

2 Eq. No. 65



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**Proyecto de un Laboratorio - Taller de  
Recubrimientos Electrolíticos**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A  
TERESA MARTINEZ MENDEZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

CAPITULO	PAGINA
1.- Introducción .....	1
Justificación del proyecto .....	2
2.- Los recubrimientos electrolíticos dentro del aparato productivo .....	3
3.- Generalidades .....	8
4.- Condiciones de Trabajo (Higiene y Seguri dad) .....	21
5.- Disposición del Laboratorio - Taller ...	28
6.- Area de producción, laboratorio de con- trol de calidad.....	32
7.- Equipo .....	49
8.- Análisis Económico .....	108
9.- Conclusiones .....	116

## CAPITULO I

- INTRODUCCION.

- JUSTIFICACION DEL PROYECTO.

## INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo, desarrollar un proyecto para un Laboratorio - Taller de recubrimientos - electrolíticos dentro de una institución de enseñanza educativa a nivel superior.

Este diseño debe reunir las características especiales - del ramo, en forma tal, que pueda servir para recubrir en forma conveniente una gran variedad de artículos. Además, - el diseño del Laboratorio - Taller deberá permitir aplicar un rango amplio de modelos de producción.

Lo que se pretende con este trabajo, es mostrar la necesidad de construir un Laboratorio-Taller dentro de un sistema educativo, que permita egresar alumnos que al integrarse al aparato productivo cuente con las habilidades y conocimientos mínimos requeridos, y con una actitud tal, que facilite su integración a la rama productiva.

Otra pretensión de este trabajo es el deseo de fomentar la posibilidad de que los profesores realicen investigaciones y así desarrollar nuevas técnicas, o innovaciones a técnicas ya existentes dentro de los recubrimientos electrolíticos.

Un alcance muy importante que se podría obtener, es la posibilidad de abrir una maestría en el área de la electroquímica, con lo cual el Laboratorio - Taller sería de utilidad valiosa.

## JUSTIFICACION DEL PROYECTO

La finalidad de la enseñanza en la Facultad de Química - está relacionada con la tecnología, abarca la investigación pura y aplicada, la generación y empleo de planteamientos - técnicos y prácticos dirigidos a la producción y el dominio de los medios materiales de trabajo.

La importancia de instalar un Laboratorio - Taller de re cubrimientos electrolíticos dentro de una institución de en señanza superior radica en tal finalidad y persiguiendo los siguientes objetivos:

- Ayudar a la formación profesional del alumno, mediante la aplicación de sus conocimientos teóricos a actividades técnicas, que le permitan adquirir experiencia y - capacidad de resolver problemas que se le presenten.
- Que el alumno tenga contacto directo con materias primas, máquinas, equipo, aparatos, instrumentos, etc.
- Proporcionarle al alumno un acercamiento al campo profesional que no dan en las aulas.
- Mostrar al alumno la necesidad de desarrollar modelos productivos, haciéndole notar que no solo es importante desarrollar modelos científicos.
- Proporcionar asesoría a industriales del ramo.
- Proporcionar servicio a la institución educativa.

CAPITULO 2

LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS DENTRO DEL  
APARATO PRODUCTIVO

## Los Recubrimientos Electrolíticos Dentro del Aparato Productivo

Las empresas localizadas dentro de la industria de recubrimientos electrolíticos en México, son alrededor de un 65% las que conforman este sector las cuales son consideradas como pequeñas y medianas industrias, a partir de la clasificación realizada por FOGAIN\*.

En estas empresas no se cuenta con información del exterior sobre avances tecnológicos, además de que su maquinaria y equipo de fabricación "casera" adolece de un alto grado de obsolescencia.

Entre los principales problemas que limitan la capacidad productiva de las empresas, se encuentran fallas en el abastecimiento de materia prima e ineficiencias de varios tipos en el proceso: escaso financiamiento, carencia de mano de obra calificada y limitaciones en la organización y ventas. El impacto de estas dificultades frenan el buen funcionamiento de este tipo de establecimientos.

En los insumos de fabricación nacional, se hace patente la falta de producción y baja calidad de los mismos.

