del medio esta vinculada por las consideraciones locales de disponibilidad y costos.

Los serpentines para calentamiento y enfriamiento están hechos de acero inoxidable tipo AISI-317, de plomo químico, o de otros metales especificados para un proceso en particular. Poco calor (o ninguno) será necesario para mantener la temperatura de operación, si el tanque es trabajado con la cantidad adecuada de A/L. En general, la necesidad de agua fría es en cantidad moderada. Por lo común, una operación con un alto amperaje por litro no es perjudicial, pero se necesita contar con una capacidad de enfriamiento adecuada para mantener controlada la temperatura.

Los serpentines de enfriamiento y de calentamiento se colocan a los lados del tanque detrás de los cátodos, separados de éstos, y en una posición que les impida convertirse en electrodos bipolares cuando se electropulen las piezas. Se pueden emplear calentadores eléctricos de inmersión a razón de unos 5 a 10 W/L, dependiendo de las dimensiones del tanque y de su colocación, y de la temperatura de funcionamiento. Los serpentines no deben estar en el fondo del tanque ni donde pueden ser cubiertos por el sedimento. Instalando un sistema de válvulas adecuado, los mismos serpentines se pueden emplear para calentar y para enfriar.

Siempre que sea posible, la temperatura deberá controlarse en forma automática. Ciertos límites de temperatura son especificados. Estas quedan en general por encima de la temperatura ambiente, variando entre 50 a 120 °C. Se necesitan medios calefactores para elevar hasta la temperatura de operación cuando se comienza el proceso y para mantener la temperatura durante el funcionamiento con cargas menores que la capacidad del tanque. El funcionamiento a plena capacidad de un tanque en particular introduce en general calor suficiente de la corriente de electropulido para mantener la temperatura de operación.

Los controles automáticos de temperatura han sido estandarizados hace tiempo y son bien conocidos. El elemento sensor debe ser uno que no se corroa ni contamine la solución; de otra forma deberá ser colocado en un tubo de vidrio lleno de agua. Con intercambiadores de inmersión el elemento sensitivo deberá ser colocado cerca de la unidad de calentamiento o de

enfriamiento. Simultáneamente, en los tanques es aconsejable instalar un termómetro indicador separado de la unidad térmica, el cual indicara si se mantiene, o no, una temperatura uniforme de la solución en el tanque. Si no, deberá emplearse agitación o algún sistema de circulación.

2.4.3 SOPORTES O BASTIDORES

Un soporte o dispositivo sujetador para ánodos y cátodos, es un accesorio para mantener las piezas en posición, en un electrolito y conducir la corriente a las mismas (ver Figura 2.6). En su forma más sencilla, un soporte puede ser un alambre de cobre desnudo. La función más importante de un soporte es la de llevar corriente a las piezas. El soporte debe ser diseñado de manera que mantenga a las probetas en una posición favorable para que se de un buen proceso de electropulido de las superficies de interés. Por lo tanto, las superficies que se analizarán se colocan en los soportes en un plano paralelo, y de cara a los cátodos, si fuese posible; las superficies planas de las probetas no deberían quedar horizontales de cara al fondo o a la superficie del electrolito.



Figura 2.6. Soporte para sujetar las piezas (probetas).

La manera de sujetar las probetas al soporte para que ocurra el contacto eléctrico es una característica importante en el diseño de los soportes. Siempre que sea posible, el contacto deberá hacerse sobre una superficie poco importante o en un lugar protegido de la probeta, tal como una parte posterior, o en un agujero.

Los soportes deben ser también apropiados para evitar una densidad de corriente local excesivamente elevada sobre áreas de las piezas a electropulir. Siempre que sea posible las piezas deben colocarse en forma apropiada para protegerse unas a otras, salvando así espacio de tanque y corriente.

2.4.3.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los soportes o dispositivos sujetadores pueden ser hechos de cierto número de materiales, como se presenta a continuación:

Cobre: El cobre es el material mas extensamente utilizado. Sus ventajas son la elevada conductividad eléctrica, la ausencia de fragilidad en caliente, la facilidad de doblarse sin fractura, su razonablemente elevada resistencia mecánica y la facilidad de soldarlo con materiales a base de estaño a baja temperatura.

Acero: El acero se utiliza con frecuencia en la construcción de los soportes catódicos, bien solo como material para las tiras o en unión con el cobre para darle resistencia adicional. El acero es menos costoso, pero el hecho de que su capacidad para conducir corriente es solo de un sexto de la del cobre, representa una desventaja definitiva.

Latón: Se emplea frecuentemente como material para las tiras de los soportes y con menor frecuencia como material para puntas de contacto. Pero por otro lado el latón es un material muy costoso. En realidad la capacidad de corriente del latón, siendo cerca de una cuarta parte de la del cobre, es una seria desventaja.

Bronce fosforoso: Es probablemente, el material de mayor uso para puntas de contacto. Es un conductor razonablemente bueno, se le puede flexionar muchas veces con buena recuperación y se la trabaja y suelda con estaño con gran facilidad. Su capacidad de conducir la corriente es menos de un cuarto que la del cobre, y su costo más elevado lo hace poco satisfactorio.

Aluminio: Se utiliza siempre como material para las tiras de los soportes de anodizado. Es el único material fácilmente disponible que no contamina las soluciones ni es destruido con rapidez por ellas; no es un buen material para puntas de contacto y no se suelda fácilmente con soldaduras a base de estaño.

2.4.3.2 AISLAMIENTO DE LOS SOPORTES

Los soportes se aíslan casi siempre, la mayor parte de los procesos de aislamiento actuales son del tipo de inmersión, aplicados sumergiendo el soporte en el material aislante. Es imposible un buen trabajo de aislamiento con una mala construcción del soporte. El aislamiento de los soportes sirve para diversos propósitos:

1. Evitar que el metal de los soportes se desgaste debido al pulido
2. Conservar la corriente confinándola solo a las piezas que se han de pulir
3. Disminuye el arrastre y el posible peligro de contaminación de la solución
4. Alarga enormemente la vida de los soportes

Para el aislamiento de los soportes, se pueden considerar todos aquellos que no reaccionen con los reactivos que se utilizan en la preparación de las soluciones electropulidoras, por ejemplo:

- Polietileno
- Poliestireno
- Resinas epóxicas
- Cloruro de polivinilo (PVC)
- Teflón
- Vidrio

Los materiales anteriores deben ser usados para aislar los soportes sin peligros en soluciones de ácido perclórico (HClO_4). El metal al cual se le aplica el aislamiento debe estar limpio y libre de suciedad, partículas, incrustaciones u óxidos. Se le debe hacer áspero para obtener una mayor adherencia del material aislante.

2.4.4 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN Y VENTILACIÓN

La ventilación es necesaria en los departamentos o laboratorios de electropulido y en otras áreas íntimamente relacionadas con los mismos; ya que de estos se pueden liberar contaminantes

atmosféricos y requerir una ventilación apropiada y adecuada para evitar interferencia con la visión, la creación de molestias, problemas de manejo domestico, o riesgos para la salud.

Puesto que la ventilación adecuada no es poco costosa, es aconsejable mantener a un mínimo la cantidad y capacidad de tal equipo empleado para controlar la contaminación del aire hasta el punto de que tales medidas sean disponibles y practicables. Se dispone de inhibidores de varias clases para usar en los baños de ácido, muchos de los cuales disminuyen la cantidad de neblina ácida que se escapa al aire; inhibidores de superficie del tipo de espuma y agentes depresores, que disminuyen el escape de neblina de los tanques de electropulido y del procesado que son empleados con bastante amplitud; y una gran cantidad de diferentes desengrasadores o disolventes limpiadores disponibles para que se pueda seleccionar la toxicidad y volatilidad, de manera que se llenen los requerimientos de operación.

En otras palabras, mejor que proceder ciegamente y ver tan solo la ventilación como el medio de lograr el resultado total, es conveniente pensar con cuidado sobre otros pasos que pudieran tomarse ventajosamente con vista a mantener el problema a un mínimo. No es que no se pueda minimizar por ventilación únicamente; se puede, pero es posible que sea más costoso hacerlo así.

2.4.4.1 TIPOS DE VENTILACIÓN

La ventilación industrial, la cual tiene como su propósito principal el control de la contaminación atmosférica, es de dos tipos principales; general o de dilución, y de extracción local. El primer tipo funciona haciendo que pase aire suficiente a través del local o laboratorio para diluir el aire contaminante o contaminado a un nivel seguro, mezclándolo con aire relativamente no contaminado que penetra al espacio desde el exterior. En esta forma, ventiladores de ventana, ventiladores de techo, etc.; realizan la ventilación general. La ventilación por extracción local, funciona captando el aire contaminado muy cerca de su fuente o punto de desprendimiento, y transportándolo al exterior. Las campanas extractoras del tipo de ranura en los tanques y campanas tipo techo colocadas sobre los tanques, son ejemplos de campanas extractoras locales. Aunque la disposición del equipo de ventilación indique generalmente si el efecto producido es de ventilación general o de extracción local, el criterio determinado es la relación entre la concentración del aire contaminante en el aire del local y la del aire extraído. Así, si la

concentración de contaminante en el aire extraído es esencialmente la misma o solo ligeramente mayor que en el aire del local, la ventilación es general; mientras que, si la concentración del contaminante en el aire extraído es mucho mayor que la del aire del local en general, la ventilación es extractora local.

Como regla general, se prefiere la ventilación extractora local a la ventilación general en el control de la contaminación del aire. De hecho hay muchas operaciones en el electropulido, en donde debe usarse la extracción local, para prevenir la creación de peligro para la salud. Por la misma razón la ventilación no será descuidada.

La ventilación de los tanques de electropulido es necesaria para eliminar las pequeñas cantidades de líquido pulverizado. A este respecto, las condiciones y equipo de ventilación usuales son las mismas que se emplean en los tanques de cromar. Se recomienda colocar cajas de succión ranuradas a los lados del tanque.

El conducto que va desde las ranuras del colector hasta el ventilador deberá tener un área seccional relativamente grande para permitir que disminuya la velocidad del aire de succión. A una velocidad lenta las gotas pesadas descenderán del aire, así es que deberán proporcionarse medios para purgar el conducto. El aire deberá ser descargado en chimeneas o en separadores ciclónicos para asegurar la extracción de las gotas formadas.

2.4.4.2 SISTEMAS EXTRACTORES

Se han realizado considerables investigaciones y se ha escrito mucho sobre varios aspectos de la ventilación para tanques de superficie descubierta. La extracción local se puede aplicar a los tanques, y la velocidad de ventilación para lograr el adecuado control de la contaminación varía en forma considerable de uno a otro. Estos tipos diferentes son:

1. Campanas cerradas
2. Campanas extractoras laterales
3. Campanas de techo

Campanas cerradas: Tales campanas no necesitan encerrar al tanque por completo. Cualquier campana que se proyecte sobre todo el tanque y lo encierre o lo haga con dos lados al menos, cae dentro de esta categoría. Cuando se utilizan campanas de esta clase se intenta que los operarios mantengan sus cabezas fuera de las campanas todo el tiempo, excepto, posiblemente cuando sea necesario reparaciones o ajustes. El control se efectúa moviendo aire a través de la campana a tal rapidez que su velocidad dentro de todas las aberturas en la campana evitará el escape de la neblina o del gas. La rapidez del flujo de aire a través de las aberturas necesaria para realizar un control adecuado (velocidad de control o de captación), es afectada en forma considerable por varios factores, tales como:

- a) Porcentaje de área de campana que esta abierta
- b) Actividad o agitación del aire dentro de la campana
- c) Nocividad relativa de la neblina o gas desprendido por la operación encerrada

Campanas de extracción lateral: Este tipo de campana es más común que cualquier otro en los tanques de superficie descubierta para electropulido y operaciones afines. El objetivo de un sistema extractor lateral en un tanque de superficie descubierta es hacer que todos los contaminantes que se eleven, o sean liberados en la superficie del tanque, o de las superficies de las partes o productos removidos del líquido en el tanque, fluyan hacia la campana extractora y penetren en la misma. Es realmente innecesario e impracticable prevenir que el más pequeño vestigio de contaminante escape al aire del local, puesto que una cantidad limitada se diluirá a una concentración que no será peligrosa por la ventilación general del local y por el aire que fluye dentro del sistema extractor local en el tanque (ver Figura 2.7).

Sin embargo, si se emplease un líquido muy tóxico en el tanque, la cantidad que se puede permitir escapar es mucho más pequeña que si el tanque contuviese un líquido relativamente poco peligroso. Por lo tanto, se requiere una mayor velocidad de ventilación para soluciones relativamente peligrosas que para las que no lo son.



Figura 2.7. Sistema extractor de campana lateral de ranuras.

Campanas de techo: Las campanas de esta clase fueron muy comunes en el pasado pero no en la actualidad; debido a que tales campanas deben extenderse más allá de los bordes de los tanques en todas direcciones. No se recomiendan para operaciones que requieran la atención de trabajadores en uno o más lados del tanque, porque el aire contaminado que se eleva hacia la campana pasa a través de la zona de respiración de los obreros. Debe evitarse que la neblina y el gas se escapen hacia el aire del local de trabajo, manteniendo una cortina de aire fluyendo dentro de la campana a través de las aberturas o de toda el área abierta entre los bordes superiores del tanque y los bordes inferiores de la campana.

2.4.4.3 VENTILACIÓN GENERAL

Se notara que ciertos tipos de operaciones en tanques de superficie descubierta no requieren ventilación extractora local, será suficiente una ventilación general apropiada. La ventilación general puede hacerse por medio de un sistema central de ventilación, por ventiladores en el techo o por ventiladores en la pared, como se muestre en forma diagramática en la Figura 2.8.

Es difícil establecer, en términos generales, que constituye una ventilación general adecuada. En algunos casos, los sistemas de extracción local en los tanques que lo requieren producirán ventilación general suficiente en el laboratorio de pulido para satisfacer el requerimiento de tanques que no necesiten extractores locales.

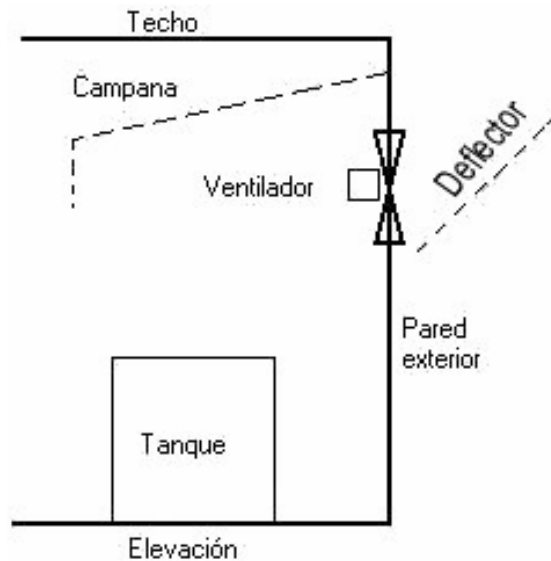


Figura 2.8. Diagrama de una ventilación general

2.4.4.4 MATERIALES ESPECIALES DE CONSTRUCCIÓN

Muchas de las operaciones implicadas en el electropulido producen gases y neblinas que son muy corrosivas para los materiales usuales empleados en la construcción de las campanas ó ductos de los sistemas de ventilación. Para evitar la necesidad de cambios frecuentes, han sido desarrollados ductos de construcción especial que tienen una gran resistencia a la corrosión; aunque los ductos y campanas hechos en esta forma son más costosas de instalar. Recientemente se dispone de ciertos productos de plástico resistentes a los productos químicos y apropiados para la construcción de ductos. Uno es el cloruro de polivinilo extrusionado sin plastificar, otro es el plástico de polietileno extrusionado, un tercero es una resina poliéster reforzada, y plástico fundido de resina fenólica. Sin duda, hay otros que son igualmente útiles para la construcción de ductos o tanques de tratamiento.

2.4.5 GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA Y BAJO VOLTAJE

El moderno grupo de motor generador de bajo voltaje, como se le construye para los procesos electroquímicos tiene antecedentes antiguos y establecidos como una de las líneas “especiales” originales de la industria de la maquinaria eléctrica. Desde un principio los generadores para estos propósitos específicos fueron construidos por varios fabricantes, especializados en el campo del bajo voltaje, como un equipo separado y distinto del equipo para el amplio y extenso campo del alto voltaje. En la actualidad, la construcción de los generadores de bajo voltaje es una rama de la fabricación de equipo eléctrico que produce grupos de motores generadores con valores y características de trabajo bien definidas para investigaciones de laboratorio.

2.4.5.1 DETALLES Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO ESTÁNDAR

El grupo estándar de motor generador para procesos electroquímicos y usos parecidos consisten en un generador de una capacidad de amperaje y voltaje deseado, impulsado por un motor de CA, apropiado para su uso en las líneas de corriente del usuario y un excitador de CC, para excitación. Un equipo arrancador y protector y un tablero de control para la medición y control de la corriente de salida completan una instalación estándar (ver Figura 2.9).

Los fabricantes, ofrecen los generadores con capacidades de voltaje de 6, 9, 12, 18, 25, 30, 40, y 50 V y en capacidades de amperajes desde 500 a 20,000 A. La mayor parte de los generadores ofrecidos, particularmente en las capacidades mas elevadas en amperios, son del tipo de doble colector. Los colectores están conectados en paralelo para el amperaje máximo al voltaje especificado o pueden ser conectados en serie para una salida de la mitad del amperaje especificado a dos veces el voltaje indicado en la placa. Así, un generador de 5,000 A, 6 V, puede ser conectado para una salida de 2,500 A a 12 V.

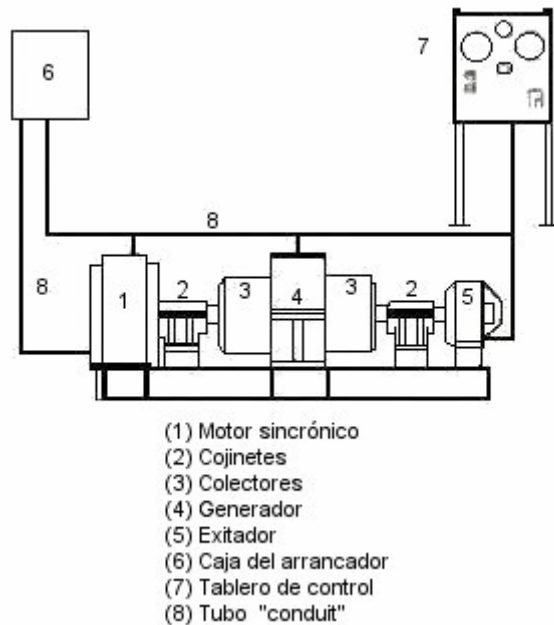


Figura 2.9. Instalación típica de motor generador.

2.4.5.2 TIPOS DE MOTORES IMPULSORES

La mayoría de los generadores de bajo voltaje construidos actualmente son accionados por motores de tipo síncrono, por ejemplo, un motor adecuado para conectarlo a una línea de corriente alterna el cual girará a una sola velocidad determinada por la frecuencia de la corriente de alimentación. Mecánicamente se caracterizan por un gran diámetro con una corta longitud axial de carcasa y un gran espacio de aire. Eléctricamente se caracterizan por su habilidad para arrancar con baja corriente, elevada eficiencia de operación, y su habilidad para mejorar el factor de potencia del sistema al cual se le conecta.

2.4.6 RECTIFICADORES

En forma ideal, un rectificador se forma de ciertos arreglos con dispositivos electrónicos siendo uno de los no menos importantes el diodo rectificador el cual es un interruptor cerrado cuando

tiene polarización directa y un interruptor abierto cuando tiene polarización inversa. Por esta cualidad, es útil para convertir corriente alterna en corriente continua.

La característica esencial que distingue a un rectificador de todos los otros aparatos eléctricos es que su resistencia al flujo de corriente en una dirección es mayor que su resistencia en la otra dirección.

Si se inserta un elemento rectificador sencillo en un circuito cerrado que incluya un potencial de corriente alterna, el rectificador impedirá el flujo de corriente en una dirección y presentará una impedancia menor en la otra dirección de manera que resultará un flujo de corriente pulsatoria unidireccional. Esto describe a la rectificación monofásica de media onda, el cual es el circuito más simple que puede convertir corriente alterna en corriente continua (ver Figura 2.10). Además del rectificador de media onda existe el rectificador de onda completa y el rectificador de puente.

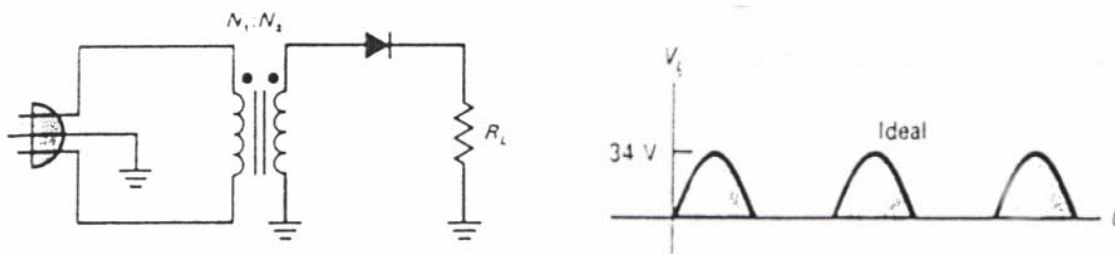


Figura 2.10. Circuito rectificador y señal de media onda

Para los procesos de acabado de los metales se requieren comparativamente bajos voltajes y corrientes elevadas, utilizando elementos rectificadores semiconductores tales como germanio, silicio, etc.

Rectificadores de germanio: En cualquier caso, excepto para ciertas aplicaciones bastante alejadas del acabado de los metales, el germanio ha sido sustituido actualmente por el silicio. En la actualidad, para trabajos de acabado de los metales, solo necesitan ser considerados los elementos rectificadores de silicio.

Rectificadores de silicio: Los elementos de silicio tienen un voltaje inverso de servicio mucho mayor que las celdas individuales de selenio. Esto junto con la baja caída de voltaje directo, cuenta para la sensacional eficiencia de conversión de corriente alterna a corriente continua.

Todas las unidades rectificadoras comerciales para el acabado de los metales son equipadas habitualmente con un voltímetro y un amperímetro, ambos de corriente continua. Estos indican el voltaje y la corriente terminal, respectivamente. De modo invariable, los medidores son del tipo de bobina móvil, los cuales indican valores promedios proporcionando en esta forma la clase de información que se desea.

Cuando hay una distancia considerable entre la unidad rectificadora y el tanque donde se hace el trabajo, puede haber una apreciable caída de voltaje en las barras conductoras que conectan la unidad rectificadora al tanque.

El voltaje de salida especificado, cuando se planea la compra de unidades rectificadoras; debe tomar en cuenta los procesos en los que se intenta usar las unidades y debe recordarse también que muchos fabricantes de rectificadores han estandarizado o normalizado ciertos voltajes.

La capacidad de corriente especificada debe, por supuesto, estar basada en los procesos que serán usados y en la cantidad de trabajo que será manejado al mismo tiempo. La capacidad de corriente requerida no deberá ser menor que la densidad de corriente recomendada multiplicada por el área de trabajo que será tratado al mismo tiempo. Como sería de esperar, la experiencia ha demostrado que es mucho mejor especificar una capacidad de corriente algo mayor que la que ha sido calculada.

2.4.7 ENJUAGUE

Con demasiada frecuencia se olvida la parte importante que el enjuagado tiene en el proceso de electropulido, ya que un enjuague deficiente anulará el objetivo de cada uno de los otros pasos en el ciclo de pulido. Esto causará manchas en las probetas y soluciones contaminadas.

El enjuagado es esencialmente una operación de dilución; su objeto es el de diluir las sustancias químicas disueltas sobre la superficie de trabajo hasta un punto tal que sean insignificantes, no

solo en su efecto sobre la calidad del trabajo, sino también respecto a la última contaminación de la solución en la operación. Se obtiene un enjuagado eficiente cuando la operación se logra con el mínimo uso de agua.

Es importante poder determinar la concentración de los contaminantes en un tanque de enjuagar, porque esto determina la efectividad de la operación de enjuagar. El trabajo enjuagado saldrá del tanque dejando en el mismo una solución de esta concentración, y la solución que vaya al desperdicio será de esta composición.

El enjuagado de las soluciones electropulidoras es complicado por el hecho de que las soluciones son bastante viscosas y no se mezclan fácilmente con agua. La velocidad del enjuague puede ser incrementada, aumentando el flujo de agua usando toberas rociadoras, contraflujos o tanques de enjuague múltiple.

2.4.7.1 SISTEMAS DE ENJUAGUE

El diseño y revisión de los sistemas de enjuague se concentra en la conservación del agua de desperdicio, a continuación se hace mención de algunos de estos métodos:

Enjuagues múltiples: Si en el laboratorio se tiene suficiente espacio, la instalación de un sistema de enjuague de contracorriente de etapas múltiples puede reducir el consumo de agua en un 90%. Este sistema utiliza múltiples tanques de enjuague, a través de los cuales se remoja la pieza en sucesión (ver Figura 2.11). El agua de enjuague fresca fluye en el último de los tanques. El agua que se desborda de cada tanque de enjuague fluye al próximo tanque de la fila, en dirección contraria al movimiento de la pieza. El líquido que sale del tanque de enjuague último se utiliza como fuente de solución para el tanque de proceso o se recupera para el reciclaje; la recuperación del recurso o el tratamiento. Independientemente de que se use o no el enjuague de etapas múltiples, rociar con agua antes de enjuagar y dejar escurrir la pieza reducirá de forma importante el arrastre, permitiendo así reducir el paso de flujo del tanque o de los tanques de enjuague.

Agitar el agua del tanque de enjuague o agitar los soportes que sostienen las probetas también aumenta la eficiencia del proceso de enjuague. Para mejorar el proceso de limpieza del lugar de

trabajo, se puede eliminar el espacio entre los tanques o instalar tablas de drenaje para hacer correr el arrastre de nuevo a los tanques, cuando se mueven las piezas de un tanque a otro, puede ayudar a evitar que se escurra al suelo el arrastre, lo cual de otra forma pasaría por los desagües al piso durante las operaciones de limpieza.

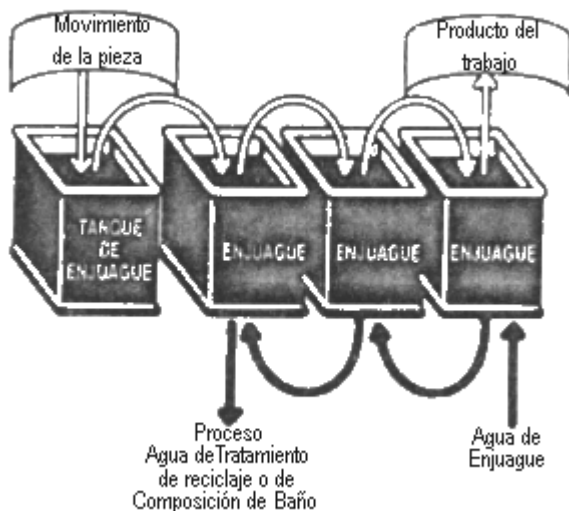


Figura 2.11. Sistema de enjuague múltiple.

Enjuague por rociado: El enjuague por rociado puede ser muy efectivo porque aun si sólo un volumen relativamente pequeño de agua es en realidad útil para diluir el contaminante sobre las probetas, el volumen de este contaminante es todavía menor y esta siendo diluido constantemente mientras esta bajo la acción del rociador.

Es muy importante en el enjuague por rociado proporcionar medios para la máxima efectividad del agua utilizada. Los rociadores deben tener una posición adecuada para el rociado, y deberán emplearse boquillas rociadoras debidamente diseñadas para efectuar una distribución uniforme del agua sobre la probeta y para controlar el volumen del agua. El dispositivo de uno o más tubos perforados que con frecuencia se usan, es totalmente inadecuado.

El rociador más eficiente no alcanzará a todas las probetas en los soportes; en consecuencia, deberá usarse también un enjuague por inmersión. Una disposición empleada con frecuencia es la de colocar los rociadores sobre un tanque de enjuagar por inmersión para que rocíen a las probetas según estas dejen el tanque de enjuagar. Esto crea en efecto un enjuague de contracorriente de gran eficiencia, especialmente si toda el agua fresca alimenta al tanque puede serlo en forma de rociado.

Sin embargo, para proporcionar una alimentación adecuada de agua, es usualmente necesario suministrar parte del agua directamente al tanque de enjuagar puesto que el volumen de rociado que puede emplearse está limitado por consideraciones sobre salpicaduras, remoción de las probetas de los soportes, etc. Actualmente muchas máquinas automáticas están provistas con rociadores de esta naturaleza que son accionados automáticamente mientras el trabajo es enjuagado a través de la zona de rociado.

2.4.8 SECADO

Es importante el secado rápido y completo de las probetas de metal electropulidas para evitar manchas o marcas de agua sobre la superficie que se observara en el microscopio, para quitar toda la humedad residual, y así poder evitar la oxidación.

El extremo cuidado en cuanto a la forma de realizar el secado se determinará por el grado de calidad final posterior al electropulido, la forma, peso y orientación de la superficie en el momento que la probeta se extraiga del baño de enjuague.

A continuación se presenta una breve descripción de algunos de los procesos de secado:

Secado atmosférico: En el secado atmosférico, la probeta misma debe suministrar todo el calor de evaporación de la película de agua de la superficie, para obtener un secado adecuado a una velocidad razonable, considerando además la suposición de que el ambiente es lo suficiente seco para poder aceptar el agua sin acercarse a la saturación.

Secado forzado con chorro de aire: Un chorro de aire dirigido en una forma apropiada es útil para poder remover el exceso de agua de la superficie de las probetas. Una corriente de aire de

movimiento rápido acelerará el proceso de secado atmosférico, lo cual es útil con frecuencia para evitar manchas sobre metales sensibles tales como el cobre y sus aleaciones. A menos que el movimiento del aire sea forzado realmente lo bastante para disipar algo del agua de la superficie como tal, el uso de una corriente de aire sin calentar no producirá un buen secado atmosférico.

Secado forzado por medio de aire calentado: Este tipo de secado se efectúa de ordinario en una estufa, siguiendo de inmediato a un enjuague final en caliente, pero es más efectivo si el aire calentado se sopla directamente contra la superficie de la probeta.

Secado con agentes deshidratantes: Ciertos líquidos o mezclas orgánicas tienen la propiedad de desplazar, en forma preferente, el agua de una superficie de metal. Estas soluciones pueden ser compuestas por componentes relativamente volátiles de manera que después de que el agua ha sido desplazada, la película orgánica se evapora fácilmente, dejando una superficie limpia y seca; además, puede incorporarse en la muestra ingredientes no volátiles para que se deje una película que tenga las propiedades deseadas para una aplicación en particular.

El aire empleado para los procesos de secado debe estar seco, limpio y libre de partículas sólidas y aceite. Puede emplearse aire de un compresor convencional, pero se le debe filtrar.

2.5 REACTIVOS

En realidad, se pueden usar diversos productos químicos. Las funciones importantes que tienen los productos químicos son:

1. Separarse en iones positivos y negativos cuando se mezclan con agua.
2. Reaccionar químicamente con uno de los electrodos por lo menos.

La intensidad con que las sustancias químicas diferentes reaccionan con metales diferentes depende de cuál sustancia y cuál metal se trate; por lo tanto, el electrolito usado determinará las cargas efectivamente producidas en los electrodos y determinará la cantidad de voltaje y corriente que puede alimentar la fuente.

Generalmente, un electrolito debe de ser un poco viscoso; debe ser un buen solvente para el metal ánodo (espécimen) durante las condiciones de electrolisis y debe ser preferible que no ataque el metal ánodo, cuando la corriente no esta fluyendo.

Un reactivo (electrolito) debe contener uno o más iones de radios grandes, y algunas moléculas orgánicas largas⁵. Esto debe ser una mezcla simple, estable y segura de manejar; muchos electrolitos eficaces son deficientes en estos aspectos. Debe funcionar eficazmente a la temperatura del local y no debe ser sensible a los cambios de temperaturas.

Los laboratorios productores de los reactivos ordenan la información de cada uno de ellos en hojas con formato conocido como los registros técnicos para la seguridad en el transporte y uso del material (“Material Safety Data Sheet”: MSDS) de cada reactivo, en las cuales se encuentra información referida a las condiciones de seguridad en el trabajo, al manejo y a su grado de toxicidad que ellos poseen, la combinación de información analítica presentada en el MSDS y de seguridad en la etiqueta ayuda a que los reactivos en la industria o laboratorios no sean causas de accidentes o enfermedades.

En las Tablas 2.1 y 2.2 se presenta el significado del color de la etiqueta de un reactivo para su almacenamiento, así como la clasificación general de los productos químicos y el grado de cuidado que se debe tener por su código.

A continuación se da una breve descripción de ácidos y soluciones comúnmente usados en el proceso de electropulido:

Ácido Nítrico (HNO₃): La solución del electropulido más común es ácido nítrico con alcohol metílico. No debe usarse nunca la solución ácido nítrico con alcohol etílico, ya que la mezcla de estas soluciones reacciona creando una gran explosión. Recuerde, enfriar siempre las soluciones

⁵ ASM Handbook, Formerly Ninth Edition, Metals Handbook Volumen 9, Metallography and Microstructure, Printed in the United State of America, pág. 51, 1995.

ya que estas se expanden al aumentar la temperatura, no guardar en frascos herméticos las soluciones hasta que estas alcancen la temperatura del ambiente o del local.