Las fallas en el proceso productivo en la fábrica se reflejan en la baja productividad y en el control de calidad del producto terminado, así como, la falta de control de calidad está derivada por la falta de planeación de los sistemas productivos, de mantenimiento y reemplazo de equi

po. El aspecto económico es afectado seriamente por las fluctuaciones que se presentan en la oferta y la demanda - ya que el mercado es el principal factor que regula el crecimiento de este tipo de empresas.

Estas variaciones redundan en la baja capacidad de contratación de personal capacitado, utilizando un porcentaje elevado de recursos humanos con preparación deficiente. Estos factores afectan la canalización de los recursos de la empresa, lo cual perjudica seriamente los intereses de la misma.

Como puede observarse en este tipo de empresas, existen disipaciones altas de recursos, por lo cual es necesario tener recursos humanos calificados y contar con este Laboratorio-Taller en donde se podrá dar orientación y asesoría técnica a las empresas que lo soliciten.

TABLA 1:

INDICADORES DESGLOSADOS DEL ESTUDIO "PRINCIPALES CARACTERISTICAS Y PROBLEMAS DE LA INDUSTRIA PEQUEÑA Y MEDIANA EN MEXICO"

INDICADOR	TIPO DE INDUSTRIA	
	PEQUEÑA	MEDIANA
<b>ORIGEN DEL FINANCIAMIENTO</b>		
Recursos propios	48	52
Bancario	37	32
Proveedores	11	15
Otros	4	1
<b>PROBLEMAS PARA OBTENER FINANCIAMIENTO</b>		
Ninguno	57	64
Falta de garantías	19	9
Capacidad limitada de pago	10	4
Formulación de solicitudes	7	14
Pasivos elevados	3	4
Otros	4	5

continúa TABLA 1

INDICADOR	TIPO DE INDUSTRIA	
	PEQUEÑA	MEDIANA
NUMERO DE TRABAJADORES PROMEDIO POR EMPRESA		
Inversión promedio por empresa ( $10^3$ \$)	3,216	25,250
Inversión promedio por trabajadores	132	318
Origen de la maquinaria utilizada (%)		
Fabricación Nacional	62	34
Importada	38	66
EXPECTATIVA DE CRECIMIENTO ANUAL EN VENTAS		
Para los próximos años	48	52

TABLA 2  
 INDICADORES CONJUNTOS DEL ESTUDIO "PRINCIPALES CARACTERISTI-  
 CAS Y PROBLEMAS DE LA INDUSTRIA PEQUEÑA Y MEDIANA EN MEXICO"

INDICADOR	INDUSTRIA	
	Pequeña	Mediana
Trabajadores (%)		
Obreros	82	
Administradores	12	
Técnicos	6	
Grado de utilización de la capacidad instalada (%)	29	
Problemas Principales (%)		
Abasto de materia prima	25	
Producción	24	
Financiamiento	21	
Mano de obra calificada	13	
Organización	6	
Transporte	5	
Ventas	4	
Producto terminado	1	
Otros	1	
Ventas		
Promedio anual (10 <sup>3</sup> \$)	13,233	
Por trabajador	406	
Por peso invertido	1.6	
Por peso de capital contable	2.6	

**CAPITULO 3**

**GENERALIDADES**

## GENERALIDADES

El objeto que tienen los recubrimientos electrolíticos no es sólo, el mejorar la duración de los metales, sino también, mejorar su aspecto.

Los recubrimientos electrolíticos se llevan a cabo en un depósito que recibe el nombre de electrodepósito.

El electrodepósito tiene la finalidad de alterar las propiedades superficiales de metales y sustancias no metálicas, sin alterar las propiedades internas de ellas.

Los efectos que causa el electrodepósito son:

- 1.- Aumento de la resistencia a la corrosión.
- 2.- Aumento de la resistencia al desgaste de la superficie, por mejor comportamiento de fricción y mayor dureza.
- 3.- Mejoramiento del aspecto (para fines decorativos)
- 4.- Aumento de la resistencia a los agentes químicos y al manchado

Los metales bases más usuales son el acero y el hierro que generalmente deben ser protegidos por recubrimientos de cobre, níquel, cromo, plomo, zinc, cadmio y estaño; el recubrimiento debe ser perfecto, porque si queda porosidades se inicia la corrosión del acero o del hierro.