Tabla 2.1. Código de colores de las etiquetas para la compatibilidad del almacenaje. El color de fondo indica el tipo de almacenamiento requerido.

Azul	Almacenar en un área segura para químicos venenosos.
Rojo	Almacenar en un área segura para líquidos inflamables.
Amarrillo	Almacenar separadamente y lejos de materiales combustibles e inflamables.
Blanco	Almacenar en un área a prueba de corrosión.
Naranja	Almacenar en el área reservada para todos los químicos no peligrosos
A rayas	Ubicar en un área individualmente. Una etiqueta con rayas indica que el material es incompatible con otros materiales con la mismo clase de color

Ácido perclórico (HClO₄): Todas las soluciones de ácido perclórico deben manejarse bajo condiciones de ventilación húmedas. La acumulación de soluciones de ácido perclórico que se encuentren almacenadas en laboratorio debe tener una densidad que no exceda 1.48 (60%).

Para prevenir los riesgos de un sobrecalentamiento las soluciones de ácido perclórico deben ser mantenidas en un ambiente fresco (< 35 °C) durante la mezcla y las operaciones de pulido.

Es necesario que el circuito eléctrico sea interrumpido antes de quitar el espécimen; esto se realiza con el propósito de evitar que se de alguna chipa que provoque el encendido de la solución pulidora o que provoque una detonación. Las soluciones de ácido perclórico no deben ser usadas en contacto con materiales orgánicos como lo son el polietileno, poliestireno y resinas epóxicas, además no se usan para pulido de aleaciones que contengan bismuto ya que como resultado puede provocar una detonación.

Tabla 2.2. Clasificación general de los productos químicos

Salud (Color azul)		
4	Peligroso	Puede ser fatal en cortos períodos de exposición. Equipo de protección especial es requerido
3	Precaución	Toxico o corrosivo. Evite contacto con la piel o inhalación
2	Precaución	Puede ser dañino si es absorbido o inhalado
1	Cuidado	Puede ser irritante
0		Sin riesgo inusual
Inflamabilidad (Color rojo)		
4	Peligroso	Gas o líquido extremadamente inflamable
3	Precaución	Líquido con punto de inflamabilidad abajo de 212 °C (100° F)
2	Cuidado	Combustible líquido con punto de flama desde 212 °C
1		Combustible si es calentado
0		Incombustible
Reactividad (Color amarillo)		
4	Peligroso	Material explosivo aún a temperatura de trabajo
3	Peligroso	Puede ser explosivo si se expone a movimientos bruscos, si es calentado bajo confinamiento o mezclado con agua
2	Precaución	Inestable o puede reaccionar violentamente si es mezclado con agua
1	Cuidado	Puede reaccionar si es calentado o mezclado con agua pero no violentamente
0	Estable	No reacciona cuando es mezclado con agua
Especificaciones especiales (Color blanco)		
W		Agua reactiva
Oxy		Agente oxidante

Ácido sulfúrico (H₂SO₄): Los ácidos inorgánicos fuertes que contienen ácido sulfúrico pueden causar cáncer, el ácido puede ser irritante a la piel y los ojos.

Ácido acético (CH₃COOH): El ácido acético puede causar quemaduras, pérdida del habla, dificultad en la respiración y congestión pulmonar. Este ácido es comúnmente mezclado con fluoruro de hidrógeno y con ácido nítrico.

La norma **ASTM E 1558-93** proporciona las fórmulas de varios grupos de reactivos y las condiciones para su uso en el electropulido para varios metales y aleaciones.

CAPITULO III

3 DISEÑO DE LA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO

Para que un sistema funcione adecuadamente y se obtengan resultados óptimos en un determinado proceso, el análisis y diseño es la parte más importante, ya que por medio de él podemos hacer uso de todas aquellas variables que están involucradas y que sirven de referencia para poder dimensionar y seleccionar los equipos y materiales apropiados, que permitan el ensamble del sistema.

El objetivo principal de este capítulo es el de efectuar el análisis y diseñar ó seleccionar los elementos que conformarán la celda electrolítica, e indicar como irán dispuestos para su correcto funcionamiento.

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de celdas electrolíticas es la distribución de densidad de corriente en el electrolito y los electrodos; ya que una densidad de corriente no uniforme puede ser detrimental en la operación de los procesos electroquímicos. En la mayoría de los casos, la porción de un electrolito que está sujeto a una densidad alta de corriente se degrada a una velocidad mayor. Al contrario, la porción del electrolito que está sujeto a corrientes bajas se usa ineficientemente, resultando en un desperdicio de inversión en material costoso y un pulido pobre. Además, un mal diseño causa sobrevoltaje, lo cual resulta en pérdidas enormes de energía en los procesos. En la Figura 3.1 se muestra un esquema general de una celda para pulido y ataque electrolítico, donde se observan los elementos que intervienen en el proceso de pulido.

Las variables que influyen en los resultados del electropulido son las siguientes:

- Área superficial a ser pulida
- Orientación de la muestra en el baño
- Orientación del cátodo en el baño
- Selección del material del cátodo
- La relación del área superficial cátodo-ánodo
- Distancia entre ánodo y cátodo
- La profundidad de la muestra debajo de la superficie de la solución

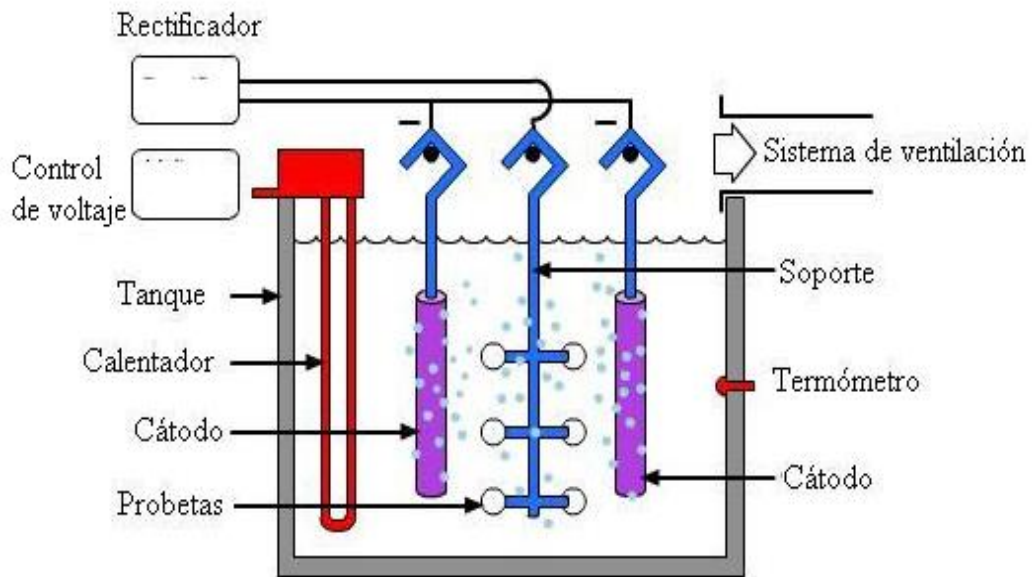


Figura 3.1. Esquema general de una celda electrolítica para pulido.

- Composición de la muestra, incluyendo impurezas
- Envejecimiento del baño electrolítico y cambios de composición
- Temperatura del baño
- Grado de agitación del baño
- Densidad de corriente y voltaje
- Tiempo
- Grado del tratamiento mecánico preliminar
- Modo de remover la muestra del baño
- Procedimiento de enjuague o lavado

3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS

Las dimensiones de las probetas es una parte fundamental en el diseño de la celda, ya que el tamaño del sistema depende de estas. La norma **ASTM E 1558-93**, recomienda que para obtener un resultado apropiado para realizar un examen metalográfico en los diferentes materiales

metálicos, el tamaño del área de cada probeta que estará en contacto con el electrolito sea de 1 cm^2 , teniendo la forma circular, cuadrada o cualquier otra que proporcione un área equivalente aproximada al valor especificado anteriormente, como se muestra en la Figura 3.2; en cuanto al espesor, la probeta deberá tener la medida suficiente para poderla manipular sin ningún problema durante el proceso de pulido mecánico preliminar, el cual puede ser como mínimo 1 cm. Si las probetas son de un tamaño mayor al especificado por la norma, se pueden presentar dificultades en el proceso de electropulido.

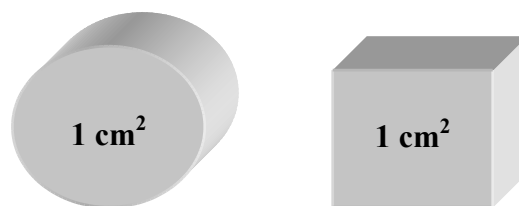


Figura 3.2. Geometrías características de probetas metalográficas.

3.1.1 DISEÑO DEL MONTAJE DE LAS PROBETAS

En este caso el diseño consiste, básicamente, en un método de fijación o montaje de las probetas, que garantice el mejor contacto eléctrico y la conducción uniforme de la corriente.

El elemento que se utilizará para establecer la conexión del ánodo (probeta) con la barra conductora deberá ser construido de tal manera que pueda ser removida de la celda fácil y rápidamente para su lavado o tratamiento posterior. Este debe estar hecho de un material resistente a la corrosión o cubierta con alguna película inerte, ya que solamente una de las superficies de la probeta debe estar expuesta a la solución (electrolito).

Probetas pequeñas pueden ser montadas en caliente usando resinas conductoras o no conductoras. Cuando se usa el montaje en materiales no conductores, el contacto eléctrico debe ser hecho por medio de un agujero taladrado en la parte posterior del montaje de la probeta, o por una conexión indirecta, como se muestra en la Figura 3.3.

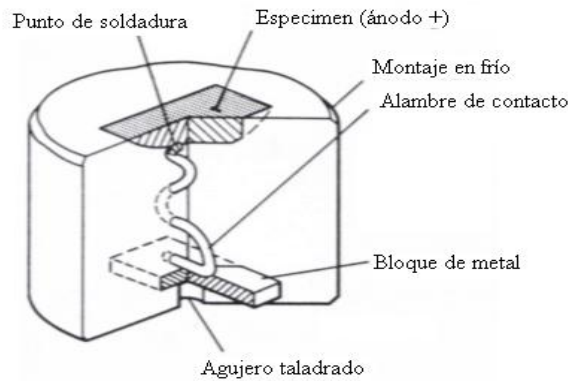


Figura 3.3. Conexión eléctrica indirecta de una probeta para electropulido.

Un especial cuidado debe de tenerse, ya que si las probetas son montadas en algunos tipos de polímeros que sean incompatibles con los ácidos que se utilizaran, pueden reaccionar violentamente; por lo tanto se debe hacer una selección adecuada, tanto del tipo de electrolito como del material que se utilizará para realizar el montaje de la probeta. Por ejemplo, fenol-formaldehído, resina acrílica y laca aislante base-celulosa no deben ser usadas en soluciones que contienen ácido perclórico (HClO_4) por peligro de explosiones. Sin embargo, polietileno, poliestireno, resinas epóxicas y cloruro de polivinilo (PVC) pueden ser usados como materiales para montaje de probetas en soluciones que contengan HClO_4 sin riesgo. Materiales para el montaje y aleaciones que contengan bismuto pueden formar compuestos explosivos en soluciones de HClO_4 .

Otros tipos de montajes se muestran en las Figuras 3.4 y 3.5, cuidando de que exista en contacto con la solución solamente teflón u otros materiales inertes al electrolito.

Las dimensiones de las probetas se encuentran normalizadas (ASTM E 1558-93), razón por la cual no es necesario un análisis de las mismas, el área de interés en cada una deberá ser aproximadamente 1 cm^2 . El diseño consiste, básicamente, en el método de fijación a emplear, ya que de ello dependerá la facilidad para realizar el montaje de la misma, así como también para lograr un contacto eléctrico adecuado entre las probetas y los soportes y el enjuague.

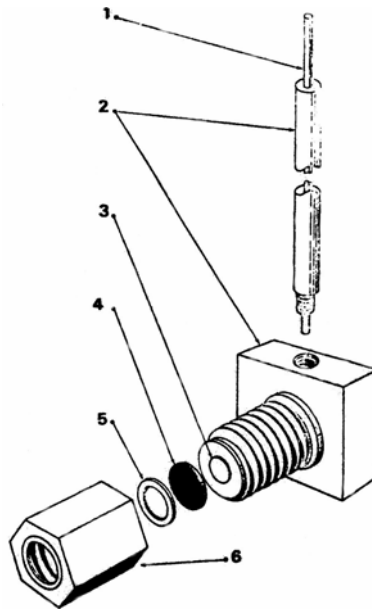


Figura 3.4. montaje de probetas planas, según Myers⁶; 1: Barra de cobre, 2: Aislamiento de teflón, 3: Barra de cobre, 4: Probeta, 5: Anillo de cierre de teflón, 6: Cubierta de teflón.

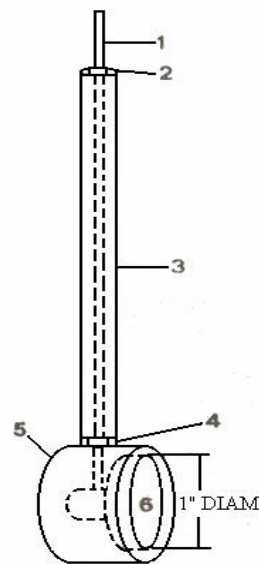


Figura 3.5. Montaje de probetas según Hoey⁶; 1: Varilla roscada de metal, 2: Tuerca de acero, 3: Tubo de vidrio Pyrex, 4: Arandela de teflón, 5: Resina epóxica, 6: Probeta.

⁶ Fuente: Dr. J. R. Galvele, Procesos de corrosión, reimpresión Buenos Aires, 1986

Aunque existen diferentes materiales (polímeros) para el montaje de las probetas como son: resinas acrílicas, poliéster y epóxicas entre otras; se debe considerar la disponibilidad en nuestro país, su costo y las propiedades químicas; debido a las averiguaciones realizadas, se establece que la resina poliéster es la más factible para el montaje de las probetas.

Después de un análisis de los montajes de probetas, se debe considerar el método de fijación de las probetas a los soportes, para lograr el mejor contacto eléctrico; a fin de garantizar que solamente el área en estudio esté en contacto con la solución, se utilizará un accesorio construido de cloruro de polivinilo (PVC), el cual se conoce comercialmente como Bushing Reductor C/R a $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$ " y se puede encontrar en cualquier ferretería.

La forma de fijación y el montaje de las probetas, se pueden apreciar en la Figura 3.6.

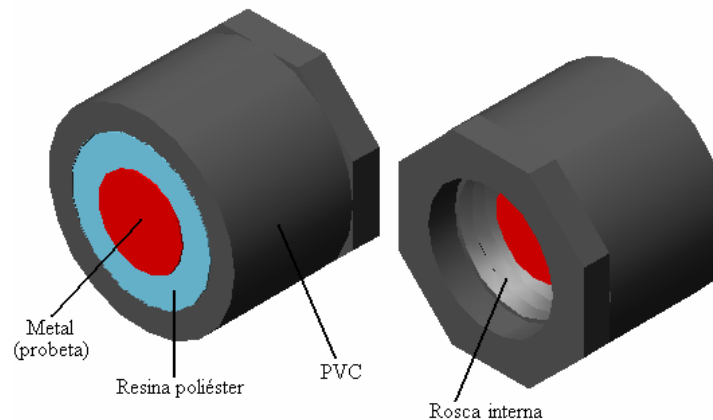


Figura 3.6. Montaje y fijación de las probetas

3.2 SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ENERGIA

Tanto los rectificadores como los generadores de motor pueden emplearse como una fuente de corriente continua (DC) para el electropulido. La elección es asunto de economía, funcionalidad, precisión, seguridad y del tamaño de la instalación, lo cual decide el costo relativo de los dos tipos de máquinas.

El voltaje de operación en el tanque, dependerá de las siguientes condiciones:

1. La distancia desde los cátodos a las probetas
2. El número de A/L de baño, lo cual se definió anteriormente
3. La densidad de corriente sobre la probetas que se electropulirán
4. La densidad de corriente del cátodo
5. La temperatura de operación
6. La agitación del electrolito

Por lo que se tomará como referencia la Tabla 3.1, en donde se establecen los rangos de voltaje, que se le aplicaran a la celda, para el electropulido del acero inoxidable, aluminio y cobre.

Cuando se planea la compra de una fuente de energía, en base al voltaje de salida requerido, se debe tomar en cuenta los procesos en los que se utilizará la fuente, ya que muchos fabricantes han estandarizado o normalizado ciertos rangos de voltajes, por lo que la selección estará limitada por estas condiciones.

Con relación a la capacidad de corriente que debe de entregar la fuente, es mucho mejor especificar una capacidad de corriente algo mayor que la que ha sido calculada, es decir utilizar un factor seguridad. Este factor permite tener un margen de incertidumbre razonable para evitar algún tipo de falla en el sistema debido a sobrecargas producidas por factores que no se pueden controlar adecuadamente durante el proceso de electropulido.

Obviamente, el fabricante de la fuente o su representante vendedor debe tener cierta información mínima sobre la cual basar su cotización. Esta información mínima debe incluir:

- Mínimos y máximos amperios de corriente continua requeridos
- Mínimos y máximos voltajes en corriente continua requeridos
- Fuente de energía disponible: voltios, fases, frecuencia, amperaje máximo, etc.

Tomando en consideración todo lo anterior, se especifican las características técnicas de la fuente que se utilizará y en la Figura 3.7 se muestran algunos de los modelos que pueden ser utilizados:

- ✚ Voltaje de salida: 0-50 V DC
- ✚ Corriente de salida: 0-5 A DC
- ✚ Voltaje de entrada: 110 V AC
- ✚ Frecuencia: 60 Hz
- ✚ Fases: monofásica



Figura 3.7. Fuentes de corriente continua que pueden ser utilizadas para el proceso de electropulido.

En la Figura 3.8 se muestra un circuito simple, el cual proporciona un rango amplio de voltajes de una fuente rectificadora. El circuito consiste de una fuente de 220 V a 60 Hz AC conectada a través de conector con fusible para un transformador variable, el cual es conectado para salidas debajo de 220/110 V. La salida del transformador es rectificadora por un puente rectificador de 10 A y se puede usar continuamente, pero también puede usarse para periodos cortos de tiempo arriba de 15 A. Por medio de las variaciones de la corriente DC, la salida del voltaje del rectificador varía desde cero a aproximadamente 110 V (a plena carga).

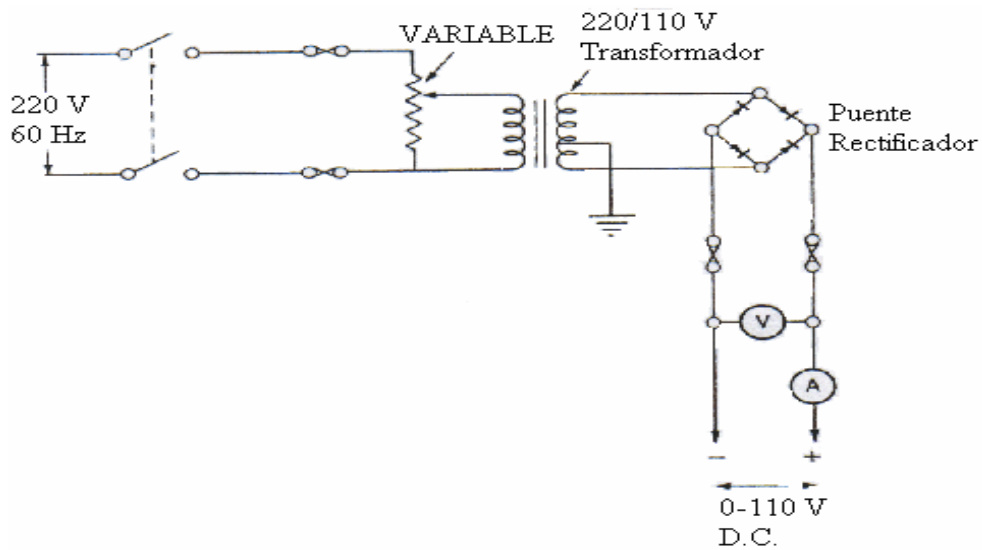


Figura 3.8 Circuito rectificador provisto de un rango variable de voltajes para electropulido.

3.3 DISEÑO DEL TANQUE

Un factor importante en la operación de cualquier proceso electroquímico es el tamaño del sistema, algunos cambios en el tamaño pueden afectar considerablemente las condiciones de operación.

El principal requerimiento de un tanque para una celda electrolítica, es que mantenga el líquido (electrolito) sin fugas y sin contaminación. El tamaño del tanque, la forma y su construcción, dependen de su uso, del material de construcción y del tipo de instalación en que se utilizara (laboratorio, industria, etc.).

3.3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE

Las dimensiones del tanque estarán determinadas por el tamaño y cantidad de piezas que se deseen pulir simultáneamente (Área expuesta), o limitada por la capacidad de corriente que pueda

proporcionar la fuente de energía DC. El diseño del tanque se realizará en base a la fuente de energía, la cual tiene las características antes mencionadas.

El sistema a construir se destinará para pulir probetas de materiales tales como los aceros inoxidables, aluminio, aleaciones de aluminio, cobre y sus aleaciones; como se mencionó anteriormente, estos materiales son difíciles de pulir por medios mecánicos ya que son blandos y dúctiles y serán utilizados para realizar posteriores estudios metalográficos.

Tomando como base la característica de la fuente de energía igual a 5 amperios y un número de probetas igual a cuatro, las cuales serán pulidas simultáneamente, se dimensionara el tanque de la siguiente manera.

El área que estará en contacto con la solución electrolítica será igual a 1 cm² por probeta, de acuerdo a lo que establece la norma; por lo que el área total que se necesita pulir es de:

$$A_{\text{total}} = (\text{Número de probetas}) \times (\text{Área de la probeta en contacto con la solución})$$

$$A_{\text{total}} = 4 \times 1 \text{ cm}^2 = 4 \text{ cm}^2$$

Considerando el valor máximo de corriente (5 A); la cual es la corriente teórica que servirá de parámetro para establecer la capacidad del tanque (volumen del electrolito); además de esto, es importante tomar en cuenta otro requerimiento como lo es la cantidad de corriente máxima por volumen que pueden soportar las soluciones electropulidoras⁷ que contendrá el tanque, la cual es de 1.5 A / L (amperios /litros).

Por lo que el volumen mínimo de solución electrolítica será calculado de la siguiente manera:

$$V \text{ min} = \frac{I}{1.5A/L}$$

$$V \text{ min} = \frac{5A}{1.5A/L}$$

⁷ Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967

$$V_{\min} = 3.33 \text{ Litros}$$

Dicho volumen servirá de parámetro para dimensionar el tanque, además se debe tener un factor de seguridad, que permita tener cierto margen de operación para prevenir una sobrecarga del sistema y así poder evitar un calentamiento excesivo de la solución, por lo tanto se sugiere un factor de seguridad de 2.0, ya que si este se incrementa demasiado, los costos del tanque y los electrolitos tienden a incrementarse y además se debe tomar en consideración la seguridad del usuario, debido a que si la capacidad del tanque es pequeña, la cantidad de electrolito es pequeña y si este sufre un incremento de temperatura se pueden desprender una mayor cantidad de gases tóxicos y perjudicar considerablemente la seguridad del usuario, con lo cual tenemos:

$$V_{\text{electrolito}} = 2.0 * 3.33 \text{ Litros}$$

$$V_{\text{electrolito min}} = 6.66 \text{ Litros}$$

Siendo este resultado el volumen del líquido (electrolito) necesario para poder efectuar el proceso de electropulido, el cual se utilizara para dimensionar adecuadamente el tanque.

Otra variable importante es la separación⁸ que debe de existir entre la superficie expuesta del ánodo (probeta) y el cátodo, la cual se recomienda tenga un valor de 76 a 158 mm. Para poder obtener un rango que permita efectuar pruebas a diferentes distancias, se propone una distancia de separación máxima de 110 mm y estableciendo una distancia entre las superficies expuestas de las probetas igual a 80 mm, estas son señaladas en la Figura 3.9, a partir de estas medidas se dimensiona la longitud del tanque.

El tanque debe tener la capacidad de contener el $V_{\text{electrolito}}$, más un volumen de espacio libre, que comprendería desde el nivel de líquido hasta el límite superior del tanque.

⁸ Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.

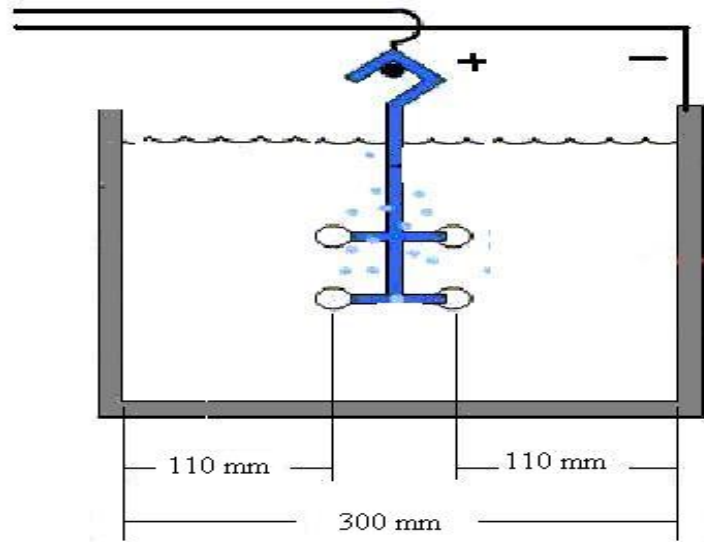


Figura 3.9. Longitud del tanque

Ya que el volumen total del tanque no debe ser muy superior al del líquido; se establece que una distancia igual a 5 cm sería suficiente para evitar algún tipo de derrame que pueda suceder y extraer con facilidad las probetas, por lo tanto asumiendo un ancho de 15 cm (150 mm) y 30 cm (300 mm) de longitud, se calcula la altura del electrolito:

$$6660 \text{ cm}^3 = (30 \text{ cm}) (15 \text{ cm}) (h_{\text{electrolito}})$$

$$h_{\text{electrolito}} = 14.8 \text{ cm aproximadamente } 15 \text{ cm}$$

Con este dato se establece la altura del tanque así:

$$h_{\text{tanque}} = h_{\text{electrolito}} + 5 \text{ cm}$$

$$h_{\text{tanque}} = (15 + 5) \text{ cm}$$

$$h_{\text{tanque}} = 20 \text{ cm}$$

Debido a que el tanque debe soportar otros elementos, es necesario dotarlo con un borde doblado en la parte superior de unos 5 cm de ancho.

Por lo tanto, las dimensiones del tanque y los planos del mismo quedan tal como se muestra en la Figura 3.10 y Anexo 1 respectivamente.

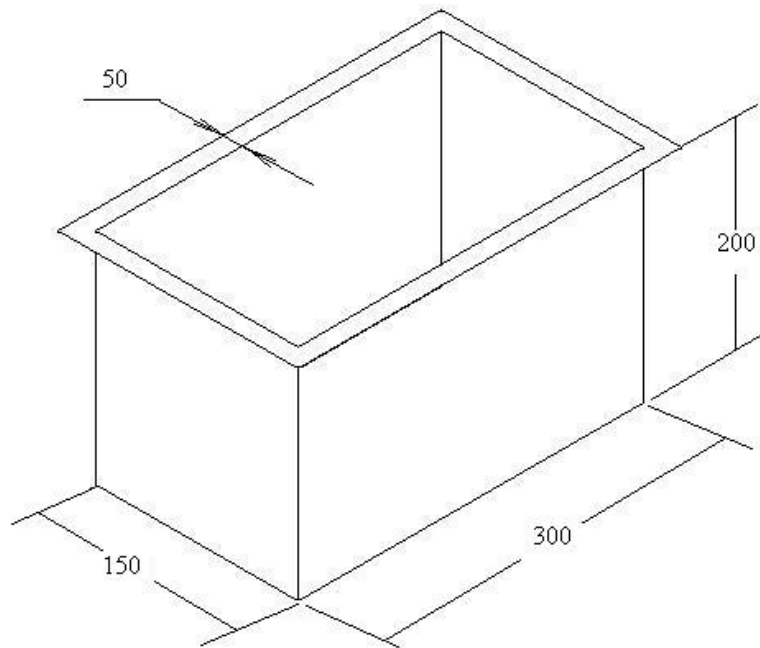


Figura 3.10. Dimensiones del tanque para pulido electrolítico (mm)

3.3.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL TANQUE PARA ELECTROPULIDO

Como se mencionó anteriormente, el material con que se construya el tanque debe ser químicamente resistente a las soluciones electropulidoras que se utilizara en este caso, de lo contrario se recomienda utilizar un revestimiento que cumpla con dicha condición.

Dependiendo de la cantidad máxima de piezas, el tamaño del equipo (para el baño electropulidor) puede variar desde un recipiente de vidrio de laboratorio, a tanques de acero de bajo carbono forrados con vidrio o revestidos de plástico o acero inoxidable.

Los materiales más comunes para la construcción de tanques en la actualidad y que se pueden encontrar en el mercado salvadoreño y que cumplen estas exigencias son los siguientes:

- Acero inoxidable
- Acero de bajo carbono recubierto
- Vidrio

El material más común para tanques en general son las laminas de acero dulce (bajo contenido de carbono) con un espesor mínimo de 4.5 mm (3/16”), con la única dificultad de que presenta ciertas debilidades a los ataques de los electrolitos, por lo que debe de incurrirse en la aplicación de algún revestimiento (plomo químico) por ejemplo, incrementándose los costos del tanque.

Por otro lado se recomienda el acero inoxidable tipo 316L o 317 (aceros inoxidables austeníticos), que puede ser utilizado además como cátodo, ya que presentan las características de mejor resistencia a la corrosión que los martensíticos o ferríticos, tienen una alta resistencia a la fluencia y pueden ser soldados, pero se presenta la dificultad que no es muy utilizado en nuestro medio.

Tomando en consideración lo anterior, lo más deseable es construir el tanque de láminas de acero inoxidable 304 (se encuentra en el mercado nacional) de 1.6 mm (1/16”) de espesor.

3.4 SELECCIÓN DE LOS ELECTROLITOS PARA ELECTROPULIDO

Los materiales que se estudiarán y se les aplicará el proceso de electropulido, son:

- Acero inoxidable AISI 304
- Aluminio AISI 6061
- Cobre AISI 110

Con base a los materiales mencionados, se realizara la mejor selección de los electrolitos que nos permitan obtener los mejores resultados en el proceso.

Según la norma ASTM E 1558-93 y otras fuentes bibliográficas, existe una serie de electrolitos que pueden ser utilizados en el electropulido y sus respectivos usos. En la siguiente tabla se presenta la selección de los electrolitos más adecuados, y sus condiciones de operación de acuerdo a los materiales que se estudiarán.

En dicha tabla son presentados los componentes químicos en el orden de mezclado. Este orden ha sido establecido para prevenir posibles reacciones peligrosas en la elaboración de los electrolitos.

Tabla 3.1. Electrolitos para electropulido

Material	Fórmula del electrolito	Dens. de Corr. (A/cm²)	Voltaje (V)	T (°C)	Tiempo (min)	Comentarios
Acero Inoxidable 304	Agua destilada 140 mL Etanol (95%)750 mL Ácido perclórico (60 %) 50 mL	0.3 a 1.3	8-20	27	1	Cátodo de acero inoxidable
Aluminio 6061	Agua destilada 200 mL Etanol (95%)380 mL Ácido fosfórico (85 %) 400 mL	0.15 a 0.35	27-30	30 a 40	4-6	Cátodo de aluminio
Cobre 110	Agua destilada 350 mL Ácido fosfórico (85 %) 700 mL	0.06 a 0.1	1.2 a 2.0	27	15-30	Cátodo de cobre

A menos que se den otras instrucciones, se propone que los electrolitos sean utilizados en el rango de temperaturas de 20 a 35 °C. El uso de cátodos de acero inoxidable con estos electrolitos es mejor, a menos de que se recomiende otro tipo de material.

Los laboratorios que elaboran estos reactivos, ordenan la información de cada uno de ellos en formatos, conocidos como “Registros Técnicos para la Seguridad en el Transporte y Uso del Material” (“Material Safety Data Sheet”: MSDS) de cada reactivo (ver Anexo 2), en las cuales se encuentra

información referida a las condiciones de seguridad en el trabajo, al manejo y a su grado de toxicidad que ellos poseen. La combinación de información analítica presentada en las MSDS y de seguridad en la etiqueta, ayuda a que los reactivos que se utilizan tanto en la industria como en los laboratorios, no sean causas de accidentes o enfermedades; toda la información sobre los reactivos a utilizar en esta ocasión, se presentará en sus respectivas MSDS en el Anexo 2, las cuales le servirán de guía al usuario, para poder prevenir accidentes y seguir los lineamientos en el manejo de los reactivos. Algunos tipos de baños electropulidores deben cambiarse en intervalos de 1 a 4 meses, otros cada 6 a 12 meses⁹, ya que estos se pueden agotar en varias formas y perder su efectividad; a continuación se mencionan algunas de ellas:

- Los químicos esenciales para el proceso salen del baño en el arrastre que cubre las piezas
- El electrolito se evapora del baño
- Se introducen químicos contaminantes cuando las piezas no están completamente limpias
- El sedimento acumulado en el fondo del tanque

Si el electrolito después de ser usado pierde algunas de sus características, se puede tener la opción de volverlas a recobrar llenando el tanque con electrolito nuevo, antes de tirarlo o reciclarlo. Esto requiere prácticas de supervisión simples como medir rutinariamente el pH y las concentraciones de metal, entonces, cuando la eficacia del baño disminuya, se puede retirar parte del baño y añadirle agua fresca y químicos nuevos para reemplazar lo que se ha retirado.

3.4.1 CALCULO DEL VOLUMEN NECESARIO POR EL TIPO DE REACTIVO

En base al volumen de la solución que se determinó anteriormente 30x15x15 (cm) que equivale a 6750 mL, se procede a calcular el volumen necesario de cada reactivo que conforman la mezcla electropulidora para cada material:

⁹ Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.

1. Acero Inoxidable AISI 304

- ✓ Volumen de agua destilada (H₂O)

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0.14 \times 6750 \text{ mL}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 945 \text{ mL}$$

- ✓ Volumen de etanol (C₂H₅OH)

$$V_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 0.8 \times 6750 \text{ mL}$$

$$V_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 5400 \text{ mL}$$

- ✓ Volumen de ácido perclórico (HClO₄)

$$V_{\text{HClO}_4} = 0.06 \times 6750 \text{ mL}$$

$$V_{\text{HClO}_4} = 405 \text{ mL}$$

2. Cobre AISI 110

- ✓ Volumen de agua destilada (H₂O)

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0.3333 \times 6750 \text{ mL}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 2250 \text{ mL}$$

- ✓ Volumen de ácido fosfórico (H₃PO₄)

$$V_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 0.6667 \times 6750 \text{ mL}$$

$$V_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 4500 \text{ mL}$$

3. Aluminio AISI 6061

- ✓ Volumen de agua destilada (H₂O)

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0.20 \times 6750 \text{ mL}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1350 \text{ mL}$$

- ✓ Volumen de etanol (C₂H₅OH)

$$V_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 0.38 \times 6750 \text{ mL}$$

$$V_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 2565 \text{ mL}$$

- ✓ Volumen de ácido fosfórico (H₃PO₄)

$$V_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 0.42 \times 6750 \text{ mL}$$

$$V_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 2835 \text{ mL}$$

En la Tabla 3.2 se presentan los volúmenes totales de los diferentes reactivos que se necesitarían adquirir en los laboratorios distribuidores de productos químicos en el mercado nacional para la preparación de las soluciones.

Tabla 3.2. Cantidad necesaria de reactivos para elaborar los electrolitos.

REACTIVO	FÓRMULA	VOLUMEN (mL)
AGUA DESTILADA	H ₂ O	4,545
ETANOL	C ₂ H ₅ OH	7,965
ACIDO PERCLÓRICO	HClO ₄	405
ACIDO FOSFORICO	H ₃ PO ₄	7,335

3.5 SELECCIÓN DEL EQUIPO PARA EL CALENTAMIENTO DEL ELECTROLITO

Entre los factores que se consideran esenciales en la selección del medio para calentar la solución, están:

- A. Medio para calentamiento: Electricidad
- B. Tipo de serpentín: Interno (inmersión)
- C. Materiales de construcción: Resistentes a la corrosión y compatibles con los reactivos

La adecuada selección del medio esta vinculada por consideraciones de disponibilidad y costos en el mercado, ya sea local o internacional.

De la información que se presentó anteriormente, se estableció que la temperatura de funcionamiento o de operación de los baños electropulidores oscila en el rango de 27 °C hasta una máxima de 40 °C. Pero, los reactivos que se eligieron para la elaboración de los electrolitos, solamente permiten temperaturas de operación inferiores a los 35 °C, por lo tanto no es necesario elevar la temperatura, ya que en ocasiones el solo hecho de la aplicación de la adecuada intensidad de corriente es suficiente para que el electrolito incremente su temperatura a los valores mencionados.

Al seguir la recomendación¹⁰, de que se pueden utilizar calentadores eléctricos de inmersión de una razón de unos 5 a 10 W/L (watts/litro) y que sea resistente a los productos químicos que se utilizaran, se puede proceder a realizar el cálculo de la capacidad de dicho elemento. Aunque el costo del calentamiento por electricidad en muchos lugares es considerablemente mas elevado que por vapor, con frecuencia se selecciona el primero por sus muchas ventajas: El control de la temperatura es fácil y preciso; estos calentadores son portátiles y de fácil instalación en los tanques.

Se tiene que el volumen que se manejara es de 6.75 litros, entonces:

¹⁰ Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.

$$P = (10 \text{ W/L}) (6.75 \text{ L})$$

$$P = 67.5 \text{ W}$$

Dado que el calentador debe ser capaz de proporcionar la energía necesaria, para incrementar la temperatura de la solución y mantenerla, así como suplir las pérdidas por transferencia al medio ambiente que se puedan generar, cuando se esté ejecutando el proceso y considerando un factor de seguridad de 2 la potencia mínima del calentador es:

$$P = 2(67.5 \text{ W})$$

$$P = 135 \text{ W}$$

Con la ayuda de éste resultado y tomando como base los datos que se muestran en la Tabla 1.1, se puede concluir que para poder efectuar un procedimiento de electropulido, la elevación de temperatura del electrolito no es muy alta.

Actualmente, en el Laboratorio de Metalografía de la Escuela de Ingeniería Mecánica se cuenta con un calentador del tipo de inmersión, como se muestra en la Figura 3.11, que presenta las siguientes características:

- Resistencia tubular de acero inoxidable resistente a las temperaturas de trabajo y a la corrosión química
- Diámetro circular de 95 mm (3 ¾ ”)
- Diámetro de la resistencia = 6.35 mm (1/4”).
- Voltaje = 120 V
- Frecuencia = 60 Hz
- Potencia = 1000 W
- Rango de temperatura de operación: 5 °C arriba de la temperatura ambiente hasta 100 °C
- Protección para alta temperatura (ajustable desde 40 a 120 °C)
- Protección para bajo nivel de líquido
- Sensor de temperatura de platino RTD (Resistance Temperature Detector)
- Intervalo de temperatura de 10 a 120 °C

- Control de temperatura: Proporcional
- Puntualización de temperatura: Analógico
- Estabilidad de la temperatura: $\pm 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Como se puede observar la capacidad que muestra este dispositivo es suficiente, para el requerimiento que exige el proceso de electropulido con respecto a la temperatura de operación.



Figura 3.11. Unidad de calentamiento y agitación.¹¹

3.6 SELECCIÓN DEL EQUIPO PARA LA AGITACIÓN DEL ELECTROLITO

Debido a que durante la electrolisis los productos de la reacción tienden a acumularse alrededor de los electrodos, la agitación es necesaria para lograr remover estos productos de reacción y homogeneizar la temperatura de la solución, la cual aumenta la velocidad del electropulido, acortando la duración del proceso.

¹¹ Fuente: Argueta Cruz, R. A., Trabajo de Graduación Diseño y Construcción de un Sistema para la Deposición Autocatalítica de Recubrimientos de Níquel-Fósforo, EIM-UES 2002

3.6.1 ALTERNATIVAS PARA AGITAR EL ELECTROLITO

Existen diversos métodos para poder agitar la solución electropulidora, los cuales se describen a continuación:

Agitación mecánica: Esta se produce por el movimiento oscilatorio o giratorio de las mismas piezas (ánodo) dentro de la solución, es el método más efectivo de producir la agitación para lograr resultados uniformes de electropulido. La cantidad y relación del movimiento depende de la forma y tamaño de la pieza.

Agitación por bombeo de gas: Por medio de un compresor se inyecta aire u otro gas por el piso del tanque.

Agitación de la solución por bombeo: Se trata de la recirculación de la solución por medio de una bomba, la cual toma parte de la solución del tanque la pasa por un serpentín y la retorna al mismo.

3.6.2 SELECCIÓN DEL MECANISMO DE AGITACIÓN

Para el desarrollo del proceso de electropulido, se selecciona el mecanismo de agitación por bombeo de la misma solución.

Tenemos que el volumen que debe manejar la bomba es 6.75 litros y se sabe en general, que el tiempo de pulido es del orden de minutos. Por lo tanto se puede establecer un caudal promedio de 6.75 Litros/min y que el material de la misma sea capaz de soportar los electrolitos que se utilizaran.

En la Figura 3.11 se muestra el equipo de calentamiento que cuenta también con un recirculador y que posee las siguientes características:

- Bomba construida de acero inoxidable.
- Succión de la Bomba: directamente desde el fondo.
- 2 velocidades a la salida (“High/Low”) = (7 / 15 litros por minuto)
- Presión a la salida (“High/Low”) = 17.93 / 10.34 kPa
- ϕ de entrada de la bomba = 7.94 mm (5/16”)
- ϕ interno en la conexión de salida de la bomba = 9.92 mm (25/64”)
- Diferencia de altura en la bomba = 25 mm
- Tubería de salida direccionable.

El recirculador trabaja con un nivel mínimo de solución; por lo que, la salida de la bomba deberá estar sumergida completamente en la solución, lo cual asegura que el calentador también lo estará. Evitando con ello que la bomba trabaje con aire y que el calentador no eleve su temperatura.

Observando las características anteriores y ya que no se necesita una agitación demasiado excesiva, se procederá a solicitarlo para utilizar dicho dispositivo, ya que se cuenta con el, evitando así incurrir en gastos innecesarios.

3.7 DISEÑO DE LOS SOPORTES O BASTIDORES PARA ÁNODOS Y CÁTODOS

La densidad de corriente local en las piezas se determina por la distribución de la corriente primaria y la polarización local. La distribución de corriente primaria, se determina completamente por la geometría de la celda que incluye la forma y tamaño de los electrodos, su conductividad eléctrica, la relación espacial de los electrodos, unos con otros, y los límites del electrolito, la naturaleza conductora de estos límites, la forma y localización de otros cuerpos conductores o no conductores en el electrolito. La densidad de corriente es independiente de las propiedades de la solución siempre que sea uniforme a través de la misma, hasta la superficie del electrodo. El término “polarización” combina todos aquellos fenómenos, tanto físicos como electroquímicos que operan para cambiar las propiedades de la solución en la vecindad del electrodo.

Siempre que un potencial eléctrico (voltaje), se aplica entre dos electrodos en un electrolito, todos los puntos de este último toman algún potencial intermedio entre los dos electrodos. A continuación se presentan brevemente unas generalizaciones sobre el control práctico de la distribución de la corriente primaria:

Distribución perfectamente uniforme de la corriente: Básicamente solo hay tres disposiciones posibles que proporcionan una distribución perfectamente uniforme de la corriente:

- Planos infinitamente paralelos
- Cilindros infinitamente concéntricos
- Esferas concéntrica

Distribución no uniforme de la corriente: Debido a que en la práctica no se cae exactamente en uno de los casos anteriores, todas las distribuciones reales, resultan en una distribución no uniforme de la corriente, especialmente en las zonas de discontinuidad. El diseño propuesto procura que la densidad de corriente sea uniforme en las probetas, y el pulido y ataque sean de buena calidad.

3.7.1 SOPORTES PARA ÁNODOS

Como se estableció anteriormente, la función más importante de un soporte es la de llevar corriente a las piezas y que la distribución sea lo más uniformemente posible, como se muestra en la Figura 3.12.

El contacto eléctrico más satisfactorio entre dos piezas de metal, es un punto de contacto diseñado para que haya metal suficiente cerca del contacto que conduzca la corriente y elimine cualquier calor generado por la resistencia del contacto. Se requiere el máximo cuidado al diseñar tales contactos, para evitar la contaminación de la solución.

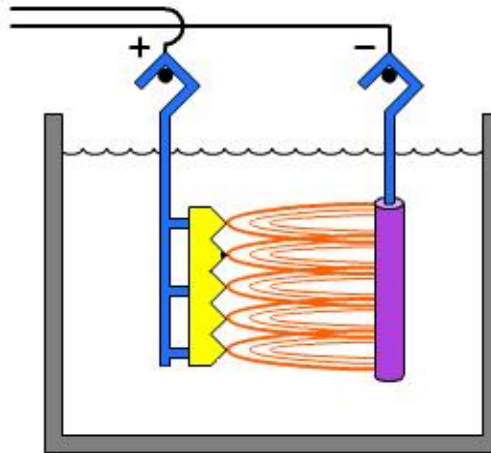


Figura 3.12. Distribución de la corriente en un soporte.

Al diseñar soportes deberán considerarse cuatro tipos básicos de construcción¹², como son:

- ✓ Rectos con salientes
- ✓ Tipo T
- ✓ Tipo de caja
- ✓ De salientes múltiples

Se deberá utilizar el que mejor satisfaga los requerimientos de capacidad de corriente, rigidez, limitación de peso, colocación de las probetas, limitación de espacio y facilidad de construcción.

El soporte recto con salientes se compone de una tira central vertical alrededor de la cual se colocan las piezas. Este tipo se utiliza principalmente en operaciones con piezas pequeñas transferidas a mano (ver Figura 3.13). Los soportes tipo caja, tipo T, y de salientes múltiples, se emplean con mayor frecuencia donde se utiliza transferencia mecánica, transportadoras automáticas, malacates o grúas.

¹² Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electroquímicos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.

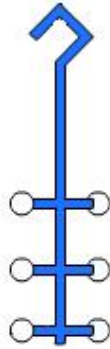


Figura 3.13. Soporte recto con salientes.

Tomando en consideración lo anteriormente expuesto, se selecciona el soporte recto con salientes para el diseño del soporte o bastidor de las probetas, ya que las piezas a electropulir son pequeñas y se manejarán manualmente.

Los soportes siempre deben diseñarse con la adecuada capacidad transportadora de corriente. Aunque no se dispone de datos técnicos exactos para la limitación de la capacidad transportadora de corriente de los componentes de los soportes, se puede considerar un valor¹³ aceptable de 1.5 A / mm² aproximadamente de área de la tira de cobre, lo mismo que para la barra conductora.

Antes de diseñar el soporte, debe determinarse el número de probetas a colocar en él, tomando en cuenta factores tales como las áreas importantes a electropulir (área efectiva) y la geometría del tanque.

El área efectiva, multiplicada por la máxima densidad de corriente a emplear en cualquier solución de trabajo, producirá la demanda total de amperaje sobre el soporte o conocer la capacidad de corriente máxima que proporciona la fuente de energía.

¹³ Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.

El dimensionamiento de los soportes se hará en base a la corriente máxima que proporciona la fuente de energía anteriormente seleccionada, tenemos que:

$$I_{\text{soporte máx.}} = 5 \text{ A}$$

Con un valor admisible de 1.5 A/mm^2 de sección transversal para barras o tiras de cobre, la barra principal deberá ser de una sección de:

$$A_{\text{soporte min}} = \frac{5 \text{ A}}{1.5 \text{ A/mm}^2}$$

$$A_{\text{soporte min}} = 3.33 \text{ mm}^2$$

Teniendo el valor del área transversal de la barra, podemos determinar el diámetro mínimo que se requiere, así:

$$A = \pi R^2$$

Despejando el valor de R tenemos:

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Sustituyendo los valores de A y π :

$$R = \sqrt{\frac{3.33}{3.1416}}$$

$$R_{\text{min}} = 1.03 \text{ mm}$$

Considerando que la capacidad de la fuente que proporciona la corriente, es un poco mayor, para poder evitar algún tipo de inconveniente y que la barra soporte una mayor cantidad de corriente se recomienda un factor de seguridad de 1.5, por lo tanto calculando nuevamente el valor del radio de la barra se tiene:

$$R = 1.5 * 1.03mm$$

$$R = 1.55mm$$

Entonces se puede calcular el valor del diámetro de la barra del soporte:

$$D_{\min} = 3.1mm$$

Para especificar una medida más estándar, para evitar algún tipo de maquinado y poderla encontrar en el mercado nacional se define el siguiente diámetro:

$$D_{\min} = 3.18mm(1/8")$$

Otra característica importante en el diseño de los soportes, es la manera de sujetar las probetas al soporte para un buen contacto eléctrico, la cual se definió anteriormente.

El espaciamiento exacto de cada probeta solo se puede determinar por medio de la experiencia y por pruebas. En este caso tenemos que establecer un espaciamiento mínimo, de acuerdo a lo que se estableció en la longitud del tanque se cuenta con una longitud de 8 cm, la altura del electrolito igual a 15 cm y la altura del tanque igual a 20 cm, para poder determinar posteriormente el dimensionamiento mas adecuado del soporte.

Para el dimensionamiento del soporte, deberá proveerse suficiente espacio entre la parte superior de la probeta y el nivel de la solución, también entre la parte inferior y fondo del tanque. Estas distancias varían de acuerdo con el tamaño y geometría de las probetas, el tipo de solución empleado y la clase de agitación utilizada.

Para piezas pequeñas deberá dejarse como máximo 150 mm en el fondo y de 50 a 75 mm en la parte superior de las piezas¹⁴. Esto evita desviaciones de la corriente al tanque que producirían un electropulido irregular. Otro procedimiento para evitar las desviaciones de corriente es proteger los extremos, lados y fondo del tanque con materiales aislantes y resistentes a la corrosión, de esta manera se lograría acortar la distancia de las probetas al fondo del tanque.

El dispositivo de contacto, llamado comúnmente punta de contacto del soporte, deberá ser lo suficientemente rígido para evitar que las piezas se desprendan durante el proceso y para asegurar un contacto eléctrico positivo. En la mayor parte de los casos es necesario, un contacto sencillo siempre que las piezas sean del peso suficiente para evitar que ocurra un desbalance y falsos contactos eléctricos. El diseño debe permitir colocar y retirar las probetas rápida y fácilmente. Además, debe conducir la corriente requerida y proporcionar suficiente área de contacto sin sobrecalentar, ni ocasionar quemaduras de contacto.

El diseño apropiado de los ganchos para sostener el soporte de la barra anódica es importante. El gancho debe tener un grosor apropiado para evitar calentamiento por el efecto Joule. Se debe de diseñar de manera que haya tantos puntos o líneas de contacto eléctrico como sea razonablemente posible. En la Figura 3.14 se muestra la forma más apropiada para el diseño del gancho de contacto del soporte:

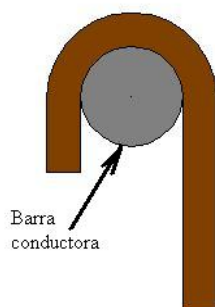


Figura 3.14. Gancho de contacto del soporte.

¹⁴ Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.

De acuerdo a las características que se establecieron anteriormente y el tamaño del sistema, las dimensiones del soporte se muestran en la Figura 3.15 y en planos, ver Anexo 1.

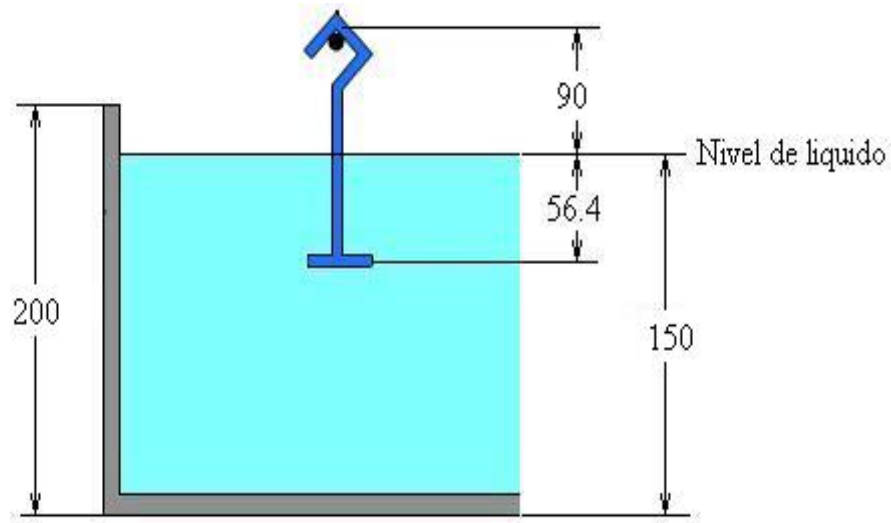


Figura 3.15. Dimensionamiento del soporte, cotas en mm.

3.7.2 DIMENSIONES Y DISPOSICION DE LOS CATODOS

Los cátodos son tiras planas de 75 a 125 mm de ancho, por 5 a 10 mm de espesor y la altura de acuerdo al tamaño del tanque; pueden ser de acero inoxidable u otro metal que sea resistente a los electrolitos que se utilizarán. Los cátodos de acero inoxidable son menos propensos a recubrirse con los productos de la reacción. Otros materiales usados como cátodos incluyen el cobre, el níquel, grafito y platino. También se debe tomar en cuenta que el área superficial del cátodo debe ser mucho más grande que la del ánodo (probeta).

Los cátodos se suspenden de la barra catódica por medio de ganchos parecidos a los empleados para colgar los ánodos. Para tener una mejor idea, en la figura 3.16 se presenta un esquema general y los planos en el Anexo 1.

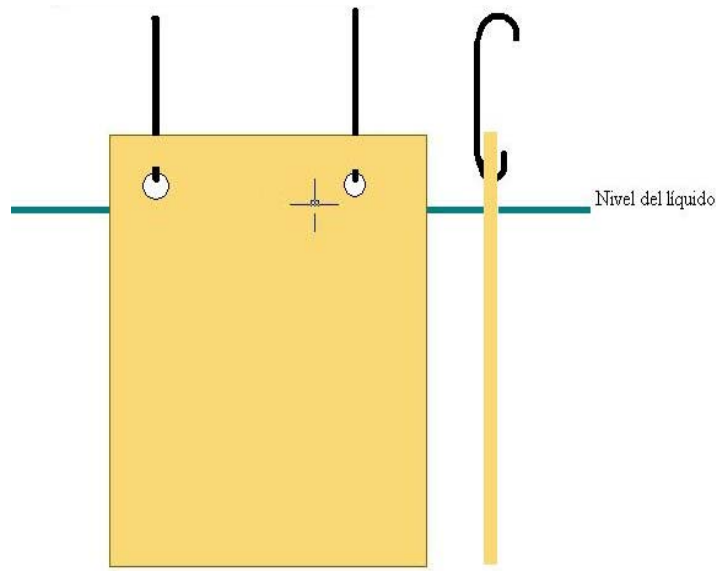


Figura 3.16. Forma geométrica de los cátodos

3.7.3 DISEÑO DE LAS BARRAS CONDUCTORAS

Para realizar el cálculo del área transversal de la barra conductora, se pueden utilizar los mismos datos anteriores, solamente se tomará en cuenta que debe ser un poco más robusta, ya que es donde se colgarán los soportes de las probetas para un contacto eléctrico positivo. Evitando de alguna manera que pueda existir algún pandeo de la barra, por lo tanto debe presentar una buena rigidez y conductividad eléctrica.

Se conoce, que el diámetro de la barra del soporte es de 3.18 mm (1/8"); tenemos que el diámetro comercial mayor más cercano es de 6.35 mm (1/4"), se considera una barra redonda como se muestra en la Figura 3.14 y una longitud igual a 250 mm, se representa en la Figura 3.17 y los planos en Anexo 1. El tamaño de las barras conductoras y de los soportes, para una densidad de corriente requerida depende de la longitud total del recorrido y de la caída de voltaje permisible.

Para barras de cobre se aplica la siguiente formula¹⁵, que también puede ser utilizada para los soportes, entonces:

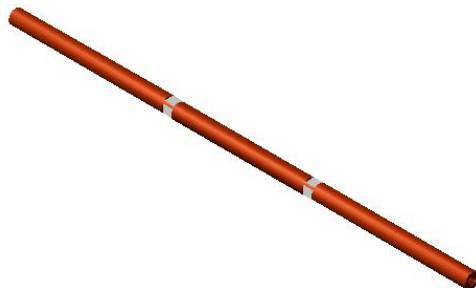


Figura 3.17. Barra conductora para soportes de ánodos y cátodos.

$$a = 9.03 \times 10^{-6} \left(\frac{LI}{E} \right)$$

Donde:

a = área transversal en plg^2

I = intensidad de corriente, en amperios

L = Longitud total de la barra, en pies

E = Caída de tensión permisible, en voltios

Despejando la caída de tensión permisible tenemos:

$$E = 9.03 \times 10^{-6} \left(\frac{LI}{a} \right)$$

¹⁵ Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.

a) Barra conductora

$$E = 9.03 \times 10^{-6} \left(\frac{0.82 * 5}{0.0490} \right)$$

$$E = 75.5 \times 10^{-3} V$$

b) Soportes

$$E = 9.03 \times 10^{-6} \left(\frac{0.5 * 5}{0.0123} \right)$$

$$E = 1.83 \times 10^{-3} V$$

Para determinar la caída de voltaje total tenemos que:

$$E_{total} = 0.077V$$

Por lo tanto se concluye que la caída de tensión permisible es mínima y el proceso no se vería afectado.

Otro factor importante a considerar es la pérdida de potencia eléctrica por el paso de la corriente (efecto Joule), la cual se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$W = I^2 R$$

Donde:

W = Potencia en Watts

I = corriente eléctrica en amperios

R = Resistencia eléctrica en ohms (8.30×10^{-6} ohms para el cobre)

Esta potencia por un período de tiempo determinado es una energía que se disipa en forma de calor:

Tenemos que la pérdida de potencia es:

$$W = 5^2 * 8.30 \times 10^{-6}$$

$$W = 0.207 \times 10^{-3} \text{ watts} \approx 2 \times 10^{-4} \text{ w}$$

Del resultado anterior se observa que las pérdidas en forma de calor serían mínimas.

3.7.3.1 AISLADOR DE LA BARRA CONDUCTORA

Las barras conductoras que sostienen a los soportes de los cátodos y ánodos, deben estar separados del tanque por medio de materiales aisladores no absorbentes, tales como vidrio o fluoropolímero; aunque existen otros materiales tales como la madera, esta no es recomendable ya que absorbe parte de las soluciones electropulidoras convirtiéndose en conductora de corriente y puede ocasionar cortocircuitos en el tanque.

En la Figura 3.18 se muestra la forma de los aisladores de las barras conductoras y del tanque; debido a las medidas anteriormente diseñadas para el tanque electropulidor (Figura 3.8), con fines de laboratorio, el espacio disponible en el tanque electropulidor para el ancho del aislamiento de la barra conductora será de 50 mm máximos ajustados al borde superior del tanque

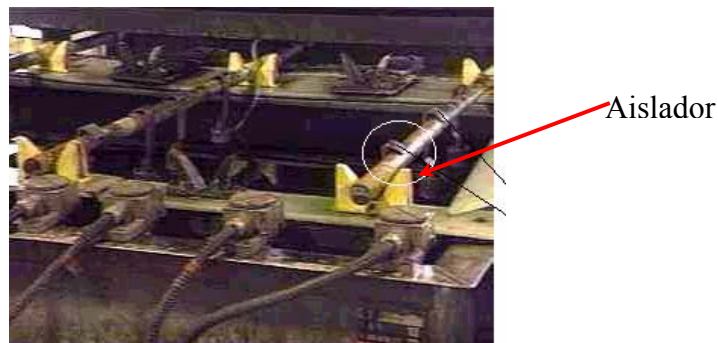


Figura 3.18. Aislador de la barra conductora

En la Figura 3.19 se muestra un esquema general de los soportes aisladores de las barras conductoras, por medio de las cuales se podrá variar la distancia entre las probetas y los cátodos; para poder establecer la distancia a la cual se obtienen los mejores resultados en el electropulido. Para poder establecer un buen aislamiento entre las barra conductoras y el tanque, se selecciona uno de los polímeros que se encuentran en el mercado como lo es nylon.

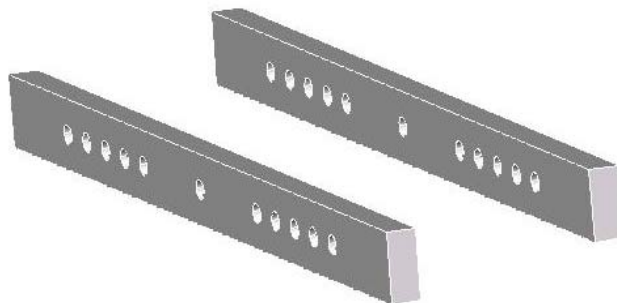


Figura 3.19. Aislador de las barras conductoras con el tanque electropulidor (planos ver Anexo1).

3.7.4 AISLAMIENTO DE LOS SOPORTES PARA PROBETAS

Para el aislamiento de los soportes se utilizará un material que no reaccione con las sustancias electropulidoras a fin de evitar un posible peligro de contaminación de la solución y además que evite que el metal de los soportes se desgaste debido al pulido. El material del aislamiento será de teflón (politetrafluoroetileno), ya que dicho material reúne las características antes expuestas y además se encuentra en el mercado nacional y con esto se logra alargar enormemente la vida de los soportes. En la Tabla 3.3 se enlistan algunas de las propiedades, que son de importancia para este caso, comparándolas con otros polímeros.

Otras características por las cuales se seleccionó el teflón son:

Antiadherencia: Muy pocas sustancias sólidas se pueden adherir de forma permanente al teflón, si bien los materiales viscosos pueden adherirse algo, la mayoría de sustancias se despegaran con facilidad.

Tabla 3.3. Propiedades de los polímeros

Polímeros	Temperatura de fusión (°C)	Resistencia química
Teflón (Politetrafluoroetileno)	327	Excelente
PVC (Cloruro de polivinilo)	140	Excelente
Polietileno	115	Excelente
Nylon	255	Suficiente

No humectante: Dado que las superficies recubiertas con Teflón, no son fáciles que se humedezcan. Se limpiarán mas fácilmente que otras y en muchos casos son autolimpiantes.

En la Figura 3.20 se muestra la forma del aislamiento de los soportes del ánodo, en la cual se describen las formas de estos elementos y los planos se presentan en el Anexo 1.

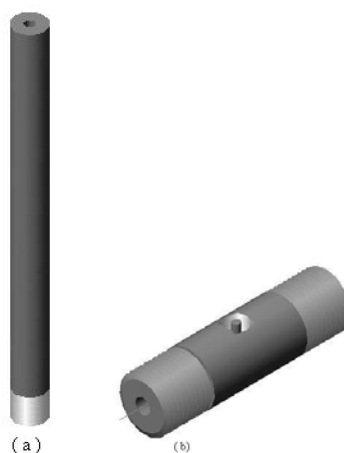


Figura 3.20. Aislamiento de los soportes para ánodos: (a) Barra vertical, (b) Barra horizontal.

3.8 PROPUESTA DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y VENTILACIÓN

En la etapa anterior se estableció que el mejor método para la extracción de los gases o vapores que se pueden generar en el proceso de electropulido, es la campana de extracción lateral, por lo

tanto, en el siguiente apartado se establecerán las principales características con las cuales debe contar este sistema para que su funcionamiento sea efectivo, como se muestra en la Figura 3.21.

La siguiente información será de interés como guía en lo que respecta a ventilación¹⁶:

- ✓ La mínima cantidad de aire que se requiere para eliminar el líquido que se evapora y permanece suspendido en el aire sobre el tanque electropulidor, es igual a unos 4.24 m³/min (150 cfm ó pies cúbicos por minuto) por cada 0.093 m² de superficie del tanque (45.5 m³/min/m²).
- ✓ Otra característica importante es la medida de la ranura, que debe ser de 25.4 a 50.8 mm de ancho y tan larga como el tanque.
- ✓ El colector extractor situado detrás de las ranuras de succión deberá ser ahusado para proporcionar una succión uniforme a todo lo largo.



Figura 3.21. Tanque de electropulido con campana de extracción lateral.

De acuerdo al dimensionamiento del tanque, el área de la superficie del tanque se calcula de la siguiente manera:

¹⁶ Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.

$$\text{Area} = \text{Largo} * \text{Ancho}$$

$$\text{Area} = 0.3\text{m} * 0.15\text{m}$$

$$\text{Area} = 0.045\text{m}^2$$

Podemos calcular la cantidad de flujo de aire necesario para el tanque, que tiene un área igual a 0.045 m^2 , entonces tenemos que:

$$\text{Flujo} = 45.5 \frac{\text{m}^3/\text{min}}{\text{m}^2} * 0.045\text{m}^2$$

$$\text{Flujo} = 2.05 \text{m}^3/\text{min} \quad \text{ó} \quad 72.4\text{cfm}$$

Este cálculo es la cantidad mínima de aire que se requiere para eliminar el líquido evaporado, tenemos entonces que realizar una selección del ventilador extractor con una capacidad un poco mayor para tener siempre un margen de seguridad que permita realizar la extracción un poco más rápida.