Los recubrimientos sucesivos se llevan a cabo para mejorar el aspecto y principalmente para aumentar la protección y se tenga la completa seguridad de que el recubrimiento es perfecto y no quede ningún poro. Los recubrimientos sucesivos más comunes son los de níquel-cromo, níquel-latón, latón-níquel y de tres recubrimientos sucesivos se tienen los de cobre, níquel y cromo.

Las especificaciones de espesor más comunes utilizadas por los fabricantes son las normas de espesor de la A.S.T.M. que se muestran en la tabla 3.

Actualmente los recubrimientos electroquímicos no solo se efectúan sobre metales sino también en no metales, el objeto de recubrir cuerpos no metálicos, es el de hacer piezas livianas que tengan propiedades superficiales de los metales, conductancia superficial y resistencia.

Los materiales no metálicos que suelen recubrirse son: resinas sintéticas, madera, vidrio, tela, materiales cerámicos y plásticos. En los plásticos además de lograrse resistencia y conductancia superficial, también se consigue un aumento en la resistencia a la tracción.

TABLA 3

ESPECIFICACIONES DE LA A.S.T.M. ACERCA DE RESVESTIMIENTOS METALICOS  
ELECTRICOS

Metal	Patrón de Base A.S.T.M.	Revestimiento	Espesor del revestimiento mínimo en milésimas de mm necesario para distintas exposiciones en las condiciones de servicio.			
			Muy severa	Severa	Corriente	Moderada
Acero	A166-53T	Cadmio	13	7.6	4	
		Cu + Ni	50	50	18.75	1
		Ni final	25	15	10	5
		Cr (si es preciso)	0.25	0.25	0.25	0.25
		Ensayo de niebla salina	96 h	72 h	48 h	16 h
Cobre	B141-54	Ni		12.5	7.5	2.5
		Cr (si es preciso)		0.25	0.25	0.25
Cinc	B142-53	Cu + Ni		30	18.75	12.5
		Cu		5	5	5
		Ni final		12.5	7.5	7.5
		Cr (si es preciso)		0.25	0.25	0.25
		Ensayo de niebla salina		48 h	32 h	16 h

## BAÑO ELECTROLITICO

En la electrodeposición, los iones, que generalmente parten del ánodo para depositarse en el metal base constituido - en cátodo necesitan un medio apropiado para poder desplazarse con rapidez y eficiencia. El electrolito es este medio, que - en cada proceso de deposición debe ser distinto, de acuerdo - con el metal que ha de servir de base, estos electrolitos son los comunmente llamados baños. En cada tipo de baño existe - una gama bastante amplia de composiciones, cada una de ellas es particularmente adecuada para ciertas aplicaciones.

## BRILLO

Característica que distingue a un recubrimiento y de gran importancia. Todos los recubrimientos electrolíticos están - constituidos por cristales, ya sean de tipo mediano o micros- cópicos.

La teoría más sencilla y racional que explica el mecanismo de la formación de cristales en un depósito es la expuesta por Blum y Rawdon.

En todo proceso de cristalización se consideran dos partes fundamentales:

- a.- Formación de gérmenes cristalinos.
- b.- Desarrollo de los mismos para dar lugar a la estructura cristalina final.

## FACTORES QUE CONTROLAN LA ESTRUCTURA Y EL BRILLO DEL DEPOSITO

### a.- Espesor del recubrimiento electrolítico.

Cuando el recubrimiento electrolítico se realiza sobre una superficie pulida y brillante él es, asimismo, igualmente liso y brillante, siempre que la capa depositada sea relativamente delgada.

Únicamente los baños electrolíticos llamados brillantes, dan recubrimientos en que el brillo aumenta con el espesor, y aún en este caso, el espesor tendrá un límite, pasado del cual el brillo disminuirá debido a la conversión de las capas lisas en rugosas por fenómenos secundarios.