Los ventiladores extractores, deberán ser seleccionados con gran cuidado. Deben tener las características de funcionamiento que satisfagan la demanda de las campanas y sistemas de tubería. Como regla, se prefieren los ventiladores centrífugos, aunque algunos de los ventiladores recientes de flujo axial tienen las características de funcionamiento que son totalmente satisfactorios. Deberán seleccionarse unidades de baja velocidad más bien que las de alta velocidad, aunque el costo inicial sea mucho mas elevado, debido a que el mantenimiento y reparación son mucho menos costosas y producen mucho menos ruido, ya que éste es una constante fuente de molestias para los operarios.

A continuación se proporciona una lista de buenas prácticas para la construcción e instalación de sistemas extractores locales. Sin embargo, siempre es bueno consultar los requerimientos mínimos de las entidades encargadas de regular estos aspectos localmente, para estar seguros de que el sistema, cuando se instale, cumplirá con ellos:

- 1.- Construir los ductos y campanas de material nuevo, manteniendo las superficies interiores tersas y libres de obstrucciones y haciendo las uniones herméticas por medio de soldadura.
- 2.- Donde los gases no sean tan corrosivos como para requerir materiales especiales, se puede emplear hierro galvanizado para los ductos y campanas. Para gases y neblinas corrosivas se puede emplear cloruro de polivinilo extrusionado sin plastificar y plástico de polietileno extrusionado.
- 3.- Emplear espesores de lámina metálica no menores que los especificados en la Tabla 3.4 para ductos rectos, y dos calibres mayores para codos y campanas.
- 4.- Traslapar y remachar o soldar por puntos cada tres pulgadas en las uniones longitudinales de los ductos.
- 5.- Traslapar las uniones en la dirección del flujo de aire usando un traslape de 25.4 mm (1") para ductos de hasta 0.48 m (19") en diámetro y 32 mm (1 ¼") para diámetros mayores.
- 6.- Utilizar codos de radios grandes (radio preferible a la línea de centro es de 2.5 veces el diámetro del tubo pero no menor que 1.5 veces dicho diámetro) con, al menos 5 secciones para codos de 90° hasta 150 mm (6") de diámetro y, al menos 7 secciones para ductos de diámetros mayores.
- 7.- Proporcionar medios de limpieza cada 3.66 m (12') y cerca de las curvas y uniones.
- 8.- Emplear ductos redondos, de preferencia a los cuadrados o rectangulares.
- 9.- Si fuese necesario, equipar el extremo terminal de la chimenea de descarga con cubierta protectora.
- 10.- Si la cantidad y tipo del contaminante en el aire descargado al exterior es tal que pueda constituir alguna molestia por contaminación del aire, incluir un dispositivo limpiador de aire en el diseño del sistema de ventilación.

Como ya se mencionó en la etapa anterior, el diseño de la campana de extracción lateral es el más común y fácil de construir, y por lo tanto sería la propuesta más adecuada.

Tabla 3.4. Espesor mínimo de la lámina de metal para la construcción de campanas y ductos¹⁷

Diámetro del ducto (plg)	Calibre #	Espesor de la lámina(plg)
8 y menores	22	0.0306
8.5 – 18	20	0.0368
18.5 – 30	18	0.0490
Más de 30	16	0.0613

De acuerdo al tamaño del tanque y los electrolitos establecidos, tenemos que la campana de extracción lateral deberá presentar las siguientes características dimensionales y materiales de construcción, ver Figura 3.22.

Material de construcción: PVC o acero inoxidable, ya que presentan muy buenas características anticorrosivas.

Capacidad del ventilador: mayor de 72.4 cfm (pies³/min).

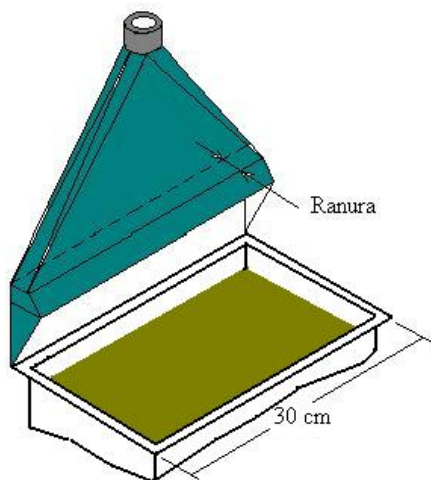


Figura 3.22. Campana de extracción lateral con una ranura de 50.8 mm.

¹⁷ Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.

3.9 SISTEMA DE ENJUAGUE

Con frecuencia se olvida la parte importante del enjuagado para asegurar un buen término del proceso de electropulido, para luego proceder al siguiente paso que es el secado y la observación al microscopio.

En la etapa anterior se menciona que el método que permite ahorrar hasta un 90 % el consumo de agua, es el sistema de enjuague de contracorriente de etapas múltiples, ya que con esta reducción del consumo de agua, se pueden reducir los costos de operación del sistema.

El propósito de analizar y diseñar una instalación de enjuagar puede ser el de asegurar que el enjuagado sea el adecuado, conservar el agua, reducir el volumen del desperdicio producido, o cualquier combinación de estas tres razones. Los pasos en el proceso de la propuesta de diseño son:

1.- Se recomienda que como mínimo sean tres enjuagues después de extraer las probetas con todo y soporte del baño electropulidor, para poder realizar un enjuague manual. Por lo tanto se establece que se necesitarían tres depósitos para este propósito.

2.- Como el número de probetas es pequeño, no se necesitaría una gran cantidad de agua para poder realizar un buen enjuague, y para evitar elevar los costos solamente se contará con tres depósitos con una capacidad de unos 5.0 L cada uno o algún depósito que tenga esta capacidad y que se encuentre en el mercado nacional, como se muestra en la Figura 3.23.

Para que exista una menor pérdida de agua en el momento de extraer las probetas y luego trasladarlas al siguiente depósito, se recomienda que la distancia que haya entre depósito y depósito sea lo suficientemente pequeña para evitar desperdicios excesivos.

El material de los tanques de enjuagar será acero inoxidable 304; ya que parte del electrolito se diluirá en el agua de enjuague, y como sabemos que son ácidos, los depósitos deben ser también resistentes a la corrosión.

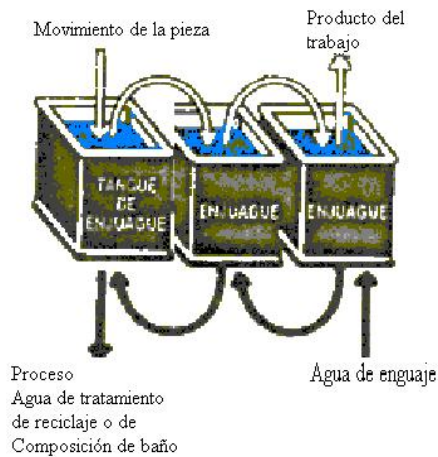


Figura 3.23. Esquema general del sistema de enjuague

3.10 SISTEMA DE SECADO

El diseño de un proceso de secado es importante, ya que durante el proceso de enjuague que se les da a las diferentes piezas electropulidas, pueden ocurrir manchas cuando algunos componentes de la película de agua de la superficie reaccionan durante el periodo de secado con el metal para formar decoloraciones. Las marcas de agua son ocasionadas cuando la película de agua de la superficie, conteniendo una pequeña cantidad de sales disueltas, es concentrada por la evaporación durante el secado y se reduce a unas cuantas gotas. Entonces, estas se evaporan y quedan anillos o puntos visibles procedentes de las sales, las cuales pueden ser difíciles o imposibles de quitar, excepto en forma mecánica por frotamiento o por abrillantado.

Aunque existen diferentes métodos de secado como los mencionados en la etapa anterior, es preferible el empleo de aire para dicho proceso (corriente de aire ó corriente de aire caliente, etc.) sin embargo éste debe de estar seco, limpio, y libre de partículas sólidas y aceite. Para propósitos industriales, puede emplearse aire de un compresor convencional, pero se debe filtrar. El aire puede ser parcialmente recirculado para conservación de calor, pero deberá tomarse suficiente aire fresco preparado desde un área seca en el local para mantener la temperatura de punto de rocío. Esto es lo más importante cuando el aire no es calentado. Los sopladores pueden ser de cualquier tipo que suministre cantidades suficientes de aire a baja presión.

Debido a que las probetas son pequeñas, no es necesario contar con un gran sistema que genere aire caliente, por lo anteriormente expuesto se seleccionará una secadora de cabello normal como se muestra en la Figura 3.24, la cual cumple con la característica, de que expulsa aire caliente suficiente para que la superficie electropulida enjuagada sea secada rápida y completamente para evitar las manchas o marcas de agua sobre las probetas.



Figura 3.24. Secadora para cabello

3.11 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DE LA CELDA

La estructura del banco de la celda será conformada de tubo industrial de 31.75mm x 31.75mm (1^{1/4}” x 1^{1/4}”), en la cual se soportaran los diferentes elementos, tales como:

- Fuente de energía
- Tanque para electropulido
- Tanques para enjuague
- Campana extractora

La superficie superior de dicho banco se forrará con lámina de acero de bajo carbono de 1.2mm (3/64”) de espesor además esta superficie se recubrirá con material aislante y resistente a la corrosión, como lo puede ser algún polímero que se encuentre en el mercado.

Debido a que la carga que soportará la estructura es pequeña, no se realizará el diseño correspondiente de análisis estructural (soldadura, selección de materiales, etc.), ya que el material que se utilizara en la construcción es lo suficientemente resistente. En la Figura 3.25 se presenta un esquema general de dicha estructura.

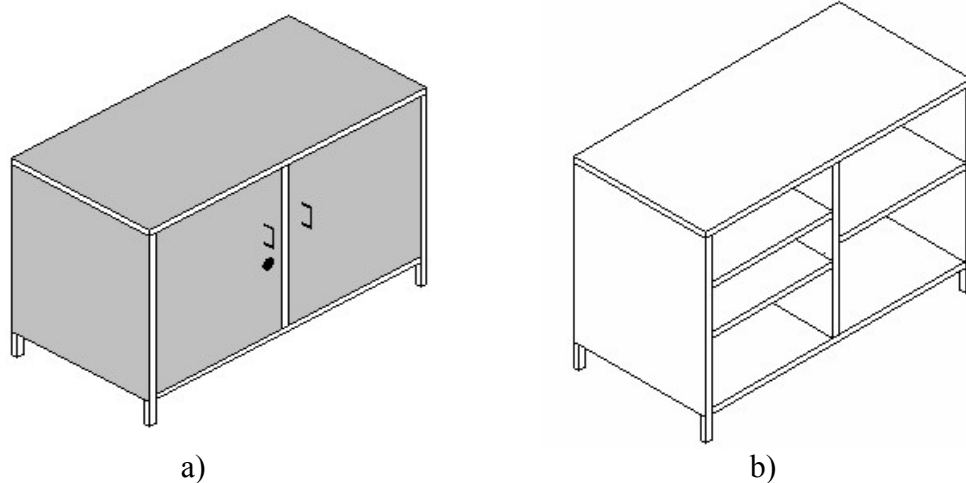


Figura 3.25. Estructura del banco (Largo x Ancho x Alto = 120 x 60 x 100), medidas en cm; a) Vista exterior; b) Vista interior.

3.12 REQUERIMIENTO DE ESPACIO Y LAS CONDICIONES DEL LOCAL PARA LA CELDA

El espacio requerido se determinará a partir de las dimensiones del banco y el espacio que se requiera para poder realizar algún tipo de movimiento como se muestra en la Figura 3.26 y 3.27.

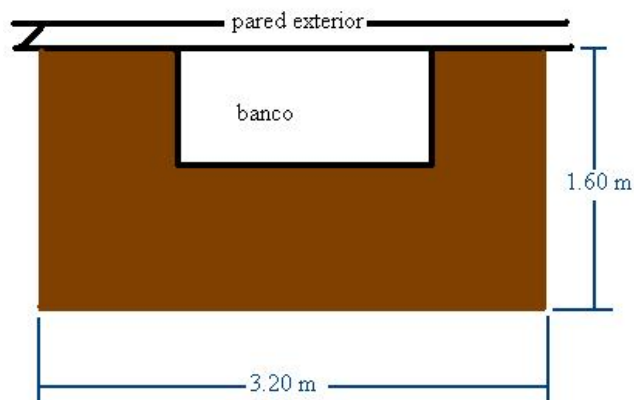


Figura 3.26. Vista de planta del área requerida para la celda.

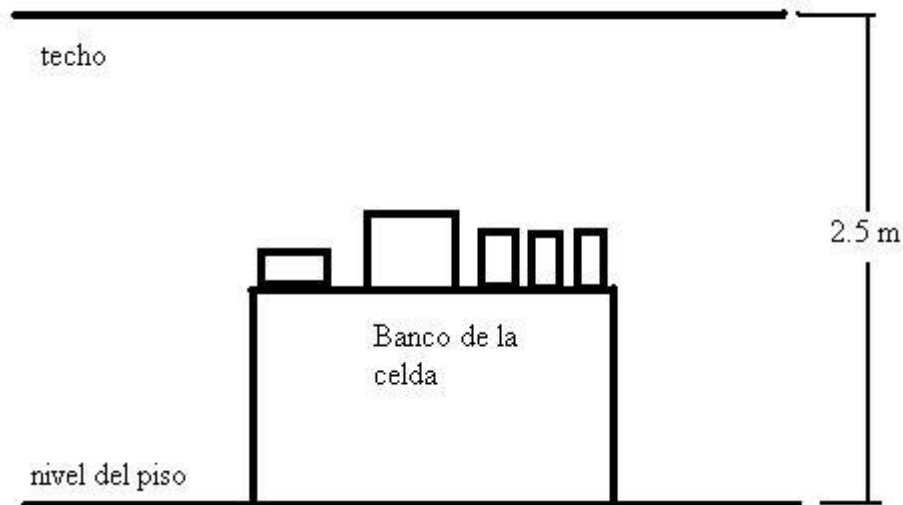


Figura 3.27. Requerimiento de altura del local

En general, un sistema operado manualmente no encuentra dificultad en cuanto a la altura del techo, es suficiente que el local cuente con un promedio de altura de techo de 2.5 a 2.75 m.

Otras características importantes con las que debe contar el local son los servicios de energía eléctrica y agua. El servicio de energía debe contar por lo menos con tres toma-corrientes de 110 voltios AC, un suministro de agua (grifo) y un desagüe.

En cuanto a la ventilación lo más recomendable sería que la celda esté en un lugar techado, pero sin paredes, para que haya una buena ventilación permanente. Pero si no se cuenta con tal local y se trabaja en un lugar cerrado se recomienda que la celda se ubique cerca de las ventanas y que se

mantengan abiertas o contar con un extractor de aire o un ventilador que mueva y saque el aire, ya que de estos baños electropulidores salen pequeñas emanaciones de gases tóxicos.

3.13 MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

El almacenamiento y manejo adecuado de sustancias químicas en los laboratorios es sumamente importante debido a los riesgos potenciales asociados a éstos. Nunca se utilizará el orden alfabético como criterio de almacenamiento de sustancias químicas. Se le prestará atención especial a la incompatibilidad entre sustancias durante el proceso de almacenamiento. Bajo ningún concepto se utilizarán las campanas de extracción como áreas de almacenamiento.

Generalmente se recomienda no tener áreas de almacenamiento de sustancias peligrosas en los laboratorios.

Guía General para almacenamiento de sustancias químicas

1. Se mantendrá un área bien rotulada para almacenamiento de sustancias químicas, dentro del laboratorio y del área de almacenaje de desperdicios.
2. Los desperdicios peligrosos no podrán ser almacenados por más de 5 días dentro del laboratorio si los envases están llenos.
3. Todas las sustancias que al entrar en contacto entre sí puedan experimentar reacciones o cambios violentos (explosión, fuego, emisiones tóxicas, etc.), se almacenarán segregadamente tomando en consideración tales efectos. La información sobre incompatibilidad química se puede obtener de las Hojas de Datos de Seguridad de Materiales ("MSDS").
4. Se considerará el material del cual esté hecho el recipiente (plástico, cristal, metal), su tamaño y el estado físico de la sustancia para determinar el lugar de almacenamiento.

5. Toda sustancia o desperdicio químico se almacenará en recipientes hechos de un material compatible con la sustancia que se va a almacenar.
6. Sustancias químicas no peligrosas se identificarán como tales. Se almacenarán en tablillas, anaqueles o gabinetes como se entienda más apropiado.
7. Toda sustancia química catalogada como explosiva se almacenará bajo estricto control, en un gabinete bajo llave. Estos gabinetes deberán ser a prueba de incendios y explosión además de tener ventilación apropiada. RECOMENDACION NO ALMACENAR SUSTANCIAS EXPLOSIVAS EN LOS LABORATORIOS.

Normas de Seguridad

1. El material de los gabinetes deberá ser resistente a ácidos, solventes, etc.
2. Los estantes deberán tener un borde de por lo menos una pulgada, que sirva de dique en caso de derrame o escape.
3. El piso deberá estar construido de material lo menos absorbente posible, preparado para contener derrames.
4. Las sustancias deberán estar clasificadas según sus características de peligrosidad. No se almacenarán juntas las sustancias que puedan reaccionar entre sí (por ejemplo, sustancias reductoras con oxidantes fuertes, etc.).
5. Los envases deberán colocarse de manera segura evitando que puedan caer sobre las personas. Los envases de mayor capacidad deberán estar más cerca del piso.
6. Todos los envases deberán estar debidamente identificados con sus índices de riesgos.

7. Deberá haber material y equipo para contener los posibles derrames que ocurran en el laboratorio. El equipo de derrame debe ser suficiente para controlar el 70% del volumen del posible derrame.
8. Todo laboratorio estará provisto de por lo menos un extintor de incendios, no menor de 5 libras de capacidad. Instalado en un lugar visible y accesible, preferiblemente cerca de la salida.
9. En el área de almacenaje de sustancias químicas, al igual que en los laboratorios, no se puede fumar, ingerir alimentos o aplicarse cosméticos.
10. Las áreas de almacenamiento deben tener ventilación apropiada y en funcionamiento de tal forma que no haya acumulación de vapores o gases. Los gabinetes para sustancias inflamables deberán tener instalado el sistema de extracción necesario.
11. Los gabinetes de almacenamiento de sustancias químicas deberán tener sistemas de extracción de gases que descarguen fuera del edificio.

Mantenimiento de documentos

1. Se mantendrá un inventario de todas las sustancias químicas almacenadas.
2. Se mantendrá un registro del uso de cada sustancia química almacenada. Dicho registro incluirá por lo menos la siguiente información, se sugiere en forma de tabla: Nombre de la sustancia, Nombre del usuario, Uso, Fecha de uso, Cantidad solicitada, Cantidad disponible en el almacén, Cantidad remanente y Persona que entregó la sustancia.
3. Registro de los desperdicios generados.

Cambio de los electrolitos

Se debe de disponer de un método adecuado para poder desaguar los electrolitos del tanque, cuando se desee almacenar o cambiarlo por otro electrolito para una aplicación diferente. Los tanques para electropulido y de hecho cualquier tanque que no contenga una solución peligrosa pueden ser equipados simplemente con un manguito roscado y un tapón hembra en el fondo del tanque. En el caso de un tanque sencillo sin sumidero el desagüe deberá ser colocado en el fondo y cerca de una esquina, para que cuando se limpie, todo el sedimento pueda ser arrastrado por lavado hacia esa esquina y desaguado.

Debido a los electrolitos que se utilizaran son altamente peligrosos, lo más recomendable sería dotar al tanque con algún tipo de válvula en el fondo para evitar entrar en mayor contacto con los electrolitos, para poder conectar una manguera que permita conducir los electrolitos hacia los depósitos donde se almacenaran, como se aprecia en la Figura 3.28.



Figura 3.28. Salida para desagüe del tanque.

CAPITULO IV

4 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y COSTOS DE LA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLITICO.

Después de efectuar el diseño y selección de los diferentes componentes que conforman la celda electrolítica para pulido y ataque metalográfico, es necesario continuar con el proceso de construcción, el cual se refiere a todas aquellas operaciones secuenciales necesarias para poder elaborar el proyecto, por lo tanto es necesario conocer todas las actividades que se deben desarrollar para obtener lo que se desea y que al mismo tiempo sirva de guía para todos aquellos que puedan interesarse en dicho proyecto.

El proceso de construcción en esta ocasión está constituido por las distintas operaciones que deben efectuarse para la fabricación de cada uno de los elementos, las cuales deben describirse paso a paso, para lo cual se hacen uso de las hojas de proceso; en las cuales se especifica el nombre del elemento, el material y se describe cada una de las operaciones que deben efectuarse hasta llevar al elemento a su acabado final. Una vez fabricados todos los elementos, estos deben ensamblarse.

4.1 HOJAS DE PROCESO.

A continuación se presenta el proceso de fabricación de cada una de las piezas de la máquina, este proceso inicia desde el material con dimensiones en bruto hasta llevarlas a las dimensiones requeridas. En las hojas de proceso se especifican las diferentes herramientas y equipos utilizados en el proceso de fabricación.

4.1.1 CONSTRUCCION DEL TANQUE.

Como se determinó anteriormente el tanque es donde se elaborarán y depositarán los diferentes electrolitos para cada una de las aplicaciones. Para la construcción de este elemento lo más recomendable es que se lleve el diseño del tanque a algún taller especializado en trabajar el

acero inoxidable para tener una garantía de que no exista ningún tipo de fallo como lo puede ser una mala soldadura que puede provocar alguna fuga o contaminación del electrolito. Debido a lo expuesto anteriormente no se presenta hoja de proceso, ya que el tanque para la celda se construyó en un taller dedicado a la elaboración de productos en acero inoxidable, por lo tanto ellos establecen el proceso de construcción mas conveniente.

El único cuidado que se debe tener es realizar una minuciosa inspección y verificación de que no exista ninguna fuga en el tanque.

4.1.2 CONSTRUCCION DE LAS BARRAS AISLADORAS

El principal objetivo de las barras aisladoras, es sostener separadas las barras conductoras entre si y evitar el contacto de estas con el tanque, para poder evitar así algún corto circuito. Otra característica de las barras es que están dotadas de una serie de agujeros distribuidos a lo largo de las barras para poder efectuar pruebas a diferentes distancias entre ánodos y cátodos. El proceso de construcción se describe en la Tabla 4.1.

4.1.3 CONSTRUCCION DE LOS SOPORTES PORTA PROBETAS

Los soportes son los encargados de mantener la posición de las probetas y conducir la corriente necesaria para que el proceso de electropulido se desarrolle adecuadamente. Debido a que dichos soportes están formados por un elemento vertical y uno horizontal, en la Tabla 4.2 y 4.3 se describe el proceso de su construcción.

4.1.4 CONSTRUCCION DEL AISLADOR VERTICAL

El principal objetivo de este elemento es el de servir como un recubrimiento que permite aislar el material de los soportes, para evitar que estos entren en contacto directo con los electrolitos y que no se corroan. En la Tabla 4.4 se describen las operaciones para su construcción.

Tabla 4.1. Proceso constructivo de las barras aisladoras

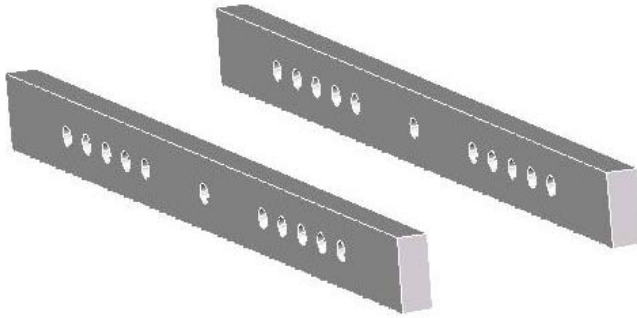
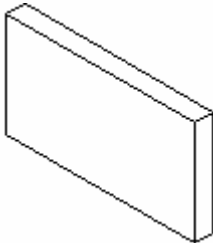
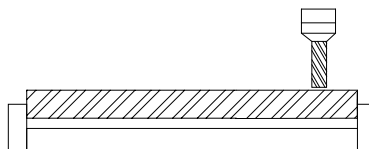
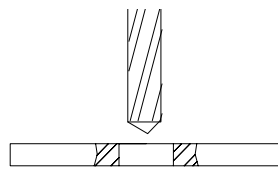
HOJA DE PROCESO # 1				
NOMBRE: BARRA AISLADORA			MATERIAL: NYLON	
CANTIDAD: 2			MEDIDAS EN BRUTO: 12.7x30x420 mm	
ESQUEMA DE LA BARRA AISLADORA				
				
Nº	Operación	Cantidad	Esquema	Máquina y /o Herramienta
1	Trazado de lamina de 12.7x30x400 mm	2		<ul style="list-style-type: none"> - Regla - Trazador - Escuadra
2	Escuadrado 4 caras sobre la mesa	2		<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora - Bridas - Fresa de 16 mm
3	Trazado y taladrado de agujeros			<ul style="list-style-type: none"> - Taladro - Broca de 8 mm

Tabla 4.2. Proceso constructivo del elemento horizontal del soporte

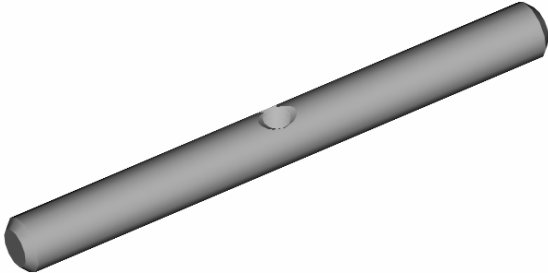
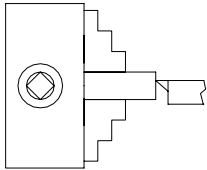
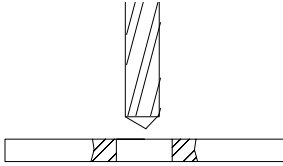
HOJA DE PROCESO # 2				
NOMBRE: ELEMENTO HORIZONTAL DEL SOPORTE			MATERIAL: COBRE	
CANTIDAD: 2			MEDIDAS EN BRUTO: φ6.35x68 mm	
ESQUEMA ELEMENTO HORIZONTAL DEL SOPORTE				
				
Nº	Operación	Cantidad	Esquema	Máquina y /o Herramienta
1	Corte, refrentado y achaflanado 1x45° ambas caras φ6.35x65mm	2		<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Buril para refrentado - Sierra
2	Taladrado y roscado	2		<ul style="list-style-type: none"> - Taladro - Broca de 2.5 mm - Machuelos 1/8" NF-40

Tabla 4.3. Proceso constructivo del elemento vertical del soporte



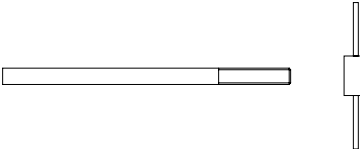


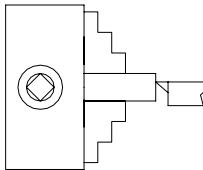
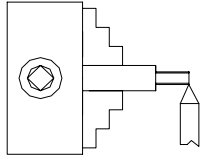
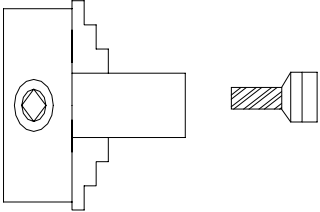
HOJA DE PROCESO # 3				
NOMBRE: ELEMENTO VERTICAL DEL SOPORTE			MATERIAL: COBRE	
CANTIDAD: 2			MEDIDAS EN BRUTO: φ3.18x 200 mm	
ESQUEMA ELEMENTO VERTICAL DEL SOPORTE				
				
Nº	Operación	Cantidad	Esquema	Máquina y /o Herramienta
1	Corte y achaflanado 1x45° φ3.18x170 mm	2		<ul style="list-style-type: none"> - Sierra - Lima
2	Roscado	2		<ul style="list-style-type: none"> - Terraaja 1/8" NF-40 - Prensa de tornillo
3	Doblado	2		<ul style="list-style-type: none"> - Prensa - Martillo

Tabla 4.4. Proceso constructivo del aislamiento vertical

HOJA DE PROCESO # 4				
NOMBRE: AISLADOR VERTICAL DEL SOPORTE			MATERIAL: TEFLON	
CANTIDAD: 2			MEDIDAS EN BRUTO: φ12.7x 200 mm	
ESQUEMA AISLADOR VERTICAL DEL SOPORTE				
				
Nº	Operación	Cantidad	Esquema	Máquina y /o Herramienta
1	Corte, refrentado y achaflanado 1x45° ambas caras; φ12.7x110 mm	2		<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Buril para refrentado - Sierra
2	Elaborar rosca exterior 1/2"-12 NC x 10mm	2		<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Buril para rosca exterior 55°
3	Taladrado de agujero φ 3.18 mm pasado	2		<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Broca φ 1/8" extralarga

4.1.5 CONSTRUCCION DEL AISLAMIENTO HORIZONTAL

Al igual que el aislador vertical, este elemento cumple con la función de aislar de los electrolitos el material que conduce la corriente, en este caso el cobre, en la Tabla 4.6 se describen las operaciones que se deben efectuar para construirlo.

4.1.6 CONSTRUCCION DE LAS BARRAS CONDUCTORAS

Las barras conductoras cumplen con la tarea de que se de una buena conducción de energía, de la fuente de voltaje DC hacia los cátodos y ánodos; así mismo de ser unas barras rígidas capaces de soportar el peso de dichos elementos, estas barras no están provistas de ningún aislamiento ya que no se encuentran inmersas en el electrolito y la corriente que estas conducen para elaborar las pruebas es muy pequeña, pero si cuentan con un aislamiento de NYLON que las aísla entre si y con el acero inoxidable del tanque; en la Tabla 4.7 se proponen los pasos para la elaboración de las barras.

4.1.7 CONSTRUCCION DE LOS CATODOS

Estos elementos son tiras planas que tienen como función principal completar el circuito eléctrico en la celda; y que además debe tener las características de ser un buen conductor y no ser atacado químicamente por el baño con o sin flujo de corriente. El material se selecciona en base al tipo de electrolito y el material a electropulir, por lo tanto en la Tabla 4.8 se detalla un procedimiento general para la construcción de dichos elementos.

4.1.8 CONSTRUCCIÓN DE LOS GANCHOS

La función de los ganchos es la de poder permitir el contacto entre las barras conductoras y los ánodos y cátodos, otra característica importante es la de mantener la posición y orientación de los

electrodos en la solución electropulidora. En la Tabla 4.9 se presenta el proceso a seguir en la construcción de los ganchos.


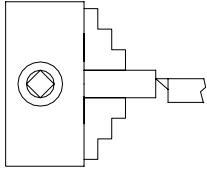
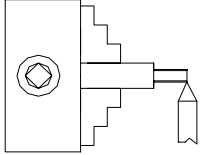
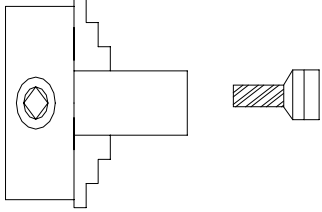
4.2 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA ELECTROLITICA

Los costos de construcción de la celda involucra los recursos económicos que se utilizaron para la elaboración de cada uno de los elementos necesarios para el ensamble posterior de la celda; los cuales están conformados por los costos de los materiales y los costos de la mano de obra, en la Tabla 4.5 se presentan dichos costos.

Tabla 4.5. Costos de construcción de la celda

Elemento	Cantidad	Costo material (\$)	Costo mano obra (\$)	Costo total (\$)
Tanque	1	-	-	50
Barras aisladoras	2	7.10	15 c/u	37.10
Barra horizontal	2	2	4 c/u	10
Barra vertical	2	2	3 c/u	8
Aislamiento horizontal	2	6.43	12 c/u	30.43
Aislamiento vertical	2	3.21	6 c/u	15.21
Cátodos	6	19.82	6 c/u	55.82
Ganchos para cátodos	12	10	3 c/u	46
Barras conductoras	3	3	1 c/u	6
			Subtotal	258.56

Tabla 4.6. Proceso constructivo del aislamiento horizontal

HOJA DE PROCESO # 5				
NOMBRE: AISLADOR HORIZONTAL DEL SOPORTE			MATERIAL: TEFLON	
CANTIDAD: 2			MEDIDAS EN BRUTO: φ22 x 200 mm	
ESQUEMA AISLADOR HORIZONTAL DEL SOPORTE				
				
Nº	Operación	Cantidad	Esquema	Máquina y /o Herramienta
1	Corte, refrentado, achaflanado 1x45° y rectificado φ22x60 mm	2		<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Buril para refrentado - Sierra
2	Elaborar rosca exterior 3/4'' - NC x 20mm ambas caras	2		<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Buril para rosca exterior 55°
3	Taladrado de agujero φ 7 mm pasado	2		<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Broca φ 7 mm

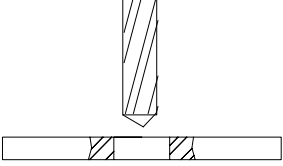
HOJA DE PROCESO # 5 (CONTINUACIÓN)				
NOMBRE: AISLADOR HORIZONTAL DEL SOPORTE			MATERIAL: TEFLON	
CANTIDAD: 2			MEDIDAS EN BRUTO: $\phi 22$ x 200 mm	
Nº	Operación	Cantidad	Esquema	Máquina y /o Herramienta
4	Taladrado y roscado 1/2" NC- 12	2		- Taladro de banco - Broca $\phi 10.5$ mm - Juego de machuelos 1/2"- NC -12

Tabla 4.7. Proceso constructivo de las barras conductoras


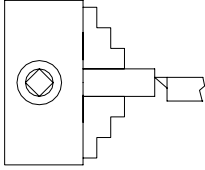
HOJA DE PROCESO # 6				
NOMBRE: BARRAS CONDUCTORAS			MATERIAL: COBRE	
CANTIDAD: 3			MEDIDAS EN BRUTO: $\phi 6.35$ x 255 mm	
ESQUEMA DE BARRA CONDUCTORA				
				
Nº	Operación	Cantidad	Esquema	Máquina y /o Herramienta
1	Corte, refrentado y achaflanado 1x45° ambas caras $\phi 6.35$ x250 mm	3		- Torno - Buril para refrentado - Sierra

Tabla 4.8. Proceso constructivo de los cátodos

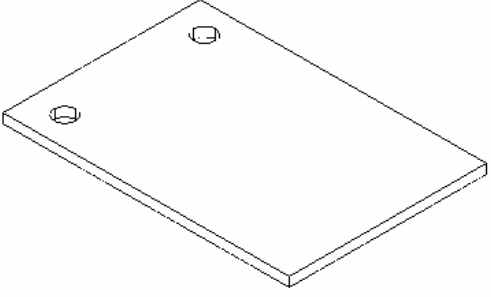
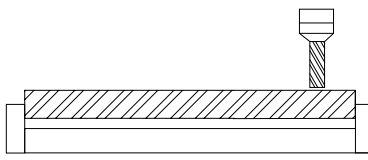
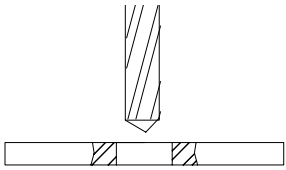
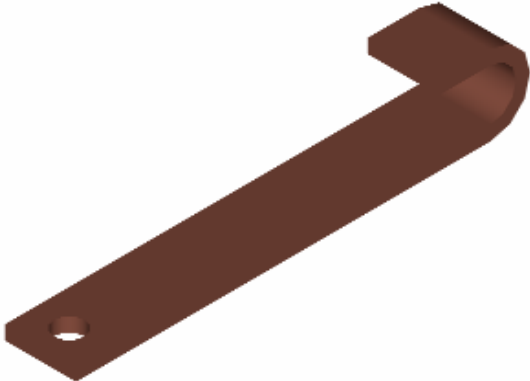
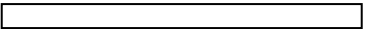

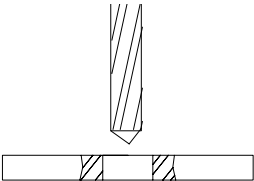
HOJA DE PROCESO # 7				
NOMBRE: CATODOS			MATERIAL: COBRE, ACERO 304, ALUMINIO 6061	
CANTIDAD: 6			MEDIDAS EN BRUTO: 6.35x76.2X127 mm	
ESQUEMA DE LOS CATODOS				
				
Nº	Operación	Cantidad	Esquema	Máquina y /o Herramienta
1	Trazado de la platina y escuadrado 6.35x76.2x125 mm	6		<ul style="list-style-type: none"> - Regla - Trazador - Escuadra - Fresadora - Fresa 16 mm
2	Marcado, taladrado de agujeros y roscado	12		<ul style="list-style-type: none"> - Taladro - Prensa de tornillo - Broca de 2.5 mm - Juego de machuelos 1/8" NC- 32

Tabla 4.9. Proceso constructivo de los ganchos para cátodos

HOJA DE PROCESO # 8				
NOMBRE: GANCHOS PARA CATODOS			MATERIAL: COBRE	
CANTIDAD: 12			MEDIDAS EN BRUTO: 1.5 x 12.7 x 95 mm	
ESQUEMA DE LOS GANCHOS PARA CATODOS				
				
Nº	Operación	Cantidad	Esquema	Máquina y /o Herramienta
1	Corte y limado 1.5 x 12.7 x 90 mm	12		<ul style="list-style-type: none"> - Sierra - Lima - Prensa de tornillo
2	Hacer doblez 180°	12		<ul style="list-style-type: none"> - Prensa de tornillo - Martillo
3	Marcar y hacer agujero	12		<ul style="list-style-type: none"> - Taladro - Broca de 4 mm

CAPITULO V

5 PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

Para la realización de las pruebas de pulido y ataque electrofítico se debe especificar el ensamble de la celda, la preparación de las probetas y la elaboración de los electrolitos, para poder establecer el procedimiento experimental que se debe ejecutar logrando determinar las mejores condiciones de operación, con el fin de obtener los resultados y su respectivo análisis esperado.

5.1 EMSAMBLE DE LA CELDA

Debido a que la celda esta constituida por una serie de elementos que no son fijos, esta se tiene que ensamblar en el momento que se va a realizar algún procedimiento de pulido y ataque a un material; se establece una guía donde se describe el proceso de ensamble, como sigue:

1. Sujetar en los bordes del tanque las barras aisladoras
2. Ensamblar los elementos que conforman los soportes porta probetas (ánodos):
 - A) Introducir la barra de cobre horizontal en el aislamiento horizontal de teflón, haciendo coincidir los agujeros roscados
 - B) Introducir la barra vertical de cobre en el aislamiento vertical de teflón
 - C) Enroscar la barra vertical de cobre en el agujero roscado de la barra horizontal de cobre, teniendo el cuidado necesario de no sobrepasar el diámetro de la barra horizontal para evitar que se rompa el aislamiento de teflón
 - D) Agregar cinta de teflón a la rosca del aislamiento vertical, con el fin de evitar que se introduzca el electrolito al interior del soporte
 - E) Enroscar el aislamiento vertical en el agujero roscado del aislamiento horizontal
 - F) Verificar de que exista continuidad, para estar seguros de que la corriente será transportada de la mejor manera a las probetas
3. Dotar a los cátodos de los ganchos, por medio de tornillos de 1/8" de diámetro

4. Colocar las barras conductoras en los agujeros de las barras aisladoras
5. Colocar los alambres conductores de acuerdo a la polaridad de los electrodos

Para tener una mejor idea de lo que es el ensamble de la celda, ver Figuras 5.1, 5.2 y 5.3.

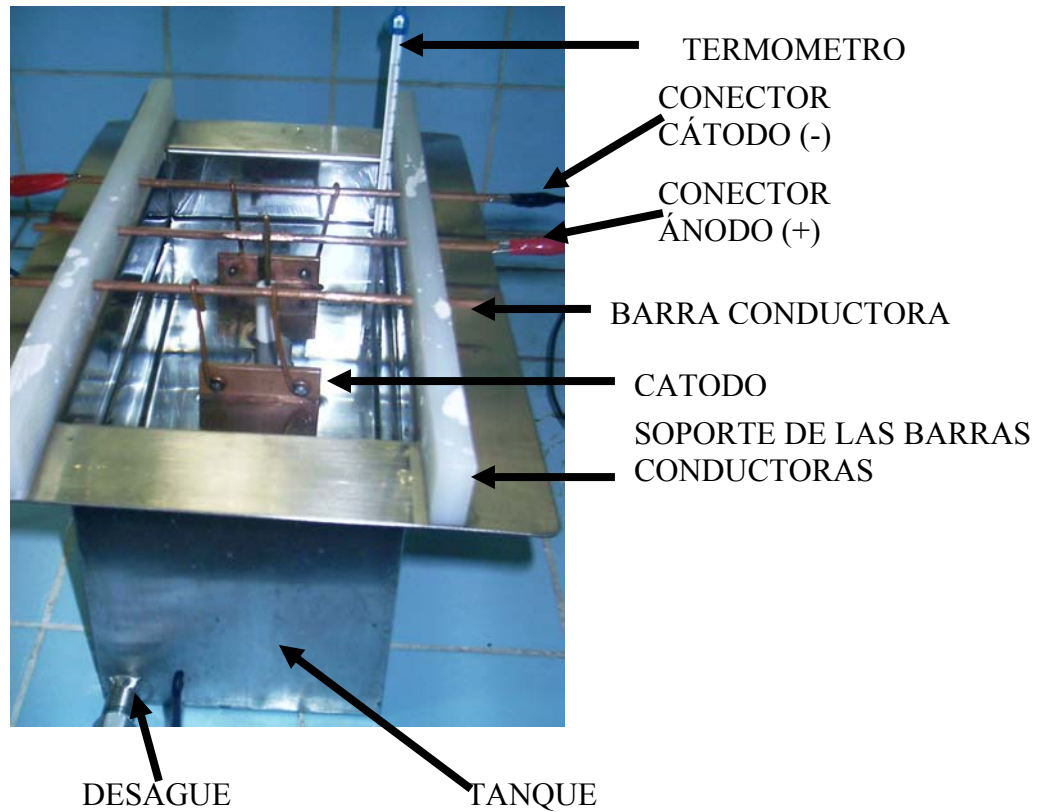


Figura 5.1. Ensamble típico del tanque de la celda para pulido y ataque electroquímico

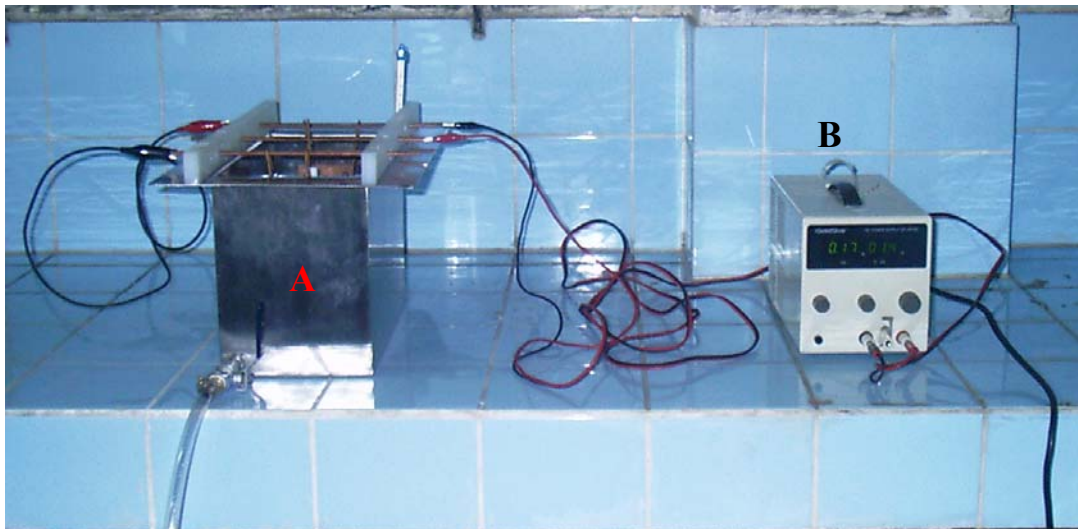


Figura 5.2. Vista general del conjunto total de la celda; A) Tanque; B) Fuente de corriente; también se observa la conexión eléctrica de la celda.

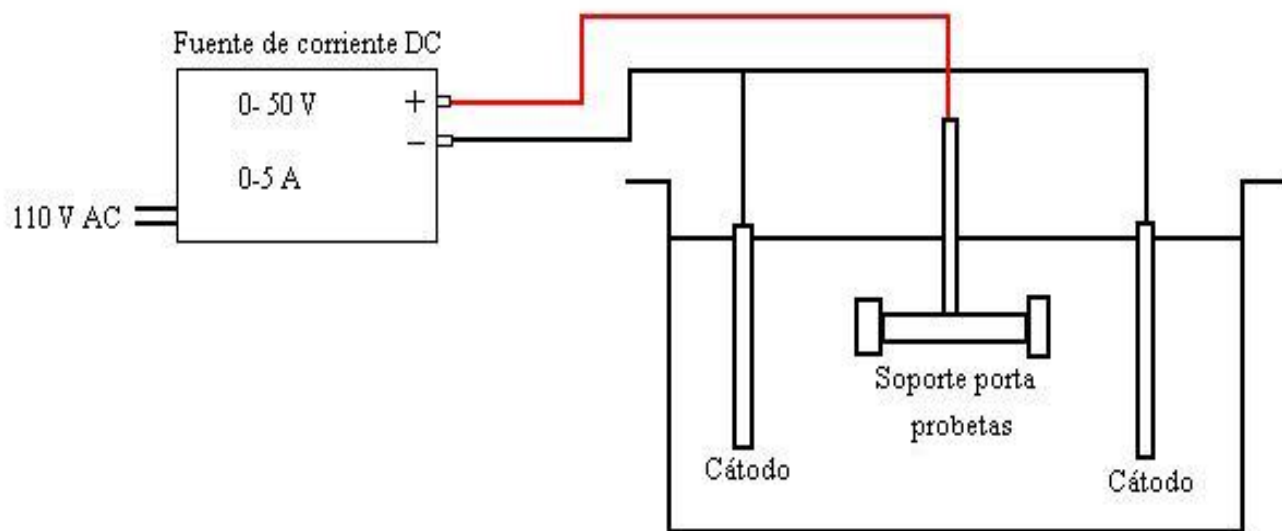


Figura 5.3. Diagrama de conexión de la celda electrolítica.

5.2 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Toda observación microscópica de metales exige un pulido previo de la muestra. Por otra parte, no siempre es posible disponer de muestras fáciles de sujetar y manipular durante el proceso de preparación y en particular durante el pulido. Ello ha obligado a idear sistemas de sujeción de las probetas pequeñas.

Actualmente se utilizan compresores hidráulicos para comprimir el material adherente y los viejos materiales adherentes han sido sustituidos por polímeros orgánicos. De éstos unos son termoendurecibles (funden, solidifican y no refunden) y otros termoplásticos (funden solidifican y refunden). Entre los primeros figura la bakelita (polímero del formol y del fenol) y entre los segundos el “lucite” (polímero del metacrilato de metilo). El primero es opaco, en tanto que el segundo es transparente.

El montaje de las muestras que se pulirán y atacarán, sigue la secuencia que se describe a continuación:

1. Selección del metal o aleación a estudiar (como cuando se estudia la causa de falla de un componente)
2. Compra de la resina y las camisas roscadas interiormente (bushing reductores)
3. Selección de la zona a estudiar, la muestra no debe ser muy grande por que se dificulta el proceso de pulido; en nuestro caso la muestra tendrá 1 cm^2 de sección transversal por 15 mm de altura y se recomienda hacer un corte en cada dirección (transversal y longitudinal) especialmente para muestras de acero y aleaciones de cobre y aluminio, para poder determinar por medio del grado de orientación de los granos, si el material ha sufrido algún tratamiento o si está en estado bruto de colado.
4. Elaboración de las probetas de acuerdo al diseño (ver Figura 5.4).

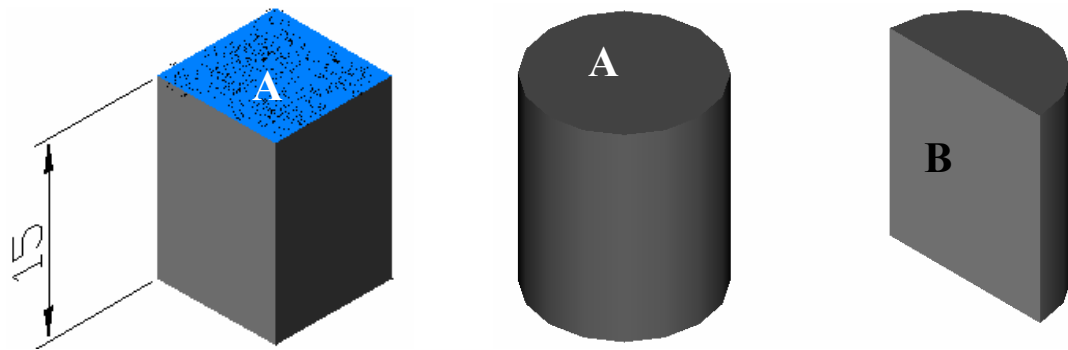


Figura 5.4. Corte de las probetas, A) Sección transversal; B) Sección longitudinal.

5. Proteger la rosca de la camisa roscada interiormente (bushing reductor) con cinta adhesiva (tirro), para evitar que la resina se adhiera al roscado y dañe la rosca del soporte, provocando una inadecuada sujeción.
6. Colocar en la parte inferior de la camisa roscada interiormente (bushing reductor) cinta adhesiva, para evitar que la resina se derrame
7. Colocar la camisa roscada interiormente (bushing reductor) por la parte inferior sobre una superficie plana (vidrio)
8. Depositar resina poliéster sobre la camisa roscada interiormente (bushing reductor) hasta un nivel adecuado (inicio de la rosca), para evitar que la muestra se cubra por completo y no se pueda obtener el contacto eléctrico (ver Figura 5.5).

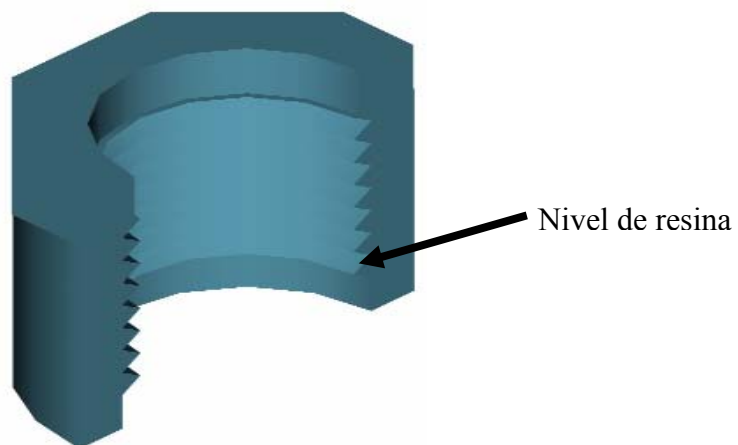


Figura 5.5. Corte longitudinal donde se muestra el nivel de la resina que debe depositarse.

- Colocar la muestra con cuidado dentro de la camisa roscada interiormente con resina, se debe tratar de que esta quede centrada, como se muestra en la siguiente figura.

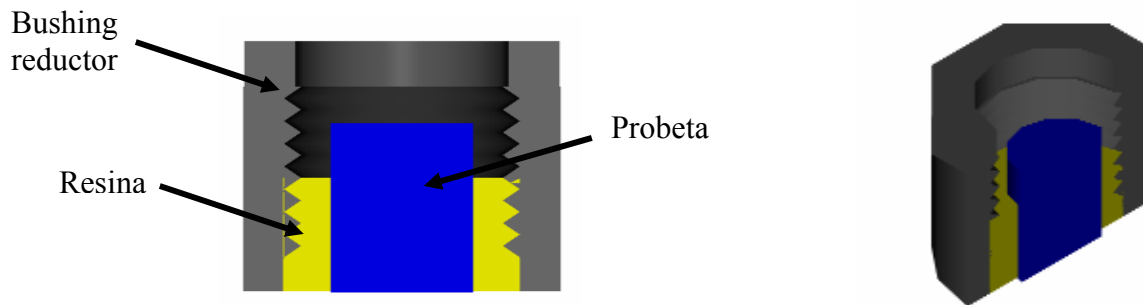


Figura 5.6. Corte longitudinal del montaje de las probetas

5.3 PREPARACIÓN DE LOS ELECTROLITOS

La preparación de los electrolitos depende en gran manera del metal que se desee pulir y atacar, para tener una mejor idea de los reactivos que se utilizarán se debe consultar la Norma ASTM 1558-93 y las Hojas Técnicas de Seguridad (MSDS) de los reactivos que se elijan. A continuación se describirá el procedimiento que se debe realizar para la preparación de los electrolitos:

- Establecer el tipo de metal al cual se le aplicara el proceso de pulido y ataque electrolítico, así como que fases se desean estudiar (revelar).
- Consultar la Norma ASTM 1558-93, para seleccionar el electrolito que se adecue a las condiciones de operación más convenientes.
- Consultar en el mercado nacional si se cuenta con los reactivos que conformaran el electrolito y solicitar cotización, para evitar inconvenientes de importaciones que pueden aumentar los costos y los tiempos.
- Verificar si es necesario alguna autorización de las autoridades correspondientes para la compra y uso de los reactivos; si existe restricción, realizar los trámites correspondientes.

5. Calcular las cantidades necesarias de los reactivos de acuerdo a la capacidad del tanque y la cantidad de material a estudiar.
6. Compra de los reactivos y solicitar siempre a los proveedores las Hojas Técnicas de Seguridad (MSDS) correspondientes, para el manejo adecuado de los reactivos.
7. Obtenidos los reactivos correspondientes, se debe proceder a la elaboración del electrolito, tomando en cuenta todas las recomendaciones hechas por la norma y las hojas de seguridad, en cuanto a la secuencia de mezclado y manejo.

5.4 PROCEDIMIENTO PARA EL PULIDO Y ATAQUE ELECTROLITICO

El principal objetivo de un examen metalográfico es el de revelar la naturaleza, cantidad, forma, orientación, tamaño y distribución de los constituyentes en los metales y sus aleaciones, utilizando para identificarlos un microscopio metalográfico. El éxito de este procedimiento dependerá del proceso que se establezca para la preparación de las probetas.

Un procedimiento general para efectuar el pulido y ataque electrolítico, se describe a continuación:

1. Seleccionar el metal o aleación, en este caso:
 - a. Acero inoxidable AISI 304
 - b. Aluminio AISI 6061
 - c. Cobre AISI 110
2. Corte de las probetas por métodos que no alteren la microestructura
3. Montaje de las probetas de acuerdo a la sección 5.2
4. Pulido manual con papel de carburo de silicio (SiC) con granulometría de: 100, 240, 300 400, hasta 600 (ver Figura 5.7).
5. Enjuagar y lavar con abundante agua las probetas, en cada paso del pulido para quitar los residuos del papel lija y así evitar contaminar la solución
6. Secar las probetas con la secadora, para evitar la corrosión.



Figura 5.7. Pulido preliminar con papel abrasivo.

7. Lavar con abundante agua y detergente el tanque (ver Figura 5.8)
8. Enjuagar el tanque con agua destilada
9. Verificar que la llave del desagüe este completamente cerrada, para evitar algún tipo de derrame.
10. Cargar el tanque con el electrolito adecuado al metal a estudiar, tomando en cuenta las respectivas normas de seguridad (equipo de protección personal), como se muestra en la Figura 5.9.



Figura 5.8. Enjuague del tanque antes de iniciar cada ensayo

11. Medir el pH de la solución con el pHmetro, para llevar un control sobre el envejecimiento de los electrolitos
12. Colocar las barras conductoras en los agujeros de las barras aisladoras a la distancia que se desee hacer el proceso
13. Montaje de las probetas en los soportes



Figura 5.9. Carga del electrolito en el tanque.

14. Verificar que exista continuidad entre la probeta y el gancho del soporte porta ánodos, utilizando un medidor de continuidad (tester)
15. Montaje de los cátodos a las distancias previamente fijadas en las barras conductoras, después de ser enjuagados con agua destilada
16. Una vez montadas las probetas en los soportes, se debe enjuagar con agua destilada el conjunto por medio del deposito rociador
17. Introducir los soportes porta probetas en el electrolito
18. Fijar las condiciones de trabajo (voltaje, tiempos, distancias, etc.); para pulido o ataque electrolítico
19. Hacer la conexión respectiva de la fuente hacia las barras conductoras
20. Poner en marcha la fuente y medir el tiempo de duración del proceso previamente establecido

21. Pulido o ataque electrolítico
22. Cumplido el ciclo de operación apagar la fuente y extraer los soportes porta probetas
23. Enjuagar los soportes porta probetas con agua destilada
24. Desmontaje de las probetas de los soportes
25. Enjuagar con etanol la superficie pulida o atacada de las probetas, como se observa en la siguiente figura.



Figura 5.10. Enjuague de las probetas con etanol

26. Secado de las probeta con la secadora para cabello con un nivel de aire frío
27. Colocar la probeta en el microscopio.
28. Observar la superficie pulida o atacada en el microscopio metalográfico (ver Figura 5.11).
29. Si el resultado no es el deseado se revisará el procedimiento, se analizarán las fallas, pulir con papel 600 y repetir el ensayo con el mismo electrolito, variando las condiciones de trabajo según sea necesario.
30. Toma de las fotomicrografías a las zonas de interés.
31. Una vez obtenidos los resultados deseados se debe vaciar del tanque el electrolito, para almacenarlo.



Figura 5.11. Observación de las probetas en el microscopio metalográfico.

32. Desmontar, lavar, enjuagar y secar los cátodos y las barras conductoras.
33. Lavar el tanque con detergente y abundante agua.
34. Enjuagar con agua destilada y secar el tanque, para su posterior almacenamiento.
35. Almacenar las probetas y todos los demás elementos que conforman la celda.

5.5 PRUEBAS Y RESULTADOS

Tomando en cuenta el procedimiento experimental que se estableció anteriormente y los metales a los que se les aplicará el proceso de pulido y ataque electrolítico; a continuación se describen los diferentes ensayos que se efectuaron en el laboratorio y los resultados que se obtuvieron.

5.5.1 MATERIALES

Con el fin de poder verificar que el electropulido es una de las técnicas utilizadas en la preparación de muestras metalográficas destinadas a la observación microscópica, se desarrollaron una serie de pruebas en diferentes metales, difíciles de pulir mecánicamente.

Los metales o aleaciones a los cuales se aplicó el proceso de pulido y ataque electrolítico son los siguientes:

1. COBRE AISI 110

Las propiedades del cobre más importantes son la alta conductividad eléctrica y térmica, buena resistencia a la corrosión, maquinabilidad, resistencia mecánica y facilidad de fabricación. Además, el cobre es no magnético, tiene un color atractivo, puede ser soldado.

ALGUNAS APLICACIONES:

- Fabricación de conductores eléctricos
- Tuberías
- Radiadores
- Empaques para automóvil
- Recipientes de presión en equipo para destilería

COMPOSICIÓN QUÍMICA:

Cobre : 99.9 %

2. ACERO INOXIDABLE AISI 304

Es un acero inoxidable austenítico, no magnético, no templable, con excelentes propiedades de ductibilidad y resistencia al impacto. Posee buena resistencia a la corrosión a temperaturas elevadas, y su bajo contenido de carbono lo hace muy apropiado para someterse a procesos de soldaduras.

ALGUNAS APLICACIONES:

- Evaporadores
- Barriles de cerveza

- Tanques de oxígeno líquido
- Muebles de cocina y laboratorio
- Partes para Válvulas.

COMPOSICIÓN QUÍMICA:

En la Tabla 5.1 se detalla la composición química del acero inoxidable AISI 304

Tabla 5.1. Composición química típica del acero inoxidable AISI 304

ELEMENTO	%
Carbono	0.08 máx.
Cromo	18.0-20.0
Níquel	8.0-10.5
Manganeso	2 máx.
Silicio	1 máx..
Fósforo	0.045 máx..
Azufre	0.03 máx..
Otros Elementos	-----

3. ALUMINIO AISI 6061

Dúctil, ligero, con gran resistencia mecánica, buena conductividad eléctrica y excelentes características de acabado, ideal para la elaboración de piezas maquinadas de alta calidad y para trabajos que requieran buen acabado superficial.

ALGUNAS APLICACIONES:

- Alambre para conductores eléctricos
- Perfiles para uso arquitectónico e industrial donde se requiere una resistencia mecánica superior a la de aleación 6063.

COMPOSICION QUIMICA:

Para tener una idea de los elementos que componen dicha aleación y en que porcentajes están presentes; en la Tabla 5.2 se presenta dicha composición química.

Tabla 5.2. Composición química típica del aluminio AISI 6061

ELEMENTO	%
Silicio (Si)	0.6
Cobre (Cu)	0.25
Manganeso (Mn)	0.6
Magnesio (Mg)	1.0
Cromo (Cr)	0.25
Aluminio (Al)	Resto

5.5.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PRUEBAS PARA EL PULIDO

En el proceso para la determinación del número de pruebas que se realizarían con cada material, se estableció mantener constantes ciertas variables como el área, la orientación, material, profundidad, etc.; tomando en cuenta esta consideración, se determinó que únicamente las variables que se pueden controlar directamente y que afectan los resultados de dicho proceso se variarían, como lo son:

- Tiempo
- Voltaje
- Distancia ánodo-cátodo

Debido a que los valores que pueden tomar estas variables están restringidos a rangos de operación y características constructivas de la celda, se establecen las siguientes condiciones de operación:

A. Variando la distancia:

- D_{\min} , D_{med} , $D_{\text{máx}}$ y estableciendo valores promedio constantes de las otras dos variables; estos ensayos dependen en gran manera de las características constructivas de las barras aisladoras donde se soportan las barras conductoras, ya que la distribución de los agujeros permite variar la distancia ánodo-cátodo, donde:

D_{\min} : Distancia mínima

D_{med} : Distancia media

$D_{\text{máx}}$: Distancia máxima

B. Variando el voltaje:

- V_{\min} , V_{med} , $V_{\text{máx}}$ y manteniendo valores promedio constantes de las otras dos variables, estas variaciones se establecen a partir del rango de operación del pulido que proporcionan las normas, para cada material y tipo de electrolito, donde:

V_{\min} : Voltaje mínimo

V_{med} : Voltaje medio

$V_{\text{máx}}$: Voltaje máximo

C. Variando el tiempo:

- t_{\min} , t_{med} , $t_{\text{máx}}$ y manteniendo valores promedio constantes de las otras dos variables, al igual que el voltaje, depende del material y el electrolito que se haya seleccionado, donde:

t_{\min} : Tiempo mínimo

t_{med} : Tiempo medio

$t_{\text{máx}}$: Tiempo máximo

El principal objetivo que se persigue al efectuar estas combinaciones, es determinar y establecer los mejores valores con los cuales se pueden obtener los resultados más satisfactorios en el pulido y ataque electrolítico.

5.5.3 ENSAYO DE PULIDO Y ATAQUE ELECTROLITICO DEL COBRE AISI 110

Después de establecer el número de pruebas por tipo de metal y una vez preparadas las probetas, se elaboró una tabla donde se enlistan todos los factores que intervienen en el proceso, para llevar el registro de las condiciones a las cuales se ejecuta cada ensayo (ver Tabla 5. 3).

5.5.3.1 PULIDO ELECTROLITICO

Retomando las condiciones de operación que se presentan en la Tabla 3.1 para el cobre; en la Tabla 5.3 se presentan los valores de las variables, que intervienen en dichas pruebas.

Tabla 5.3. Registro de los valores para pulido y ataque electrolítico; variando la distancia.

	Prueba N° (1)	Prueba N° (2)	Prueba N° (3)
Material del ánodo	Cobre	Cobre	Cobre
Área superficial a ser pulida	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²
Orientación de la probeta	Vertical	Vertical	Vertical
Orientación del cátodo	Vertical	Vertical	Vertical
Material del cátodo	Cobre	Cobre	Cobre
Relación del área cátodo-ánodo	-	-	-
Distancia ánodo-cátodo (mm)	10	50	90
Profundidad de la muestra en el baño (mm)	50	50	50
Temperatura del electrolito	26 °C	26 °C	26 °C
Grado de agitación	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Corriente	0.17 A	0.17 A	0.17 A
Voltaje	1.6 V	1.6 V	1.6 V
Tiempo de prueba	23 min	23 min	23 min
Pulido preliminar	Lija 600	Lija 600	Lija 600
Modo de remover la muestra	Manual	Manual	Manual
Procedimiento de enjuague	-	-	-

RESULTADO:

Ya que no se puede establecer por otros medios el mejor resultado, por simple observación del pulido de las probetas y con lupa; se evaluó de una forma apreciativa los resultados, determinando que los mejores resultados se obtuvieron a las D_{med} y $D_{máx}$, por lo tanto se establece un mejor rango de operación el cual es de 50-90 mm (ver Figura 5.12).

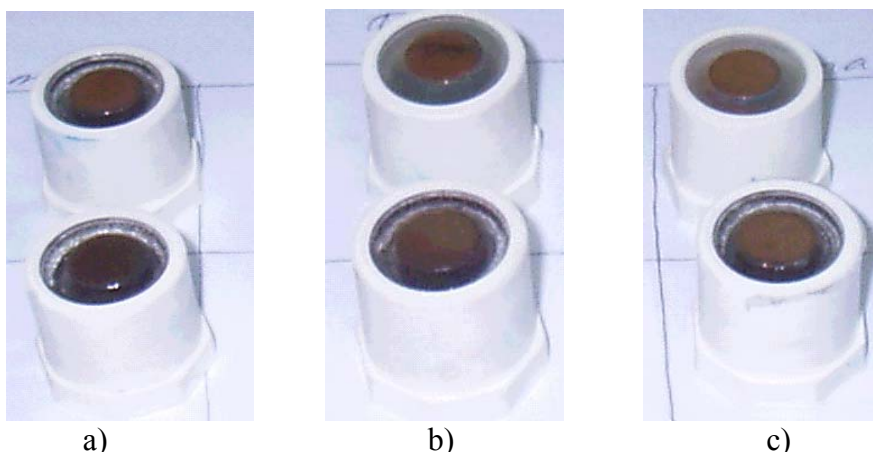


Figura 5.12. Resultado del pulido electroquímico del cobre AISI 110, variando las distancias; a) $D_{min} = 10 \text{ mm}$; b) $D_{med} = 50 \text{ mm}$; c) $D_{máx} = 90 \text{ mm}$; Voltaje de 1.6 V y un tiempo de 23 min.