### b.- Influencia de la densidad de corriente.

Es evidente que una variación en la densidad de corriente involucrará una variación en el empobrecimiento de la película líquida catódica. Un aumento de dicha densidad de corriente, provoca un mayor empobrecimiento de la película líquida catódica, obteniéndose estructuras finas, debida a la continua aparición de gérmenes cristalinos.

Así, que, cuanto mayor sea la densidad de corriente mayor será el brillo del depósito obtenido. Sin embargo existe un máximo para esta densidad de corriente, que al sobrepasar se produce depósitos quebradizos, debido a la aparición de -

formas cristalinas esponjosas.

c.- Influencia de la agitación.

La influencia de la agitación sobre la producción de depósitos brillantes se manifiestan en un favorecimiento de los cambios entre la película líquida catódica y el resto de la solución electrolítica contrarrestando el empobrecimiento de dicha película.

d.- Influencia de la temperatura.

La elevación de la temperatura se traduce en la aparición de cristales más gruesos sobre la superficie catódica. Sin embargo su interés radica en el que al elevar la temperatura, permite aplicar mayor densidad de corriente, aunque no siempre se puede realizar este aumento de temperatura, pues en varios casos se presentan serias perturbaciones, sobre todo en baños cianurados.

e.- Influencia de la concentración salina.

La composición más conveniente de la solución electrolítica será aquella que posea pocos iones a depositar y muchas moléculas no disociadas dispuestas a disociarse rápidamente, liberando de este modo iones metálicos que sustituirán a los que desaparecen de la película líquida catódica durante la electrólisis.

f.- Influencia de la concentración de iones hidrógeno.

Esta influencia se pone de manifiesto cuando el metal a depositarse es electronegativo, ya que el electrolito debe contener entonces suficientes iones hidrógeno para evitar la formación de hidratos y sales básicas poco solubles, que darían lugar a depósitos esponjosos, y al mismo tiempo no debe contener tantos que su abundancia haga que se descarguen en el cátodo.

g.- Influencia de los agentes de adición.

Se les llama agentes de adición a los compuestos de naturaleza química diversa que, añadidos a la solución electrolítica en cantidades pequeñas son capaces de modificar la textura cristalina del depósito dejándola más fina y regular. Aunque se refiere con este nombre, especialmente, a los agentes de adición, abrillantadores, sustancias generalmente orgánicas capaces de producir recubrimientos electrolíticos brillantes.

h.- Influencia del estado de la superficie base.

Del estado de preparación de la superficie base, dependen en gran manera las cualidades del brillo de la misma, sobre todo cuando el depósito a efectuar debe ser delgado. Una buena preparación de dicha superficie antes de su recubrimiento favorece considerablemente su posterior abri-

llantado, ya que sólo sobre superficies completamente lisas y púldas hasta el alto brillo pueden obtenerse ordinariamente recubrimientos de las mismas condiciones, aunque algunos agentes añadidos al electrolíto contribuyen en gran manera durante el proceso electrolítico a igualar las rugosidades y asperezas de dichas superficies.

#### PREPARACION DE LA SUPERFICIE

Casi siempre es necesario, sobre todo cuando se quiere obtener un acabado brillante, disponer de instalaciones apropiadas para preparar las piezas antes de introducir las al depósito electrolítico. Para que esta condición se cumpla, es necesario que nada separe al metal base del metal de aporte. La superficie de los metales debe estar, completamente limpia, desprovista de grasa, óxidos, o de otras impurezas minerales u orgánicas.

La preparación de la superficie metálica comprende, tres etapas, según sea la aplicación a que van destinadas las piezas y estado inicial de las mismas. Pueden suprimirse una, dos, en algunos casos, las tres etapas que son las siguientes:

- 1.- Pulido
- 2.- Desengrase.
- 3.- Decapado

## 1.- PULIDO

Elimina rugosidad y proporciona brillantes a la superficie y se puede realizar por cuatro técnicas:

### a) Pulido Mecánico.

Puede ser manual, automático o semiautomático, al pulir una pieza desaparecen las asperezas de la misma, dando a su superficie un aspecto continuo, que va desde el mate al brillante.