Antes de continuar efectuando los ensayos y tomando en cuenta los resultados anteriores se establece que la distancia que se fijará; esté comprendida dentro del rango anterior, considerando la característica constructiva de la celda, esta distancia será de 70 mm, los valores que se le asignaron a las otras dos variables se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Variando los valores de los voltajes

	Prueba N° (1)	Prueba N° (2)	Prueba N° (3)
Material del ánodo	Cobre	Cobre	Cobre
Área superficial a ser pulida	2 cm^2	2 cm^2	2 cm^2
Orientación de la probeta	Vertical	Vertical	Vertical
Orientación del cátodo	Vertical	Vertical	Vertical
Material del cátodo	Cobre	Cobre	Cobre
Relación del área cátodo-ánodo	-	-	-
Distancia ánodo-cátodo (mm)	70	70	70
Profundidad de la muestra en el baño (mm)	50	50	50
Temperatura del electrolito	$26 \text{ }^\circ\text{C}$	$26 \text{ }^\circ\text{C}$	$26 \text{ }^\circ\text{C}$
Grado de agitación	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Corriente	0.12 A	0.12 A	0.13 A
Voltaje	1.2 V	1.6 V	2.0 V
Tiempo de prueba	23 min	23 min	23 min
Pulido preliminar	Lija 600	Lija 600	Lija 600
Modo de remover la muestra	Manual	Manual	Manual
Procedimiento de enjuague	-	-	-

RESULTADO:

Las observaciones que se hicieron al finalizar el ensayo son las siguientes:

- Los mejores resultados se obtuvieron con el voltaje promedio de 1.6 V.
- Con el voltaje mínimo el pulido no es satisfactorio, ya que las muestras presentan un mayor grado de opacidad
- Con el voltaje máximo se observa que las muestras sufrieron una especie de picado y las rayaduras del pulido preliminar todavía se observan. Estos resultados se pueden apreciar en la Figura 5.13.

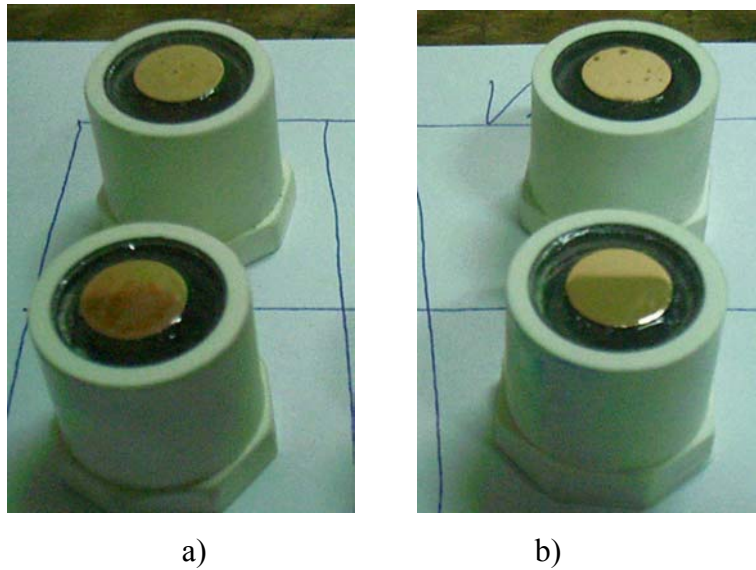


Figura 5.13. Resultados del pulido de las probetas de cobre, variando el voltaje; a) Voltaje mínimo (1.2 V); b) Voltaje medio (1.6 V).

El siguiente ensayo consistió en variar el tiempo de pulido, en la Tabla 5.5 se presentan las condiciones de operación.

Tabla 5.5. Variando el tiempo

	Prueba N° (1)	Prueba N° (2)	Prueba N° (3)
Material del ánodo	Cobre	Cobre	Cobre
Área superficial a ser pulida	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²
Orientación de la probeta	Vertical	Vertical	Vertical
Orientación del cátodo	Vertical	Vertical	Vertical
Material del cátodo	Cobre	Cobre	Cobre
Relación del área cátodo-ánodo	-	-	-
Distancia ánodo-cátodo (mm)	70	70	70
Profundidad de la muestra en el baño (mm)	50	50	50
Temperatura del electrolito	26 °C	26 °C	26 °C
Grado de agitación	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Corriente	0.10 A	0.11 A	0.11 A
Voltaje	1.6 V	1.6 V	1.6 V
Tiempo de prueba	15 min	22.5 min	30 min
Pulido preliminar	Lija 600	Lija 600	Lija 600
Modo de remover la muestra	Manual	Manual	Manual
Procedimiento de enjuague	-	-	-

RESULTADO:

Se observó que los mejores resultados se obtuvieron con el valor promedio del tiempo (22.5 min) como se puede observar en la Figura 5.14.

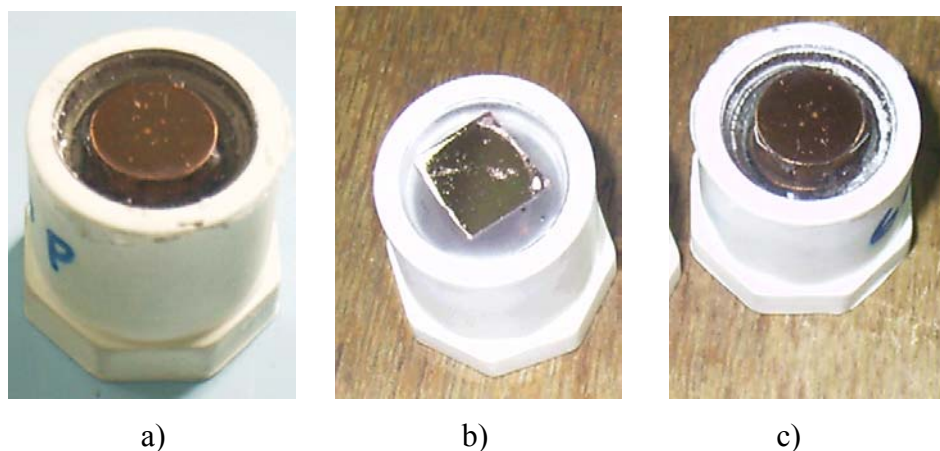


Figura 5.14. Probetas de cobre AISI 110 después de haber aplicado el pulido electrolítico variando el tiempo, a) $t_{\min} = 15$ min; b) $t_{\text{med}} = 22.5$ min; c) $t_{\max} = 30$ min.

5.5.3.2 ATAQUE ELECTROLITICO

Una vez se determinaron los mejores valores de las variables, se continuó realizando pruebas para verificar que el proceso se puede reproducir y obtener los mismos resultados; con el objetivo de pasar a la siguiente etapa de pruebas, la cual consiste en el ataque electrolítico de las muestras.

Para el ataque de las probetas de cobre se utilizó el mismo electrolito, que se uso para el pulido (ácido fosfórico-agua destilada).

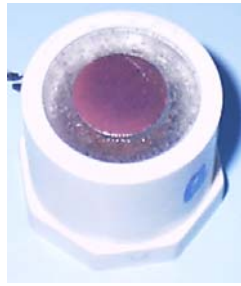
Siguiendo las recomendaciones para el ataque, se redujo el voltaje a la décima parte del voltaje de pulido, únicamente variando el tiempo de ataque para poder observar los resultados en el microscopio metalográfico y proceder a la toma de fotografías.

Los valores que se le asignaron a las variables se presentan en la Tabla 5.6

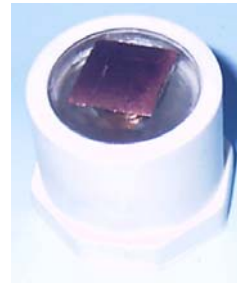
Tabla 5.6. Valores asignados a las variables para efectuar el ataque electrolítico.

	Prueba N° (1)	Prueba N° (2)	Prueba N° (3)
Material del ánodo	Cobre	Cobre	Cobre
Área superficial a ser pulida	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²
Orientación de la probeta	Vertical	Vertical	Vertical
Orientación del cátodo	Vertical	Vertical	Vertical
Material del cátodo	Cobre	Cobre	Cobre
Relación del área cátodo-ánodo	-	-	-
Distancia ánodo-cátodo (mm)	70	70	70
Profundidad de la muestra en el baño (mm)	50	50	50
Temperatura del electrolito	26 °C	26 °C	26 °C
Grado de agitación	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Corriente	0.03 A	0.03 A	0.03 A
Voltaje	0.16 V	0.2 V	0.2 V
Tiempo de prueba	45 s	1 min	1 min
Pulido preliminar	Electropulido	Electropulido	Electropulido
Modo de remover la muestra	Manual	Manual	Manual
Procedimiento de enjuague	-	-	-

Los resultados que se obtuvieron en este proceso se presentan en las Figuras 5.15a, 5.15b, 5.16a, 5.16b y 5.17:

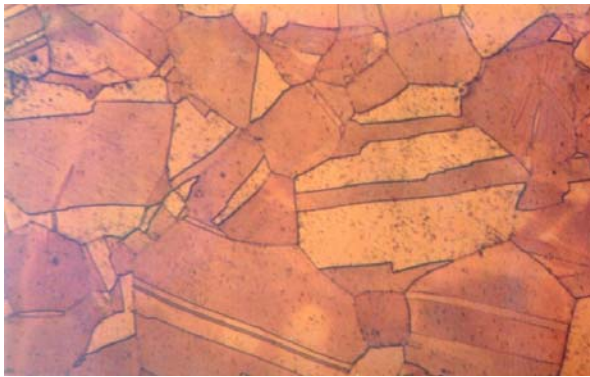


a)

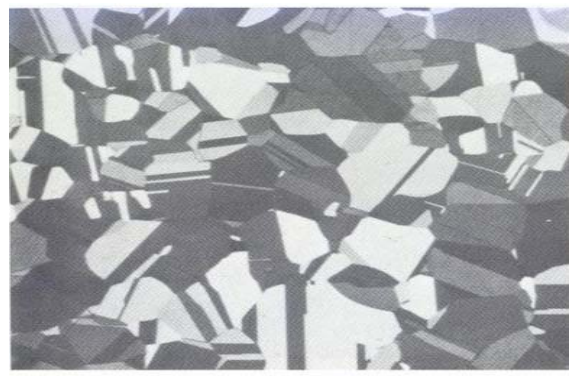


b)

Figura 5.15. Probetas de cobre AISI 110 atacadas electroquímicamente, a) Sección transversal; b) Sección longitudinal.



a)



b)

Figura 5.16. a) Fotomicrografía de cobre AISI 110, sección longitudinal atacada electroquímicamente, 500x; b) Figura retomada del Metals Handbook de una aleación de cobre, para poder hacer una comparación con los resultados que se obtuvieron en el laboratorio.

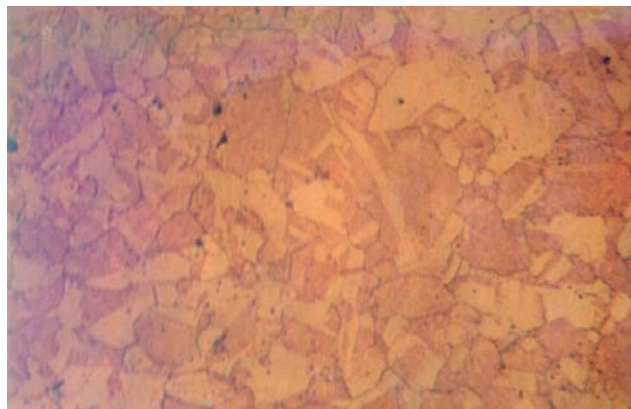


Figura 5.17. Estructura de cobre AISI 110, sección transversal varilla 12.7 mm de diámetro, atacada electroquímicamente, 500x.

5.5.4 ENSAYO DE PULIDO Y ATAQUE ELECTROLITICO DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304

Una vez finalizadas las pruebas de pulido y ataque electrolítico con el cobre AISI 110, se procedió a la preparación de las probetas de acero inoxidable AISI 304 y a la elaboración del electrolito respectivo, para poder ejecutar los ensayos.

5.5.4.1 PULIDO ELECTROLITICO

Debido a que el rango de tiempo para el pulido es demasiado pequeño, se optó por realizar todas las pruebas al tiempo máximo, considerándolo constante, por lo tanto únicamente se variaron el voltaje y la distancia ánodo-cátodo. Después de haber preparado las probetas y haber elaborado el electrolito correspondiente (agua destilada, etanol y ácido perclórico), se realizaron las diferentes pruebas al igual que las de cobre. En la Tabla 5.7 se presentan las condiciones de operación para el primer ensayo de pulido del acero inoxidable AISI 304, donde se establece que únicamente la distancia entre ánodo y cátodo se variara, tomando en cuenta las características constructivas de la celda electrolítica.

Tabla 5.7. Variando la distancia entre ánodo y cátodo

	Prueba N° (1)	Prueba N° (2)	Prueba N° (3)
Material del ánodo	Acero inox.304	Acero inox.304	Acero inox.304
Área superficial a ser pulida	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²
Orientación de la probeta	Vertical	Vertical	Vertical
Orientación del cátodo	Vertical	Vertical	Vertical
Material del cátodo	Acero inox.304	Acero inox.304	Acero inox.304
Relación del área cátodo-ánodo	-	-	-
Distancia ánodo-cátodo (mm)	10	50	90
Profundidad de la muestra en el baño	50 mm	50 mm	50 mm
Temperatura del electrolito	23 °C	23 °C	23 °C
Grado de agitación	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Corriente	0.82 A	0.82 A	0.82 A
Voltaje	14 V	14 V	14 V
Tiempo de prueba	60 s	60 s	60 s
Pulido preliminar	Lija 600	Lija 600	Lija 600
Modo de remover la muestra	Manual	Manual	Manual
Procedimiento de enjuague	-	-	-

RESULTADO:

Finalizado el ensayo, se pudo observar la influencia de la distancia en los resultados es bastante notable, ya que mientras más grande sea la separación entre ánodo-cátodo la calidad del pulido disminuye considerablemente, observándose unas manchas que se hacen mas grandes a medida se incrementa la distancia (ver Figura 5.18), por lo que se seleccionó la distancia media ($D_{med} = 50\text{mm}$).

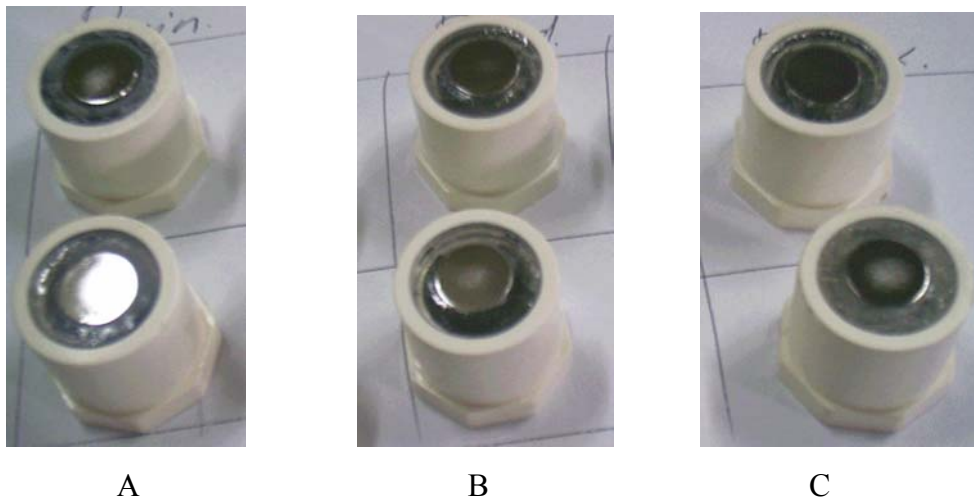


Figura 5.18. Resultado del pulido del acero inoxidable 304, variando la distancia A) $D_{min} = 10$ mm; B) $D_{med} = 50$ mm; C) $D_{máx} = 90$ mm; Voltaje = 14 V.

Para determinar las mejores condiciones de operación, se realizó un ensayo más, el cual consistió en variar el voltaje aplicado a la celda, considerando el rango recomendado. Las condiciones de operación para este ensayo se presentan en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Variando el voltaje aplicado a la celda

	Prueba N° (1)	Prueba N° (2)	Prueba N° (3)
Material del ánodo	Acero inox.304	Acero inox.304	Acero inox.304
Área superficial a ser pulida	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²
Orientación de la probeta	Vertical	Vertical	Vertical
Orientación del cátodo	Vertical	Vertical	Vertical
Material del cátodo	Acero inox.304	Acero inox.304	Acero inox.304
Relación del área cátodo-ánodo	-	-	-
Distancia ánodo-cátodo (mm)	50	50	50
Profundidad de la muestra en el baño	50 mm	50 mm	50 mm
Temperatura del electrolito	23 °C	23 °C	23 °C
Grado de agitación	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Corriente	0.42 A	0.82 A	1.31 A
Voltaje	8 V	14 V	20 V
Tiempo de prueba	60 s	60 s	60 s
Pulido preliminar	Lija 600	Lija 600	Lija 600
Modo de remover la muestra	Manual	Manual	Manual
Procedimiento de enjuague	-	-	-

RESULTADO:

Se observó que el mejor resultado se obtuvo al aplicar el voltaje máximo el cual es de 20 voltios a las probetas, como se aprecia en la Figura 5.19.

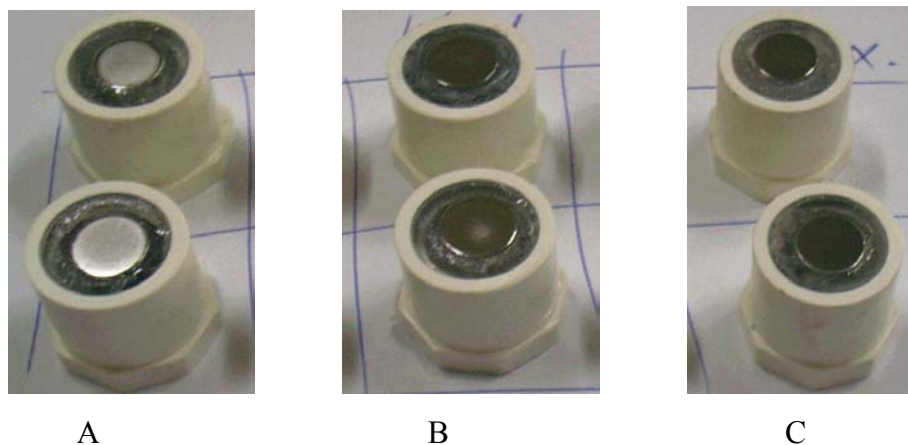


Figura 5.18. Resultados del acero inoxidable 304, variando el voltaje A) $V_{min} = 8 \text{ V}$; B) $V_{med} = 14 \text{ V}$; C) $V_{máx} = 20 \text{ V}$.

5.5.4.2 ATAQUE ELECTROLITICO

Una vez determinado las mejores condiciones de operación para el acero inoxidable AISI 304, también se le aplicaría el proceso de ataque para revelar la microestructura, primeramente se procedió a pulir todas las probetas que servirían como materia prima para determinar las condiciones de operación para el ataque electrolítico.

Utilizando el mismo electrolito (agua destilada-etanol-ácido perclórico) y estableciendo las condiciones de operación para el ataque, tenemos:

Voltaje = 2 V

Tiempo = pocos segundos (45 s)

Distancia = 50 mm

Después de realizada la prueba se observó que no se obtuvo el resultado esperado, entonces se comenzó a realizar una serie de pruebas variando las condiciones de operación antes mencionadas, pero los resultados que se obtenían no eran los adecuados.

Al finalizar estas pruebas y después de otros intentos se concluyó que el electrolito no era el adecuado para poder realizar el ataque electrolítico en el acero inoxidable 304.

Al observar esta dificultad y tomando en cuenta que se contaba ya con otro electrolito, se consultó la Norma ASTM 1558-93 y el Metal Handbook Vol. 9, donde se encontró que el electrolito que se uso con el cobre, también se puede utilizar para el pulido del acero inoxidable.

Se procedió a efectuar pruebas de pulido del acero inoxidable con este electrolito, con el objetivo de observar cuales eran los resultados que se obtenían y poder hacer una evaluación visual, los valores que se le asignaron a las variables se presentan en la Tabla 5.9

Tabla 5.9. Valores asignados a las variables, para el pulido electrolytico

	Prueba N° (1)	Prueba N° (2)
Material del ánodo	Acero inox.304	Acero inox.304
Área superficial a ser pulida	2 cm ²	2 cm ²
Orientación de la probeta	Vertical	Vertical
Orientación del cátodo	Vertical	Vertical
Material del cátodo	Acero inox.304	Acero inox.304
Relación del área cátodo-ánodo	-	-
Distancia ánodo-cátodo	50 mm	50 mm
Profundidad de la muestra en el baño	50 mm	50 mm
Temperatura del electrolito	26 °C	26 °C
Grado de agitación	Ninguno	Ninguno
Corriente	-	-
Voltaje	1.6 V	2 V
Tiempo de prueba	11 min	15 min
Pulido preliminar	Lija 600	Lija 600
Modo de remover la muestra	Manual	Manual
Procedimiento de enjuague	-	-

RESULTADOS:

A simple vista se observó que las marcas ocasionadas por el pulido preliminar no se habían eliminado totalmente, luego para tener una mejor referencia del pulido que se había logrado, se observaron con el microscopio las probetas; los resultados se muestran en la Figura 5.20.

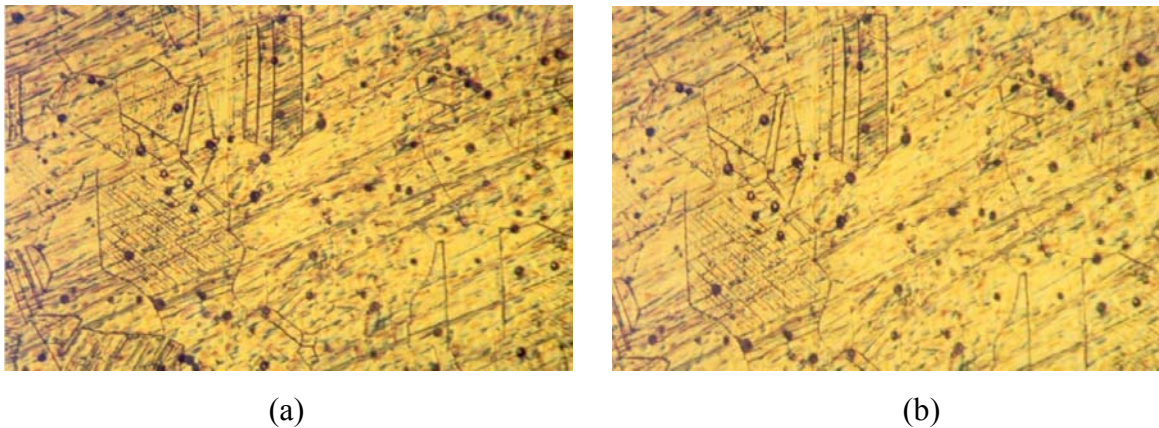


Figura 5.20. Muestras de acero inoxidable 304, (a) D = 50 mm, V = 1.6 V y t = 11 min; (b) D = 50 mm, V = 2 V y t = 15 min; 500x.

Observando las figuras anteriores, se concluyó que se había revelado la microestructura del metal, pero que existían deficiencias en el pulido, por lo tanto se decidió utilizar dicho electrolito para el ataque del acero inoxidable AISI 304.

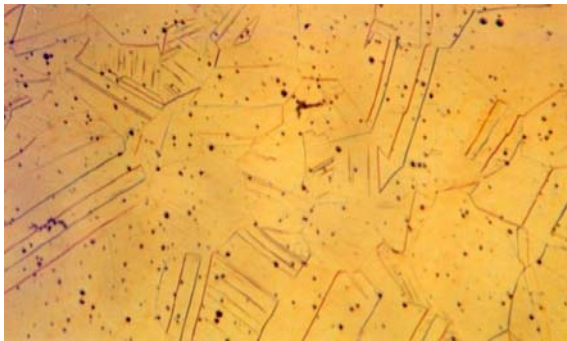
Por lo que se concluyó que para lograr observar la microestructura, se deberán pulir las probetas con el electrolito (agua destilada-etanol-ácido perclórico), una vez realizado este proceso, se debe cambiar el electrolito para ejecutar las pruebas de ataque electroquímico, bajo las condiciones que se presentan en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10. Condiciones de operación para el ataque electroquímico del acero inoxidable 304

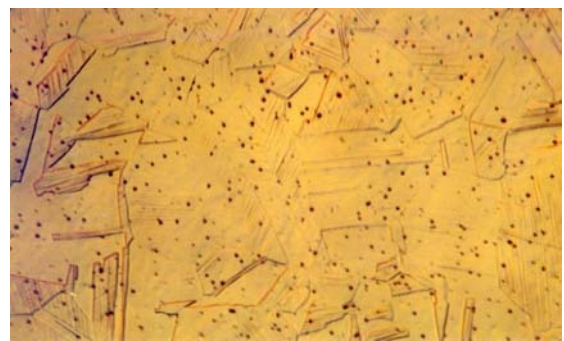
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Material del ánodo	Acero inox.304	Acero inox.304	Acero inox.304	Acero inox.304	Acero inox.304
Área superficial a ser pulida	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²
Orientación de la probeta	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Orientación del cátodo	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Material del cátodo	Acero inox.304	Acero inox.304	Acero inox.304	Acero inox.304	Acero inox.304
Relación del área cátodo-ánodo	-	-	-	-	-
Distancia ánodo-cátodo	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Profundidad de la muestra en el baño	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Temperatura del electrolito	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C
Grado de agitación	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Corriente	0.08 A	0.12 A	0.11 A	0.11 A	0.11 A
Voltaje	2V	2 V	2 V	2 V	2 V
Tiempo de prueba	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min
Pulido preliminar	Pulido	Pulido	Pulido	Pulido	Pulido
Modo de remover la muestra	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Procedimiento de enjuague	-	-	-	-	-

RESULTADOS:

La observación de los resultados se pueden apreciar en las Figuras 5.21, 5.22, 5.23 y 5.24, que representan las fotomicrografías del acero inoxidable AISI 304.

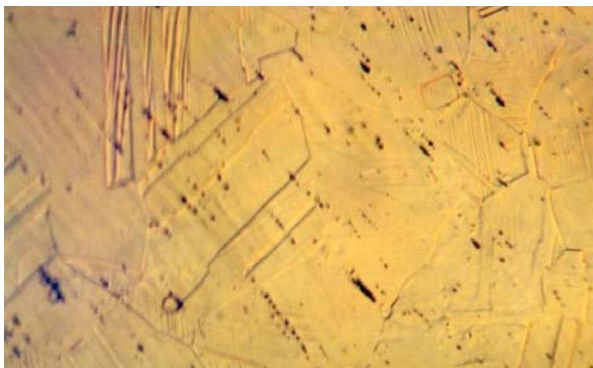


a)

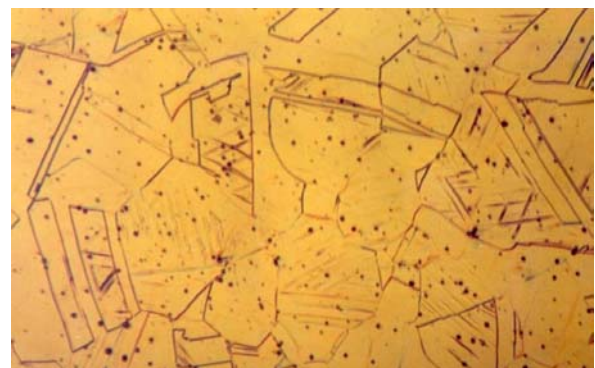


b)

Figura 5.21. Microestructura acero inoxidable 304, varilla de 12.7 mm de diámetro, a) Sección transversal atacada durante 2 min; b) Sección transversal atacada durante 3 min; 500x.

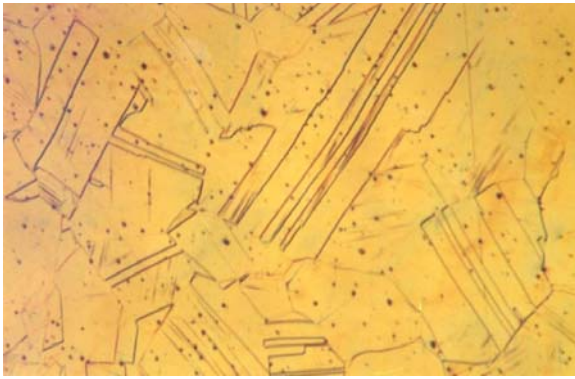


c)



d)

Figura 5.22. Microestructura acero inoxidable 304, varilla $\text{\O}12.7$ mm, c) Sección longitudinal atacada durante 3 min; d) Sección transversal atacada durante 4 min; 500x.

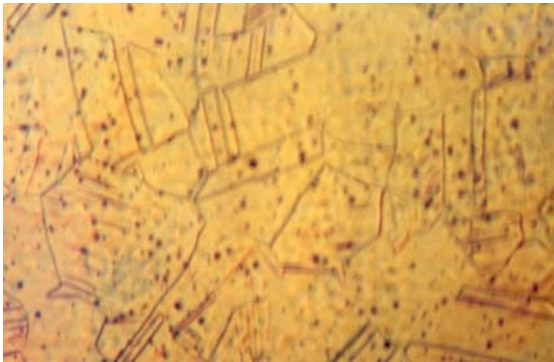


e)

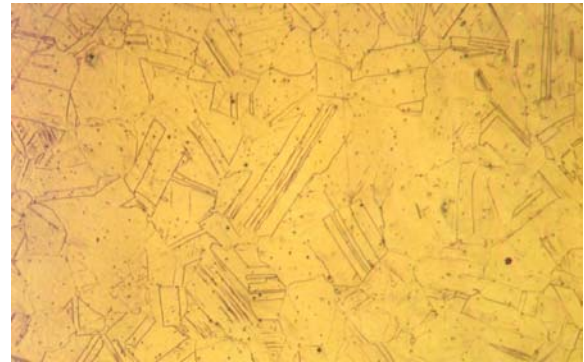


f)

Figura 5.23. Microestructura acero inoxidable 304, varilla Ø12.7 mm, e) Sección trasversal atacada durante 5 min; f) Sección longitudinal atacada 5 min; 500x.



g)



h)

Figura 5.24. Microestructura acero inoxidable 304, varilla Ø12.7 mm, g) Sección transversal atacada 6 min, 500x; h) Sección transversal atacada 5 min, 200x.

En base a los resultados que se observan en las figuras anteriores, se puede establecer que el mejor tiempo para el ataque electrolítico del acero inoxidable AISI 304 es el de 4 min.

En la Figura 5.25 se presenta la microestructura de un acero inoxidable 304, la cual fue retomada del Metals Handbook, que sirve de parámetro para comparar con los resultados que se obtuvieron en el laboratorio.

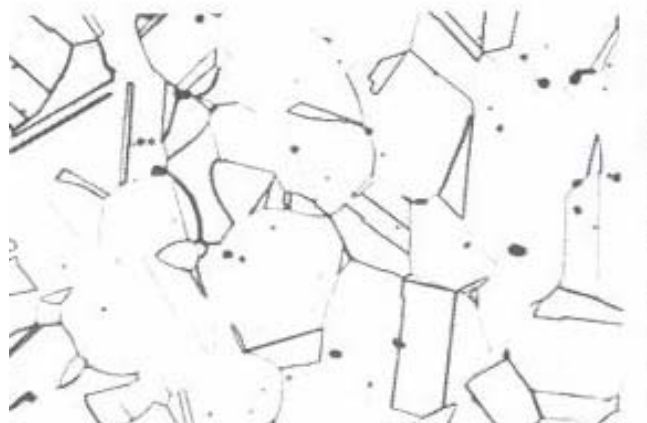


Figura 5.25. Microestructura del acero inoxidable 304, 250x.

(Fuente: ASM Handbook, Formerly Ninth Edition, Metals Handbook Volume 9, Metallography and Microstructure, Printed in the United State of America, 1995).

5.5.5 ENSAYO DE PULIDO Y ATAQUE ELECTROLITICO DEL ALUMINIO AISI 6061

Después de haber finalizado las pruebas con el cobre AISI 110 y el acero inoxidable AISI 304, se procedió a la ejecución de las pruebas con el aluminio AISI 6061.

5.5.5.1 PULIDO ELECTROLITICO

La selección del electrolito para el electropulido del aluminio es, de acuerdo a la Tabla 3.1 una solución compuesta por agua destilada, etanol y ácido fosfórico; se realizaron una serie de pruebas a fin de determinar las condiciones de operación óptimas.

Tabla 5.11. Condiciones de operación para pulido electrolítico

Prueba N°	Distancia ánodo-cátodo (mm)	Voltaje (V)	Tiempo (min)
1	50	30	6
2	50	32	12
3	50	32	15
4	50	30	15

Los resultados no fueron los que se esperaban, ya que las pruebas se efectuaron a temperatura ambiente, y en dicha tabla se recomienda que se efectúen a una temperatura mas elevada (30-40 °C). Observada esta dificultad, se efectuaron pruebas calentando la celda con ayuda de un Hot-plate, con el fin de llevar la temperatura del electrolito a la recomendada. Pero tampoco se obtuvieron resultados satisfactorios, ya que no se tiene un buen control de la temperatura utilizando este dispositivo.

Se consultó nuevamente la Norma ASTM 1558-93 y el Metal Handbook Vol. 9 para determinar otros tipos de electrolitos que pueden ser usados para el pulido del aluminio y aleaciones de aluminio, se encontró que también las soluciones que contienen ácido perclórico cumplen estas funciones; por lo que aprovechando que ya se contaba con un electrolito a base de ácido perclórico, el cual se utilizó para el pulido del acero inoxidable AISI 304, se realizaron pruebas a diferentes tiempos encontrándose que las pruebas requieren tiempos cortos para obtener un buen pulido. Se procedió a realizar las pruebas con los valores que se muestran en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Condiciones de operación para el pulido electrolítico

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Material del ánodo	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Área superficial a ser pulida	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²
Orientación de la probeta	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Orientación del cátodo	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Material del cátodo	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Relación del área cátodo-ánodo	-	-	-	-	-
Distancia ánodo-cátodo	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Profundidad de la muestra en el baño	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Temperatura del electrolito	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C
Grado de agitación	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Corriente	0.8 A	0.8 A	0.6 A	0.6 A	0.6 A
Voltaje	40 V	40 V	40 V	40 V	40 V
Tiempo de prueba	30 s	20 s	45 s	15 s	90 s
Pulido preliminar	Lija 600	Lija 600	Lija 600	Lija 600	Lija 600
Modo de remover la muestra	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Procedimiento de enjuague	-	-	-	-	-

RESULTADO:

Después de haber realizado las diferentes pruebas con el mismo voltaje, se determinó que los mejores resultados observados a simple vista ó con lupa eran los que se realizan con un tiempo de 30 segundos.

5.5.5.2 ATAQUE ELECTROLITICO

Una vez determinadas las condiciones de operación óptimas para el proceso de pulido, se procede con el ataque de las probetas para revelar la microestructura del material.

El proceso de ataque electrolítico se desarrolló con la solución a base de ácido perclórico, pero debido a que este tipo de solución se evapora con mucha rapidez, fue necesaria la preparación de 1 litro de solución extra para llegar al nivel de líquido apropiado.

Se realizaron pruebas disminuyendo el voltaje del pulido hasta una décima parte como lo establece la literatura. Los valores se muestran en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13. Condiciones de operación para el ataque del aluminio AISI 6061

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Material del ánodo	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Área superficial a ser pulida	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²	2 cm ²
Orientación de la probeta	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Orientación del cátodo	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Material del cátodo	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Relación del área cátodo-ánodo	-	-	-	-	-
Distancia ánodo-cátodo	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Profundidad de la muestra en el baño	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Temperatura del electrolito	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C
Grado de agitación	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Corriente	0.16 A	0.15 A	0.16 A	0.14 A	0.15 A
Voltaje	4 V	4 V	4 V	4 V	4 V
Tiempo de prueba	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min
Pulido preliminar	Pulido	Pulido	Pulido	Pulido	Pulido
Modo de remover la muestra	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Procedimiento de enjuague	-	-	-	-	-

RESULTADOS:

Los resultados del ataque electrolítico se observan en las Figuras 5.26, 5.27 y 5.28.

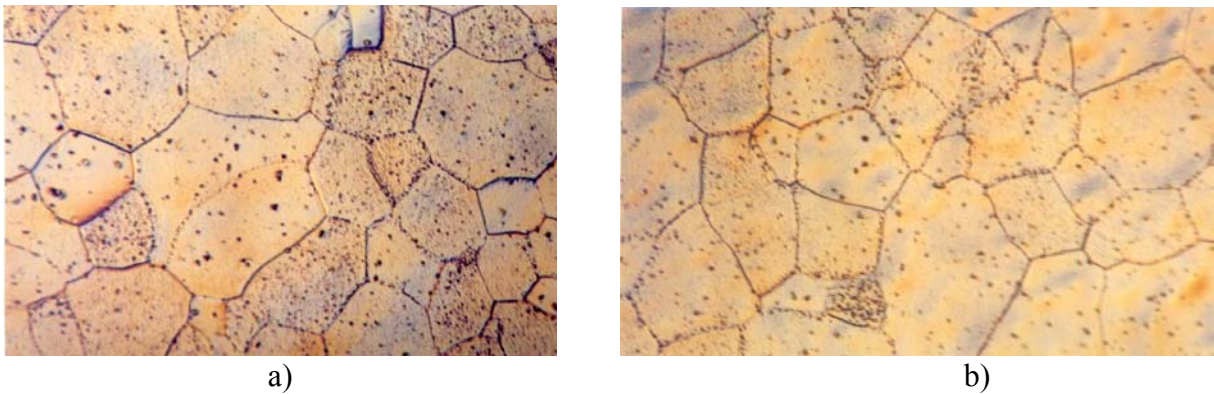


Figura 5.26. Microestructura del aluminio AISI 6061, varilla $\varnothing 12.7$ mm; a) Sección transversal atacada durante 3 min; b) Sección transversal atacada 4 min; 500x

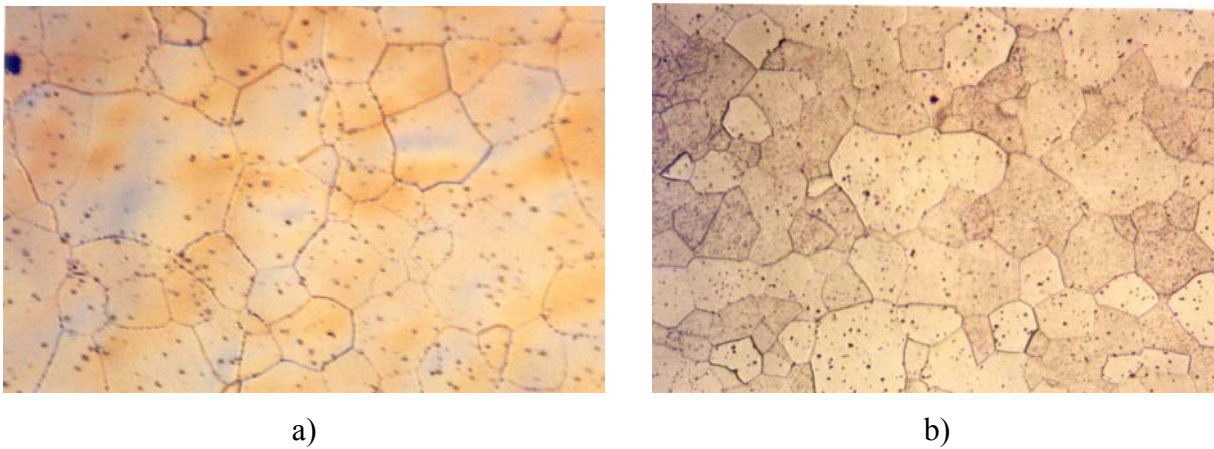
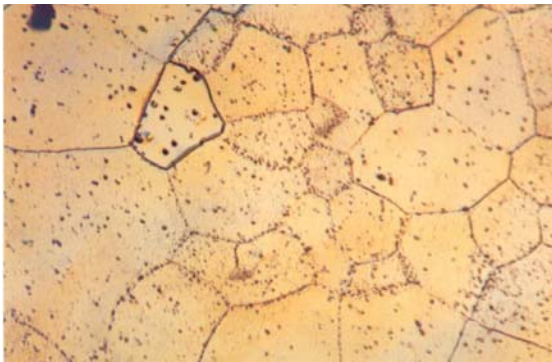
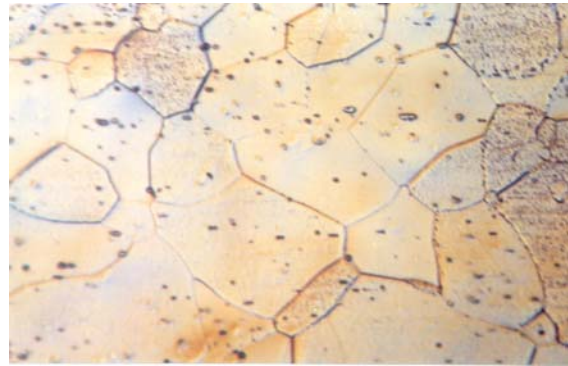


Figura 5.27. Microestructura del aluminio AISI 6061, varilla $\varnothing 12.7$ mm atacada a) Durante 5 min. 500x; b) Durante 6 min, 200x.



a)



b)

Figura 5.28 Microestructura del aluminio AISI 6061, varilla $\text{Ø}12.7$ mm atacada a) Sección transversal 7 min; b) Sección longitudinal 8 min; 500x.

Después de observar las figuras anteriores, se establece que los mejores resultados del ataque electrolítico del aluminio AISI 6061 se obtuvieron con el tiempo de 4 minutos.

CAPITULO VI

6 MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA CELDA ELECTROLITICA

En su forma más general, el mantenimiento se refiere a una cantidad determinada de actividad o trabajo que hay que realizar con el objeto de conservar el servicio para el que fue diseñado un aparato o estructura.

Con el cumplimiento de las recomendaciones para el mantenimiento de un equipo, se puede disminuir y hasta evitar la falla del mismo.

Comúnmente las fallas que se producen en un equipo o maquinaria son ocasionadas por:

- La maquinaria o el equipo mismo
- El ambiente circundante
- El personal que interviene en su operación

La maquinaria o equipo es fuente de fallas cuando presenta deficiencias propias, por ejemplo la calidad de material del que esta construido y/o un mal diseño.

Otra fuente de falla lo determina el ambiente que existe en el lugar donde el equipo presta sus servicios, por ejemplo la alta humedad, temperaturas fuera de las recomendadas, polvo, salinidad o acidez, humo y otras; minimizando todo lo anterior se puede predecir un largo tiempo de operación del sistema.

Las personas que intervienen en la construcción, montaje, operación y mantenimiento pueden convertirse en una causa de falla, cuando su forma de actuar no es la apropiada.

6.1 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

A continuación se presenta una tabla en donde se describe el periodo y la actividad a realizar para el mantenimiento preventivo del equipo

Tabla 6.1. Programa de mantenimiento preventivo de la celda

PERIODO	ACTIVIDAD
SEMANTAL	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener libre de polvo, humedad, u otro elemento extraño a la celda, especialmente los electrolitos y la fuente de energía. • Mantener libre de sustancias corrosivas los ánodos, cátodos, barras conductoras, y elementos que así lo requieran. • Limpieza de las barras conductoras.
MENSUAL	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que no exista evaporación de las soluciones electropulidoras. • Verificar que los elementos componentes de la celda se encuentren libre de óxidos y corrosión.
TRIMESTRAL	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar la válvula de drenaje, a fin de evitar fugas por la misma. • Verificar la buena sujeción de los ganchos en los cátodos • Verificar la carga de las baterías del pHmetro y cronómetro. • Cambio de la manguera de drenaje.
ANUAL	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar inspecciones de las sustancias electrolíticas (por medio del control o medición de pH). • Limpieza de la fuente de corriente (DC).

CAPITULO VII

7 COSTOS DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

La inversión inicial del trabajo de graduación inició con la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y los diferidos o intangibles necesarios para iniciar las operaciones del proyecto. Los costos están agrupados en áreas las cuales guardan relación entre sí como una parte del sistema o actividad para el mismo.

Realizar un análisis económico del proceso de pulido y ataque electrolytico es sumamente interesante, ya que habría una forma de implementar esta técnica por aquellas entidades interesadas en dicho proyecto; por lo cual, se presentan los costos relacionados al presente trabajo de graduación. En las Tablas 7.1- 7.5 se presenta el listado de cada elemento utilizado con su costo. Cabe mencionar que en el valor total no están incluidos los gastos de asesoría docente y tiempo requerido para la investigación y experimentación.

Tabla 7.1. Costos de los reactivos y otros utilizados en la elaboración de los electrolitos

Descripción	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Resina poliéster 500 mL	2	3	6
Ácido fosfórico 85 %,2.5 litros	4	50.37	201.48
Alcohol etílico absoluto, 4 litros	3	45.2	135.60
Ácido perclórico 70 %, 500 mL	1	113	113
Agua destilada, 50 litros	-	-	32.58
		Subtotal	488.66

Tabla 7.2. Costos de fabricación de las probetas

Descripción	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Probetas de cobre AISI 110	12	7	84
Probetas de aluminio AISI 6061	12	7	84
Probetas de acero inoxidable 304	12	7	84
		Subtotal	252

Tabla 7.3 Costos de los componentes que conforman la celda electrolítica.

Descripción	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Fuente de corriente DC	1	500	500
Medidor de pH	1	95	95
Buffer pH 7, 500 mL	1	13	13
Buffer pH 10, 500 mL	1	13	13
Buffer pH 4, 500 mL	1	13	13
Frasco de 2 onzas	3	1	3
Piceta de 250 mL	2	3.99	5.98
Beaker de 100 mL	2	2.90	5.80
Broca Ø 1/8" extralarga	1	3	3
Termómetro de mercurio -20 a 150 °C	1	12	12
Polo tierra de cobre	3		4.80
Bushing reductor	50	0.50	25
Atomizador	1	1.41	1.41
Scotch brite p/Teflón	1	1	1
Toma macho	1	1	1
Interruptor de paso	1	1	1
Terminal M.M. 3/8 NPT	1	5.29	5.29
Deposito plástico 20 litros	1	5	5
Secadora para cabello	1	20	20
Cronometro	1	10	10
Regleta (Toma múltiple)	1	5	5
Varios			11.50
Subtotal			754.78

Tabla 7.4. Costos de impresión del trabajo

Descripción	Costo Total (\$)
Impresión	250
Costos indirectos	100
Subtotal	350

Tabla 7.5. Listado de los elementos y materiales utilizados en el estudio de metalografía

Descripción	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Lija 100	4	0.65	2.60
Lija 240	4	0.65	2.60
Lija 300	4	0.65	2.60
Lija 400	4	0.65	2.60
Lija 600	4	0.65	2.60
Algodón bolsa	1	0.60	0.60
Baterías			7.62
Toallas de papel	2	0.83	1.66
Fotografías	-		60
Otros	-	10	10
		Subtotal	92.88

Tabla 7.6. Costos totales

Descripción	Subtotales (\$)
Costos de construcción de la celda	258.56
Costos de los componentes que conforman el sistema	754.78
Costos de los reactivos	488.66
Costos de fabricación de las probetas	252
Costo de los elementos y materiales para metalografía	92.88
Costos de impresión del trabajo	350
Costo de la estructura del banco de la celda	150
TOTAL	2,346.88

NOTA:

Estos costos no incluyen el uso de las instalaciones, microscopio metalográfico y cámara fotográfica.

CONCLUSIONES

- ✓ El desarrollo del electropulido como un método de estudio metalográfico en el acabado de superficies, posee ventajas técnicas como es la reducción en las operaciones manuales para pulir probetas, especialmente cuando se trata de aceros inoxidable, cobre y aluminio, los cuales son materiales difíciles de pulir mecánicamente.

- ✓ El tamaño del sistema de electropulido depende del área total y de la capacidad de la fuente con la cual se cuenta.

- ✓ Se estableció la importancia que juega cada uno de los elementos que forman parte de la celda electrolítica, en la obtención de un buen proceso de electropulido, con el fin de obtener probetas en las mejores condiciones para poder efectuar un mejor estudio metalográfico.

- ✓ Queda demostrado que la construcción de la celda electrolítica es factible técnica y económicamente desde el punto de vista de los costos y los materiales que se establecieron en el proceso de diseño.

- ✓ Aunque existen muchos factores que afectan los resultados del pulido y ataque electrolítico, solamente se consideran tres de ellas, las cuales pueden ser controladas directamente, como lo son la distancia entre ánodo-cátodo, el voltaje aplicado a la celda y tiempo de duración del proceso y dependen del tipo de electrolito.

- ✓ Se estableció el proceso constructivo de cada uno de los elementos que conforma la celda electrolítica, además se observó que los materiales de construcción que se utilizaron son compatibles con los diferentes electrolitos que se elaboraron y que soportaron las condiciones de operación a las cuales fueron sometidos.

- ✓ Se logró el pulido y ataque de los materiales que se decidieron someter a dicho proceso, y además se establecieron las condiciones óptimas de operación para cada uno de ellos.

- ✓ Con la construcción del sistema se proporciona otra herramienta más para ser utilizada en los laboratorios de metalografía y así poder efectuar trabajos de investigación en el área de los materiales metálicos.

OBSERVACIONES

- Las principales ventajas y desventajas que presenta el proceso de electropulido, con respecto a otros métodos existentes, permite hacer un valoración tecnológica a la hora de seleccionar cualquier método que se utilice en la preparación de muestras metalográficas.
- De acuerdo a la norma ASTM 1558-93 el tamaño que debe presentar la superficie a electropulir es de 1cm^2 como máximo para la preparación de muestras metalográficas.
- Para realizar el pulido de aluminio 6061 con la solución agua destilada-etanol-ácido fosfórico; en un primer intento a temperatura ambiente, no se obtuvieron los resultados deseados, por lo tanto, fue necesario que la solución electrolítica se calentara y se mantuviera a una temperatura de aproximadamente $40\text{-}45\text{ }^\circ\text{C}$, lo cual no fue posible ya que no se tiene un dispositivo para lograr controlar homogéneamente dichos valores.

RECOMENDACIONES

- Para que el electropulido se acepte como una herramienta adecuada en el proceso para analizar materiales debe cumplir con las normas de procedimiento respectivas.
- Realmente existe un gran número de materiales con los cuales pueden ser construidos los diferentes elementos de la celda electrolítica, en consecuencia se debe realizar la selección de aquellos que puedan ser obtenidos en el mercado local y que cumplan con los requerimientos mínimos necesarios para obtener un buen funcionamiento del sistema.
- Los materiales de los cuales serán construidos o seleccionados los diferentes elementos del sistema, deben cumplir con la característica principal de ser resistentes a la corrosión.
- Se debe tratar de hacer conciencia en los usuarios de materiales químicos peligrosos, la importancia que poseen todas las recomendaciones de higiene y seguridad industrial que existen para poder prevenir accidentes que muchas veces conllevan a consecuencias no deseados.
- Ya que se cuenta con otro método para la preparación de muestras metalográficas, se debe continuar realizando otras pruebas con materiales que aún no se han ensayado y que sean de interés para los estudiantes de ingeniería.

- Recomendamos realizar pruebas con materiales adquiridos con los distintos distribuidores nacionales, con esto se podrá determinar diferencias que puedan existir en cuanto a la calidad y hacer comparaciones.

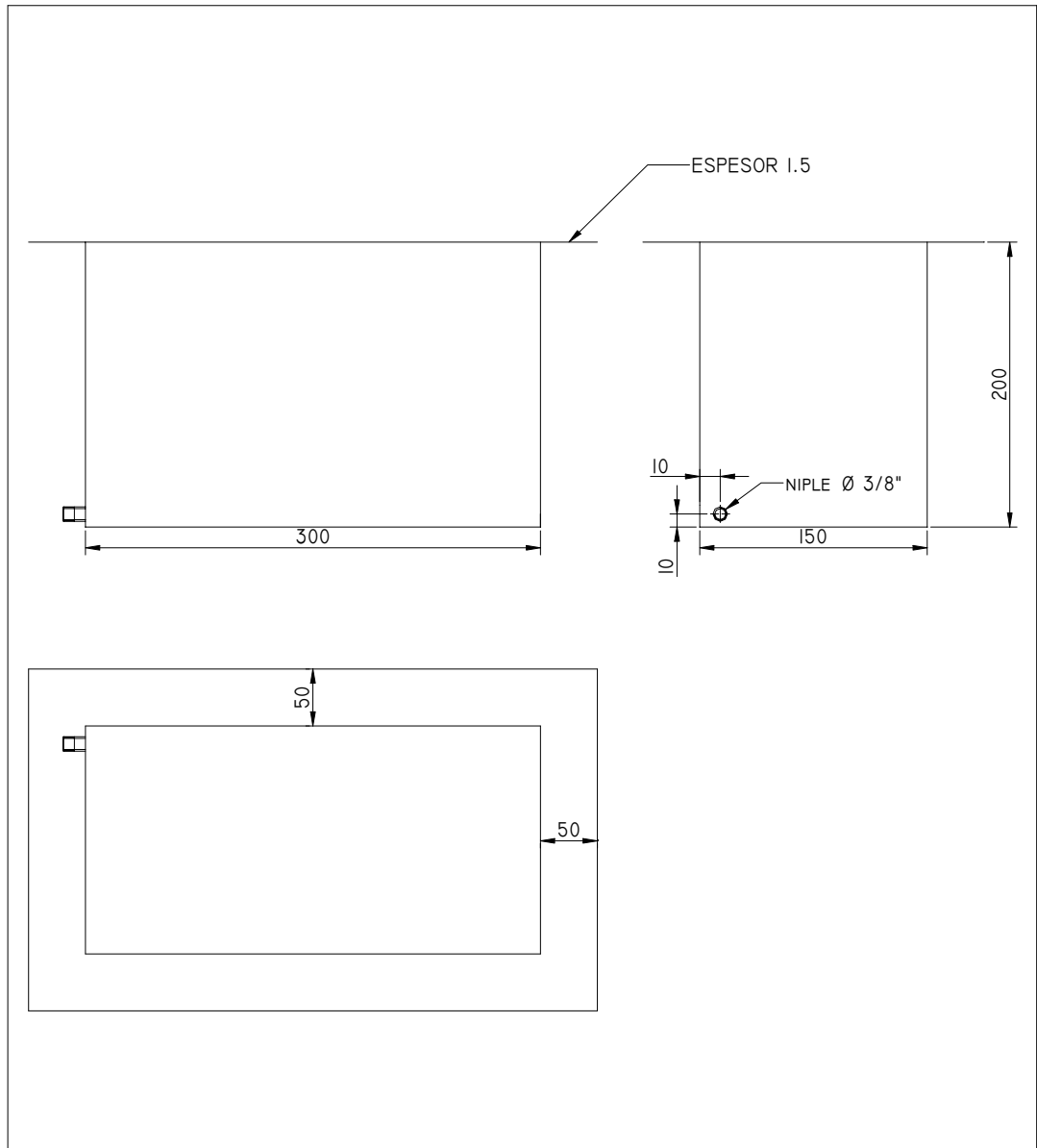
REFERENCIAS

1. Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.
2. ASM Handbook, Formerly Ninth Edition, Metals Handbook Volumen 9, Metallography and Microstructure, Printed in the United State of America, 1995.
3. W. J. McG. TEGART, M.Sc., The Electrolytic and Chemical Polishing of Metals in Research and Industry, Pergamon Press LTD, London, 1956.
4. Dr. Eduardo J. Dubox, Practicas de Metalografía, Primera Edición, Ediciones Marymar, Impreso en Argentina, 1974.
5. Günter Petzow, Metallographic Etching, American Society for Metals, Printed in the U.S.A., 1976.
6. Donald R. Askeland, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 3ª Edición, International Thomson Editores, Impreso en México, 1998
7. Norma ASTM E 1558-93, Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens.
8. Norma ASTM E 407-93, Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.
9. Norma ASTM E 3-95, Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens.
10. <http://www.inoxidable.com/electropulido.htm>, Electropulido, Última modificación: 27 de Octubre de 2003.
11. <http://www.inoxidable.com/limpieza.htm>, Limpieza de superficies, Última modificación: 03 de Noviembre de 2001, E-mail: dbosco@mail.com.
12. <http://www.valdinox.com>, Acero Inoxidable INOX AISI 304-L, E-mail: valdinox@valdinox.com.
13. <http://www.cepis.ops-oms.org/>, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente, Tratamiento del agua, residuos peligrosos, residuos sólidos, E-mail: webmaster@cepis.ops-oms.org.
14. <http://www.lbl.gov/msd/internal/training/MSD-training.html>, Hojas de seguridad de ácidos.

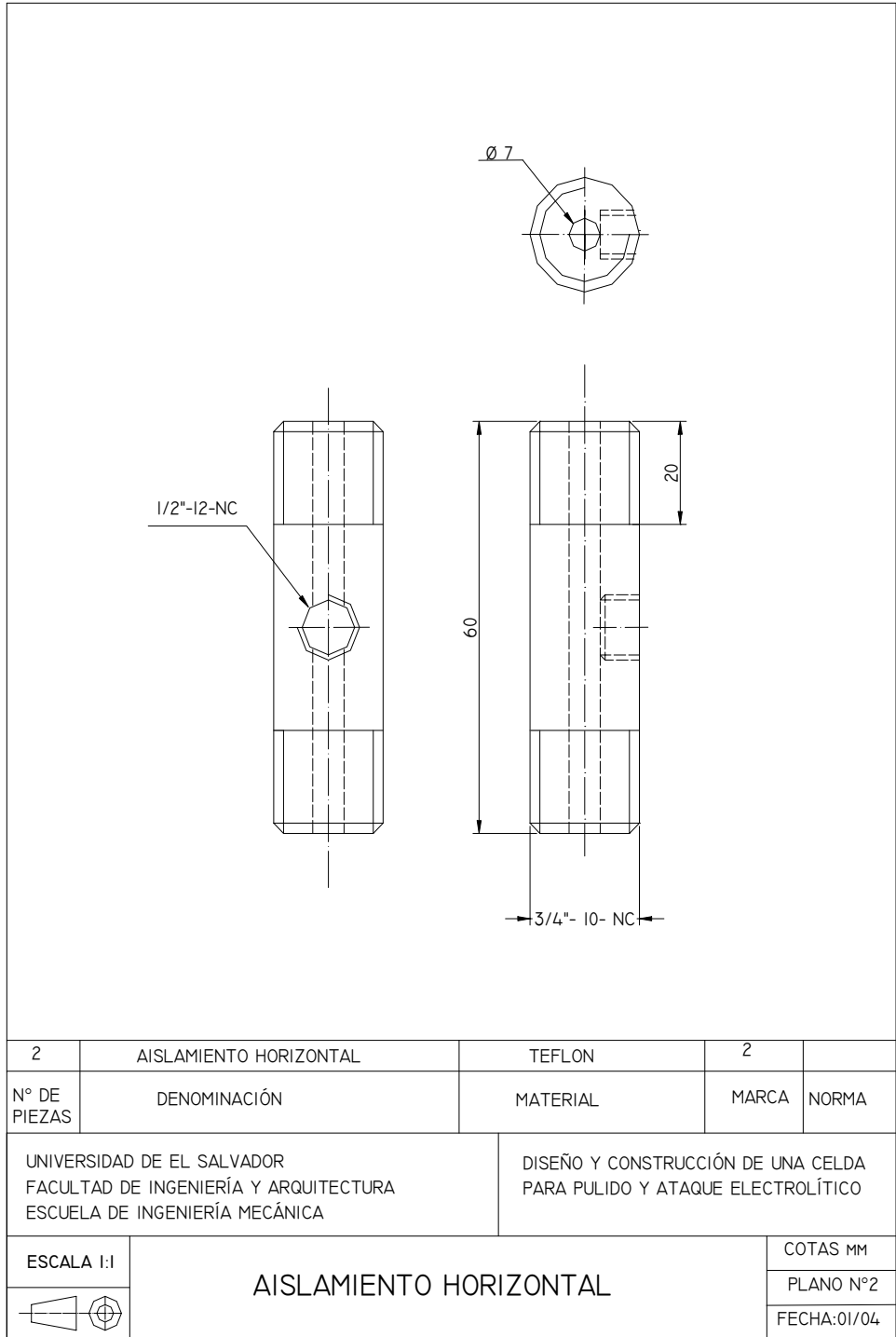
15. <http://www.electropolish.com/pubs/equipment.pdf>, Equipment for Electropolishing M C P, Chemicals · Equipment · Process Technology For Metal Finishing.
16. <http://www.electropolish.com/processteps6.htm>, Proceso y equipo químico, Tecnología para electropulido, Metal Coating Process Corporation, Email: info@electropolish.com.
17. <http://www.telecable.es/personales/ea1aha/quimicos/spanish.htm>, Fichas Internacionales de Seguridad Química, International Chemical Safety Cards, Proyecto del "International Programme on Chemical Safety", Última revisión: 04 junio, 1999, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
18. <http://www.poem.princeton.edu/MSDS/PHOSPHORIC%20ACID.pdf>.
19. http://www.intermon.org/html/cam_pat.html - 6k
20. <http://www.oepm.es/> - 2k –

ANEXOS

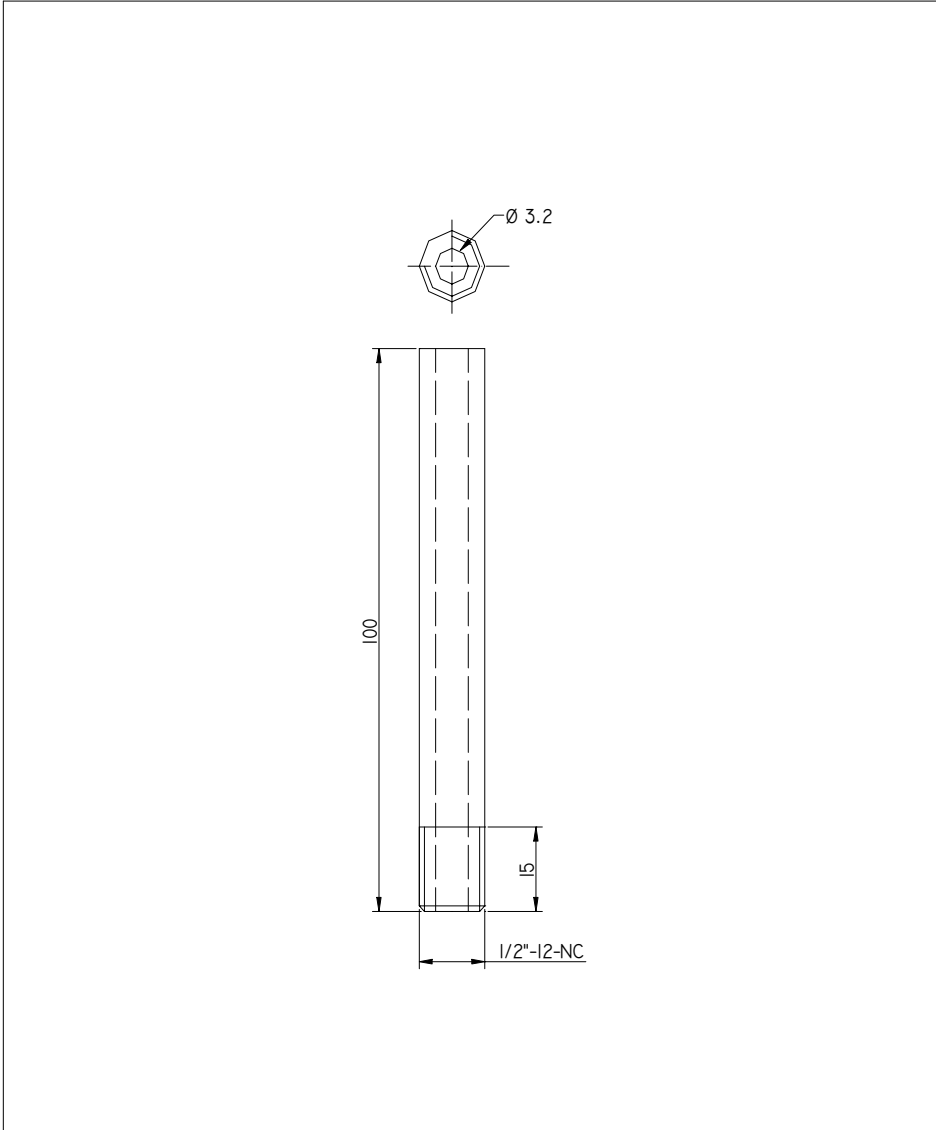
ANEXO 1



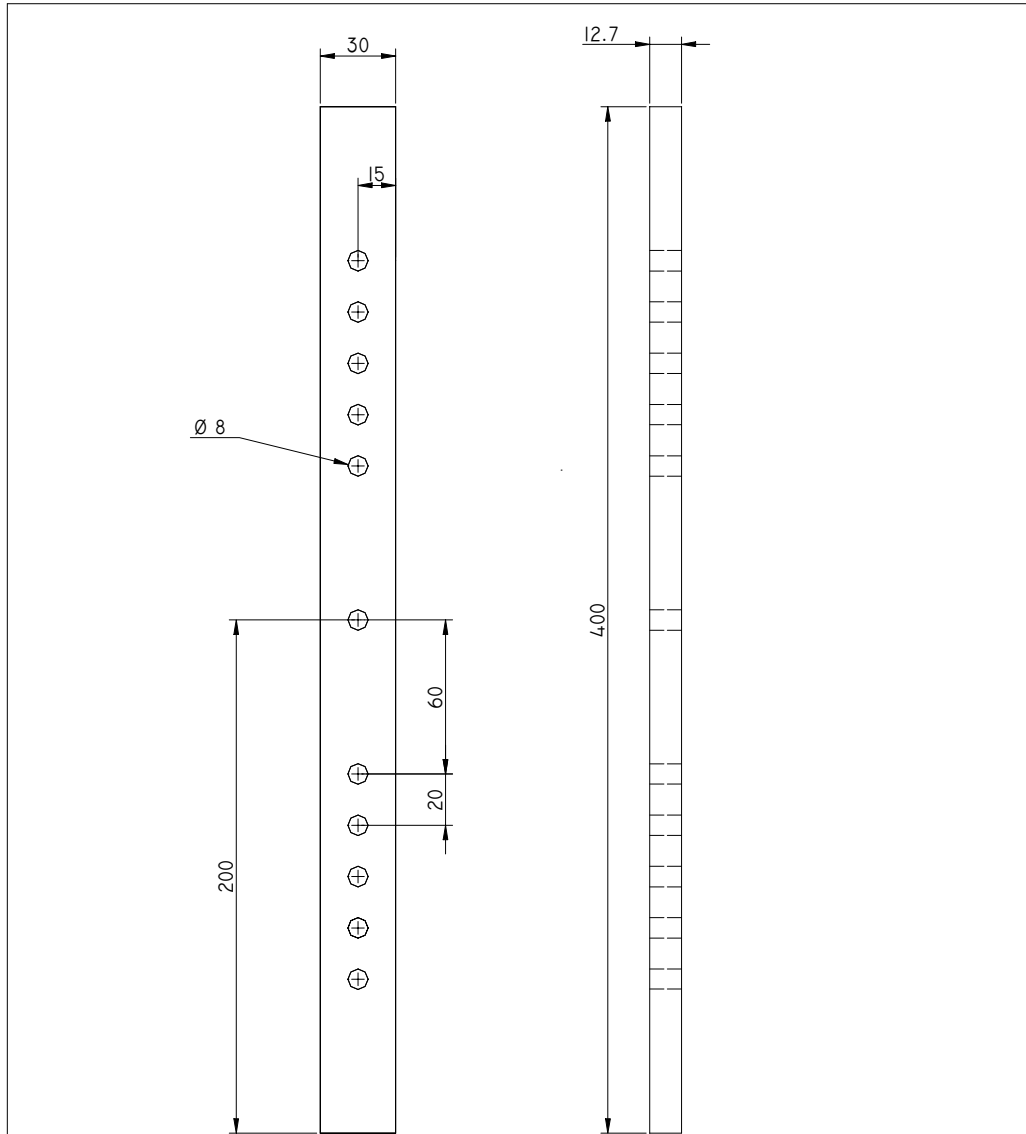
1	TANQUE	AISI 304	1	
Nº DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	MATERIAL	MARCA	NORMA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO		
ESCALA 1:1	TANQUE		COTAS MM	
			PLANO Nº1	
			FECHA:01/04	



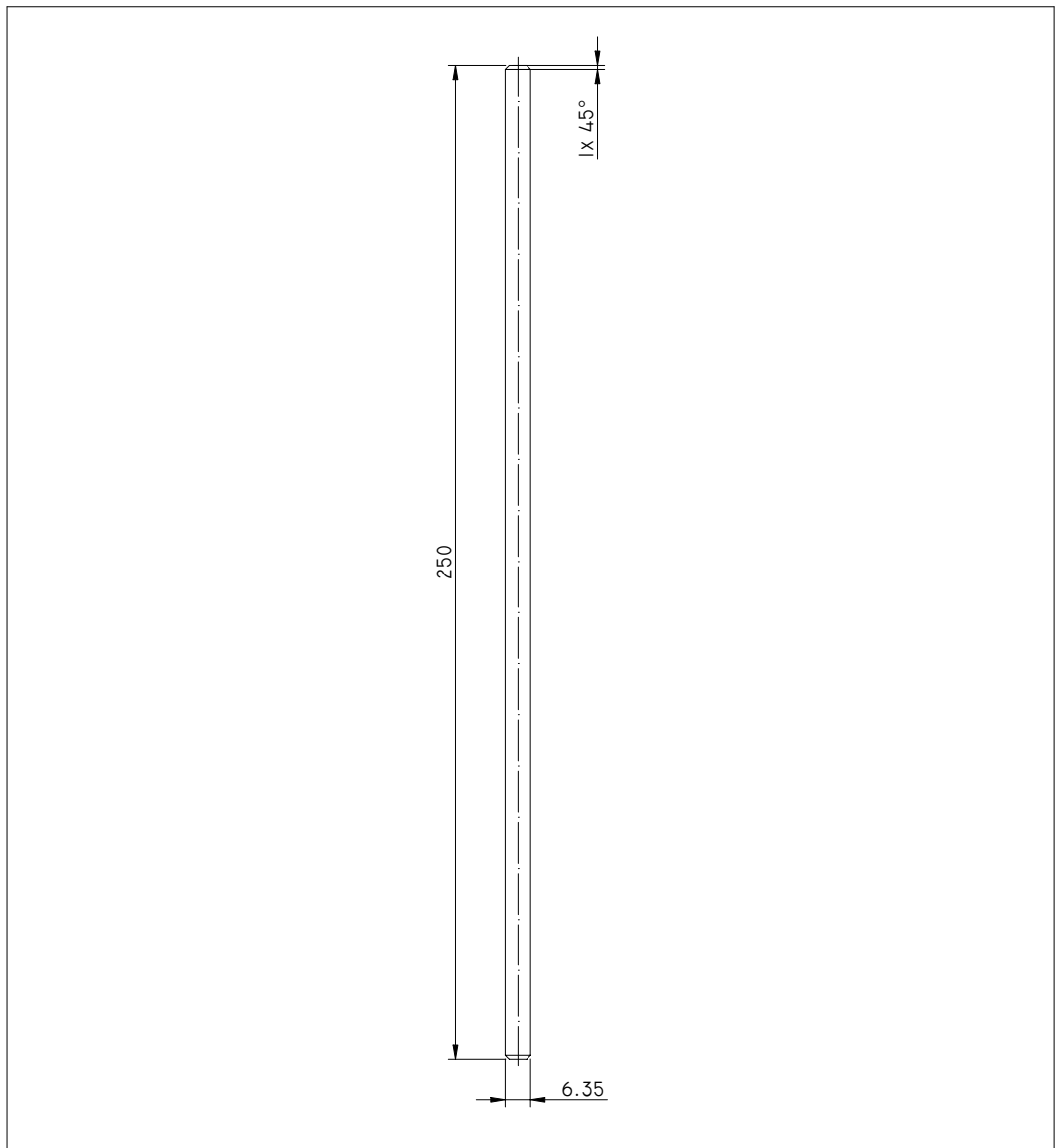
2	AISLAMIENTO HORIZONTAL	TEFLON	2	
N° DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	MATERIAL	MARCA	NORMA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO		
ESCALA 1:1	AISLAMIENTO HORIZONTAL		COTAS MM	
			PLANO N°2	
			FECHA:01/04	



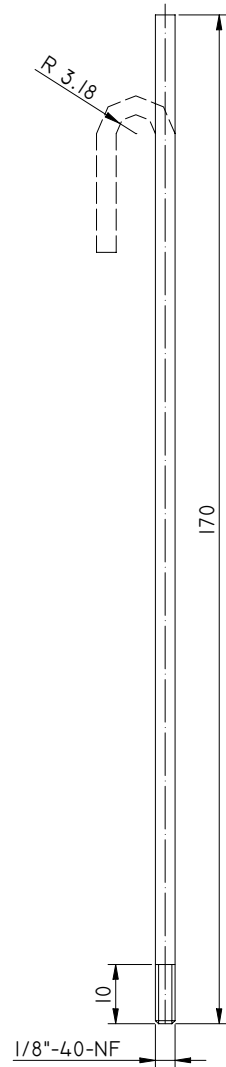
2	AISLAMIENTO VERTICAL	TEFLON	3	
N° DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	MATERIAL	MARCA	NORMA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO		
ESCALA 1:1	AISLAMIENTO VERTICAL		COTAS MM	
			PLANO N°3	
			FECHA: 01/04	



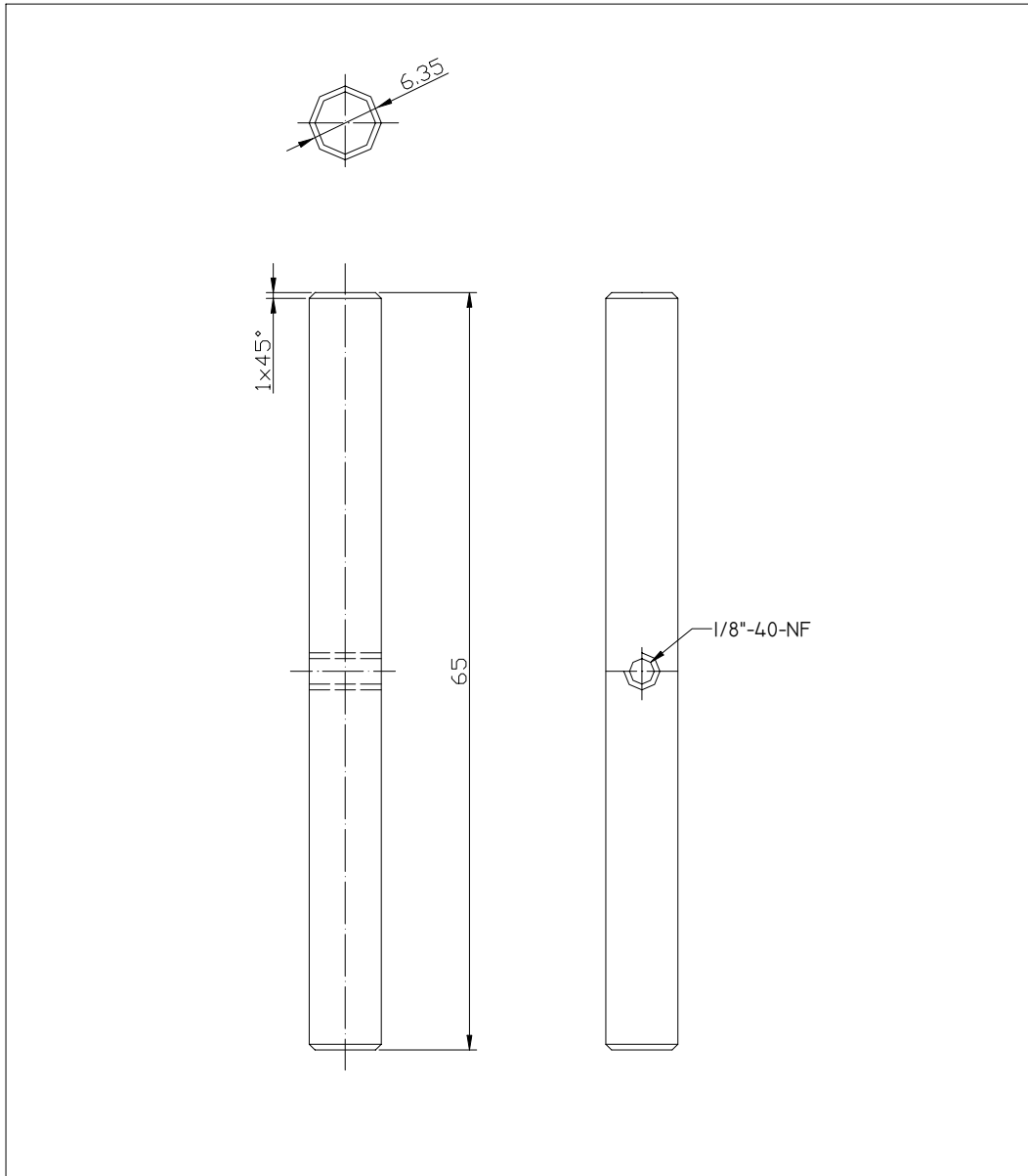
2	AISLAMIENTO DE LAS BARRAS CONDUCTORAS	NYLON	4	
N° DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	MATERIAL	MARCA	NORMA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO		
ESCALA 1:1	AISLAMIENTO DE LAS BARRAS CONDUCTORAS	COTAS MM		
		PLANO N°4		
		FECHA:01/04		



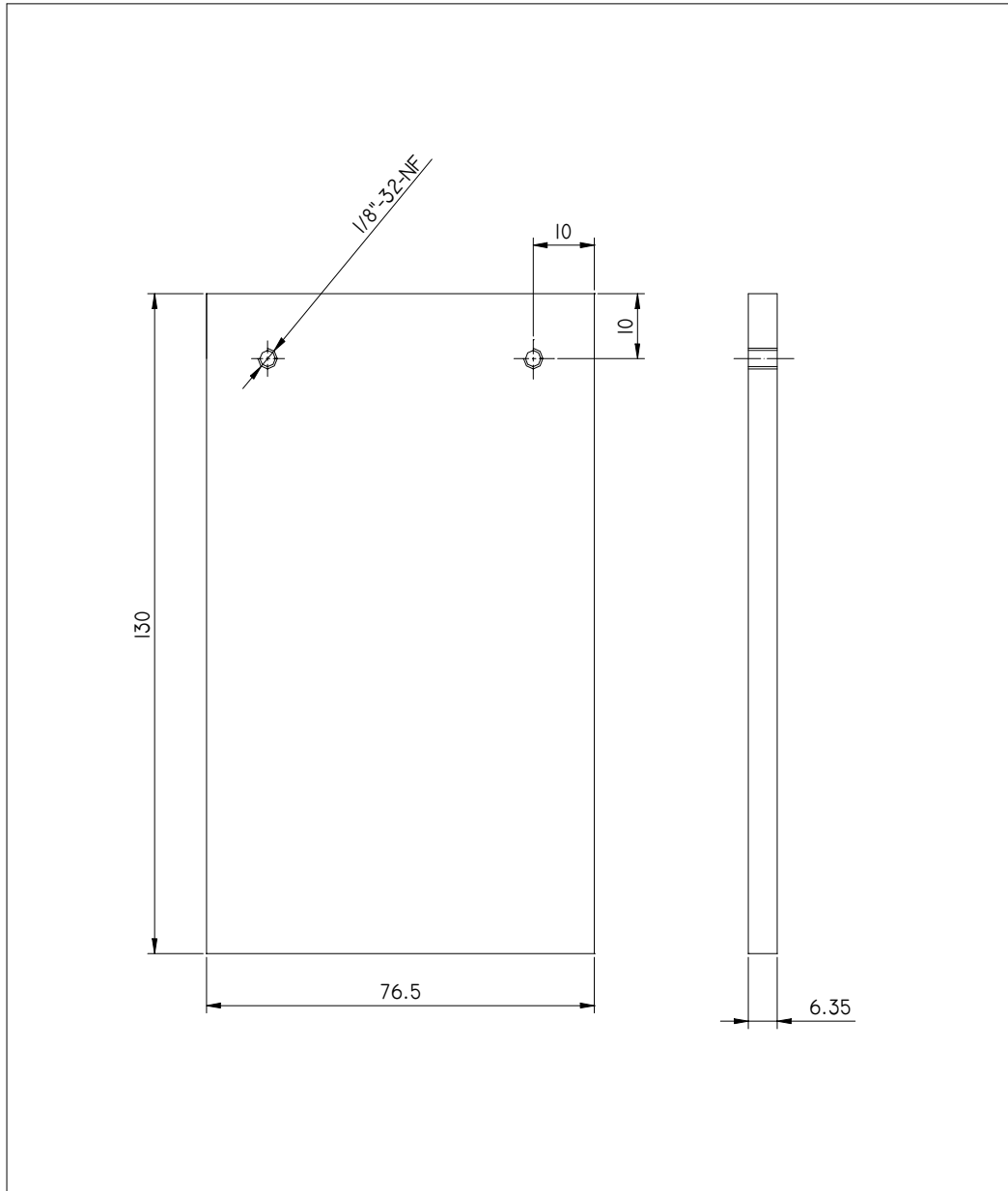
3	BARRA CONDUCTORA	COBRE AISI 110	5	
N° DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	MATERIAL	MARCA	NORMA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO		
ESCALA 1:1	BARRA CONDUCTORA		COTAS MM	
			PLANO N°5	
			FECHA:01/04	



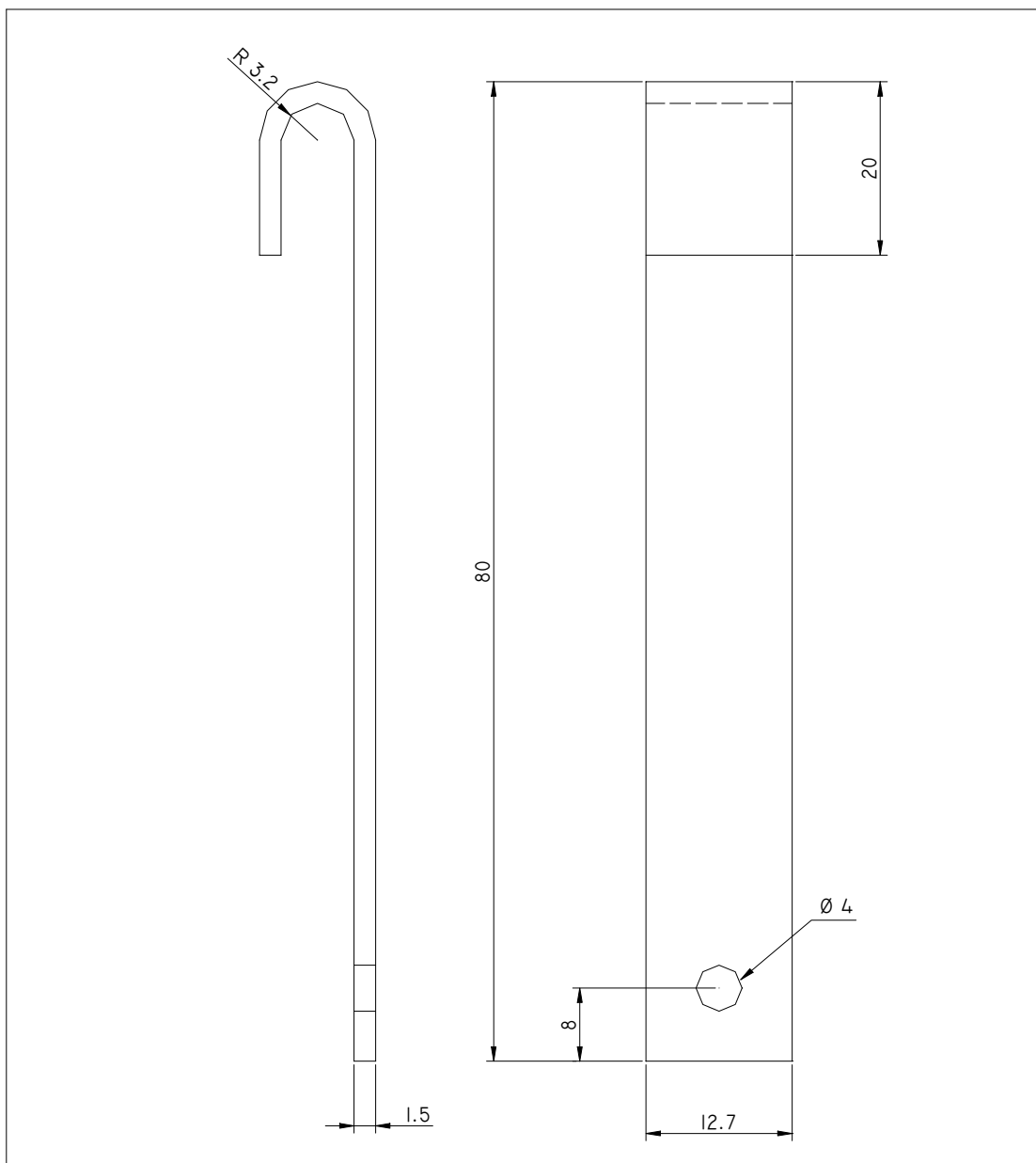
2	BARRA VERTICAL DEL SOPORTE	COBRE AISI 110	6	
N° DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	MATERIAL	MARCA	NORMA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO		
ESCALA 1:1	BARRA VERTICAL DEL SOPORTE		COTAS MM	
			PLANO N°6	
			FECHA:01/04	



2	BARRA HORIZONTAL DEL SOPORTE	COBRE AISI 110	7	
N° DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	MATERIAL	MARCA	NORMA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO		
ESCALA 2:1	BARRA HORIZONTAL DEL SOPORTE		COTAS MM	
			PLANO N°7	
			FECHA:01/04	



6	CATODO	AISI 304, AISI 110, AISI 6061	8	
N° DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	MATERIAL	MARCA	NORMA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO		
ESCALA 1:1	CATODO		COTAS MM	
			PLANO N°8	
			FECHA:01/04	



12	GANCHOS	COBRE AISI 110	9	
N° DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	MATERIAL	MARCA	NORMA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA PARA PULIDO Y ATAQUE ELECTROLÍTICO		
ESCALA 2:1	GANCHOS		COTAS MM	
			PLANO N°9	
			FECHA:01/04	

ANEXO 2

FICHA DE SEGURIDAD QUIMICA W & Z

ACIDO PERCLORICO 70%

SINONIMOS	:	Ácido Perclórico acuoso.
FORMULA QUIMICA	:	HClO ₄
CONCENTRACION	:	69.0 - 72.0%
PESO MOLECULAR	:	100.46
GRUPO QUIMICO	:	Ácido Inorgánico.
NUMERO CAS	:	7601-90-3
NUMERO UN	:	1873
CODIGO W & Z	:	AC-0125

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

ESTADO FISICO	:	Líquido.
APARIENCIA	:	Incoloro.
OLOR	:	Picante.
pH	:	< 1.0
TEMPERATURA DE EBULLICION	:	198 - 203 °C
TEMPERATURA DE FUSION	:	-18 °C
DENSIDAD A 20 °C	:	1.67 kg/L
PRESION DE VAPOR A 25 °C	:	6.8 mmHg.
DENSIDAD DE VAPOR	:	3.5
SOLUBILIDAD	:	Completamente soluble en Agua. Soluble en Ácido Clorhídrico, Acetona y Alcohol Etilico.

IDENTIFICACION DE RIESGOS

RIESGO PRINCIPAL	: Corrosivo, oxidante y tóxico				0 = Ninguno 1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Severo 4 = Extremo
CODIGO W & Z	: 3	0	3	4	
SALUD INFLAMABLE REACTIVO CONTACTO					
ROTULO DE TRANSPORTE: Clase 5 División 5.1					

RIESGOS PARA LA SALUD

<u>EFFECTOS DE SOBREEXPOSICION</u>	
INHALACION	: Irritaciones importantes. Quemaduras graves en la nariz, garganta y pulmones.
CONTACTO CON LA PIEL	: Quemaduras que pueden llegar a ser graves si no se lava inmediatamente.
CONTACTO CON LOS OJOS	: Quemaduras importantes que pueden derivar en ceguera.
INGESTION	: Graves quemaduras en las membranas mucosas de la boca, esófago y estómago, con el consecuente dolor, vómitos, colapso circulatorio y posible muerte.
<u>OTROS EFECTOS</u>	
CANCERIGENO	: No hay evidencia.
MUTAGENO	: No hay evidencia.
TERATOGENO	: No hay evidencia.

RIESGO DE INCENDIO

CONDICION DE INFLAMABILIDAD	: No combustible.
TEMPERATURA DE INFLAMACION	: No aplicable.
TEMPERATURA DE AUTOIGNICION	: No aplicable.
LIMITES DE INFLAMABILIDAD	: No aplicable.
PRODUCTOS DE COMBUSTION	: Dióxido de Cloro.
MEDIOS DE EXTINCION	: En general, uso de extintores de Polvo Químico Seco y Dióxido de Carbono.

RIESGO DE REACTIVIDAD

ESTABILIDAD QUIMICA	:	Estable sólo en condiciones normales.
INCOMPATIBILIDADES	:	<p>Con Materiales Combustibles puede entrar en ignición.</p> <p>Con Agentes Deshidratantes puede reaccionar explosivamente (Ácido Sulfúrico, Pentóxido de Fósforo, Ácido Acético, Eter y Glicol, entre otros).</p> <p>Con compuestos de Antimonio forma mezclas explosivas. Mezclas con Bismuto explotan violentamente al calentarlas.</p> <p>Metales.</p>
PELIGRO DE POLIMERIZACION	:	No ocurre.
PRODUCTOS PELIGROSOS DE DESCOMPOSICION	:	Ácido Perclórico Anhidro, el cual se descompone formando Dióxido de Cloro.

CONTROL DE EXPOSICION

MEDIDAS DE CONTROL	:	<p>Trabajar en un lugar con buena ventilación.</p> <p>Utilizar campanas de laboratorio diseñadas en exclusivo para Ácido Perclórico. Se recomienda velocidades de captura de 100 pie/min. (0.5 m/seg), como mínimo.</p> <p>Aplicar procedimientos de trabajo seguro.</p> <p>Respetar prohibiciones de no fumar, comer y beber.</p> <p>No usar la boca para pipetear.</p> <p>Mantener los envases con sus respectivas etiquetas.</p>
LIMITE PERMISIBLE PONDERADO	:	0.8 mg/m ³ .
LIMITE PERMISIBLE ABSOLUTO	:	4.0 mg/m ³ .

EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

ROPA DE TRABAJO	:	Indumentaria de trabajo resistente a Ácidos.
PROTECCION RESPIRATORIA	:	Uso de protección respiratoria sólo en caso de sobrepasarse los límites permisibles ponderado o absoluto. Debe ser específica para vapores de Ácidos Inorgánicos.
GUANTES DE PROTECCION	:	Utilización de guantes de Goma o Neoprene.
LENTES PROTECTORES	:	Uso de lentes contra salpicaduras y proyecciones, que sean resistentes a Ácidos.

MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

EN CASO DE:

INHALACION	:	Trasladar a la persona donde exista aire fresco. En caso de paro respiratorio emplear método de reanimación cardiopulmonar (RCP). Si respira dificultosamente se debe suministrar Oxígeno. Conseguir asistencia médica de inmediato.
CONTACTO CON LA PIEL	:	Lavar con abundante Agua en una ducha de emergencia, por al menos 20 minutos. Sacarse la ropa contaminada y luego lavarla o desecharla. Si persiste el daño, continuar lavando sin interrupción. Solicitar ayuda médica inmediatamente.
CONTACTO CON LOS OJOS	:	Lavarse con abundante Agua en un lavadero de ojos, como mínimo durante 30 minutos, separando los párpados. Recurrir a una asistencia médica de inmediato.
INGESTION	:	Lavar la boca con abundante Agua. Dar a beber abundante Agua o Leche. No inducir al vómito. Derivar a un centro de atención médica inmediatamente.

Nota: Si la lesión sufrida por una persona tiene relación laboral y está cubierta por la Ley N° 16744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales, podrá ser atendida, según proceda por la Asociación Chilena de Seguridad, Mutual de Seguridad C.CH.C., Instituto de Seguridad del Trabajo, Servicio de Salud que corresponda, o por el Servicio Médico asociado a una Administración Delegada.

ALMACENAMIENTO

AREA DE ALMACENAMIENTO	:	<p>Zona de almacenaje de reactivos con riesgo de reactividad y oxidación.</p> <p>Almacenar en bodegas y/o cabinas, de características incombustibles.</p> <p>Use contenedores de vidrio o cerámica y coloque los envases en un segundo recipiente o bandeja para contener el Ácido, para casos en que el envase se quiebre.</p> <p>Los estantes y pisos deben ser de material incombustible y resistentes a los Ácidos.</p> <p>El área de almacenamiento debe tener drenaje.</p> <p>Señalizar el riesgo.</p>
CODIGO DE ALMACENAJE W & Z	:	Amarillo
PRECAUCIONES ESPECIALES	:	<p>Tener alejado de condiciones y productos incompatibles.</p> <p>Mantener los envases cerrados e inspeccionarlos constantemente para verificar si tienen daño.</p> <p>Además, los envases deben estar debidamente etiquetados.</p>

MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS

PROCEDIMIENTO

Contener el derrame o fuga.
 Ventilar el área.
 Neutralizar con Ceniza de Soda o algún agente reductor como Bisulfito de Sodio o Sulfato Ferroso.
 Absorber en arena seca, tierra o un material similar.
 Utilizar elementos de protección personal.
 Lavar la zona contaminada.
 Solicitar ayuda especializada si es necesaria.

DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS

PROCEDIMIENTOS

Mezclar con precaución y en pequeñas dosis con Sodio Sulfito o Sodio Tiosulfato sólido, después de lo cual y agitando simultáneamente se añade un poco de Agua. En caso necesario, la reacción se acelera agregando con cuidado Ácido Sulfúrico diluido. La solución resultante se neutraliza, diluye con Agua y se elimina en las Agua residuales o por el desagüe.

ACIDO ORTOFOSFORICO

ICSC: 1008




ACIDO ORTOFOSFORICO
 Ácido fosfórico
 H_3PO_4
 Masa molecular: 98.0

N° CAS 7664-38-2
 N° RTECS TB6300000
 N° ICSC 1008
 N° NU 1805
 N° CE 015-011-00-6



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. En contacto con metales produce gas de hidrógeno el cual forma mezclas inflamables con el aire.	NO poner en contacto con metales, aldehídos, cianidas, mercaptanos y sulfuros.	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta, pérdida del conocimiento. (Síntomas no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y proporcionar asistencia médica. Respiración artificial si estuviera indicada.
• PIEL	Enrojecimiento, dolor, ampollas.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o

			ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Calambres abdominales, sensación de quemazón, confusión, dificultad respiratoria, dolor de garganta, pérdida del conocimiento, debilidad.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, guardar reposo y proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, neutralizar cuidadosamente el residuo, recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).	Separado de alimentos y piensos, metales, alcoholes, aldehídos, ésteres, fenoles, cetonas, sulfuros, cianuros, peróxidos orgánicos. Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado.	No transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 34 S: (1/2-)26-45 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: III CE: 

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 1008

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994


International Chemical Safety Cards

ACIDO ORTOFOSFORICO

ICSC: 1008

<p>D A T O S I M P O R T A N T E S</p>	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Cristales higroscópicos, incoloros.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia polimeriza violentamente bajo la influencia de compuestos azo, epóxicos y otros compuestos polimerizables. Por combustión, formación de humos tóxicos (óxidos de fósforo). La sustancia se descompone en contacto con metales, alcoholes, aldehídos, cianuros, cetonas, fenoles, ésteres, sulfuros, halogenados orgánicos, produciendo humos tóxicos. La sustancia es moderadamente ácida. Ataca a los metales formando gas inflamable de hidrógeno.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV(como TWA): 1 mg/m³ (ACGIH 1995-1996). TLV (como STEL): 3 mg/m³ (ACGIH 1995-1996). MAK no establecido.</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C no se alcanza, o se alcanza sólo muy lentamente, una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar (véanse Notas). La exposición puede producir la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</p>
---	---	---

<p>PROPIEDADES FISICAS</p>	<p>Punto de fusión: 42°C Densidad relativa (agua = 1): 1.88 Solubilidad en agua: Muy elevada</p>	<p>Presión de vapor, Pa a 20°C: 4 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4</p>
-----------------------------------	--	--

<p>DATOS AMBIENTALES</p>	<p>Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial al agua y al aire.</p>	
---------------------------------	--	---

NOTAS

Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadir MUY LENTAMENTE el ácido al agua mezclando continuamente.

Código NFPA: H 2; F 0; R 0;

International Chemical Safety Cards

ETANOL (anhidro)

ICSC: 0044




ETANOL (anhidro)
 Alcohol etílico
 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}/\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
 Masa molecular: 46.1

N° CAS 64-17-5
 RTECS KQ6300000
 ICSC 0044
 NU 1170
 CE 603-002-00-5



N°
N°
N°
N°

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes fuertes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION			
• INHALACION	Tos, somnolencia, dolor de cabeza, fatiga.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
• PIEL	Piel seca.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor, sensación de quemazón.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede

			hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Sensación de quemazón, confusión, vértigo, dolor de cabeza, pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca y proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes precintables, eliminar el residuo con agua abundante.	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.	símbolo F R: 11 S: (2-)7-16 Clasificación de Peligros NU: 3 CE: <div style="text-align: center;">  </div>	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0044	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994		

International Chemical Safety Cards

ETANOL (anhidro)

ICSC: 0044

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.	RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco, originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como, ácido nítrico o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar irritación de los ojos y del tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 1000 ppm; 1880 mg/m ³ (ACGIH 1995-1996). MAK: 1000 ppm; 1900 mg/m ³ (1996).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central, dando lugar a irritación, dolor de cabeza, fatiga y falta de concentración. La ingesta crónica de etanol puede causar cirrosis hepática.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 79°C Punto de fusión: -117°C Densidad relativa (agua = 1): 0.8 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 5.8 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.6	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.03 Punto de inflamación: 13°C (c.c.) Temperatura de autoignición: 363°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.3-19 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.32
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
El consumo de etanol durante el embarazo puede afectar al feto.		