Estas operaciones pueden dividirse en:

Amolado.- Pulido con discos esmerilados.

Lustre.- Lustrar la superficie, dándole una apariencia brillante.

La operación de pulido consiste en pasar la pieza por una serie de esmeriles en graduación degresiva.

### b) Pulido en Tonel.

Se utiliza para piezas coladas, torneadas o estampadas, forjadas, sobre todo si son pequeñas, siendo preciso eliminar rebabas, fisuras, etc.

Este tipo de pulido en tonel consiste en hacer rodar las piezas en un tonel mediante adjucción de materias abrasivas, si es necesario.

### c) Pulido electrolítico.

Se utiliza para pulido preliminar de piezas de forma complicada, para pulido de piezas muy oxidadas, pulido

final de piezas que requieren un alto grado de pulido, lustre de piezas de aluminio para bisutería.

#### d) Pulido Químico.

Las soluciones químicas de pulido están esencialmente constituidas de ácidos nítrico, fosfórico y acético, con adición de ácido crómico y agentes de humedad. Se obtienen magníficos pulimentos sobre todo en Ag, Cu, Ni, Al y aceros inoxidables.

## 2.- DESENGRASE

Existen tres métodos para eliminar grasas y aceites que son:

a) Limpieza por solventes o desengrase al vapor.- Utiliza solventes orgánicos, en los cuales se disuelven la mayor parte de las grasas, aceites y ceras.

b) Limpieza por emulsificación.- Consiste en tratar la superficie metálica con aceite que contenga un agente humectante que forma con la grasa presente una emulsión que puede ser enjuagada fácilmente.

c) Limpieza electrolítica.- En este método se utilizan soluciones alcalinas con paso de corriente eléctrica.

#### a) LIMPIEZA CON SOLVENTES O VAPORES ORGANICOS

Los solventes utilizados para efectuar la limpieza de metales deben de llenar ciertos requisitos para su uso:

- No deben ser inflamables.
- No tóxicos
- No corrosivos.
- Volátiles.

- Capaces de disolver las grasas, ceras, y aceites presentes

De uso frecuente es el tetracloruro de carbono que no es inflamable, sin embargo, el limpiador más usado es el tricloro etileno, el tetracloroetileno que tiene un punto de ebullición más elevado, lo que permite aumentar la eficiencia en la limpieza.

El desengrase por vapor ofrece muchas ventajas al fabricante de troquelados frágiles y complicados, partes roscadas para máquinas y trabajos pulidos, tales como piezas fundidas o extruccionadas.

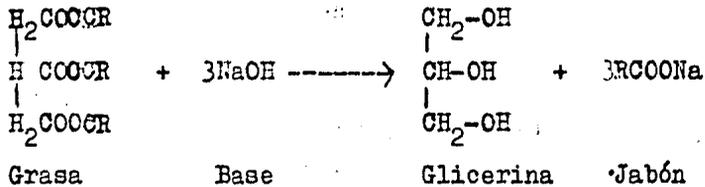
El disolvente y el vapor disolvente tienen una acción penetrante rápida y, por esta razón, el procedimiento es excelente. La aplicación del desengrase por vapor implica los siguientes pasos.

- Los artículos sucios se sumergen en el líquido en ebullición, con lo cual la grasa se elimina permaneciendo en la tina que tiene el solvente contaminado.

- Los objetos se suspenden dentro del vapor del líquido limpiador siempre y cuando la temperatura de los artículos permanezca por abajo de la del vapor, este último se condensará sobre la superficie metálica y escurrirá hacia abajo reuniéndose con el líquido de la tina.

## b) LIMPIEZA POR EMULSIFICACION Y SAPONIFICACION.

Las bases alcalinas actúan sobre las grasas saponificables - formando un jabón y un alcohol, en la siguiente forma:



Las bases alcalinas actúan sobre las grasas no saponificables por emulsión, o sea, cuando una suspensión de gotitas se forma en el seno del líquido.

## c) DESENGRASE ELECTROLITICO

La limpieza electrolítica en soluciones alcalinas es el método más eficaz para obtener superficies metálicas completamente limpias, siendo muy empleadas en metales tales como latón, cadmio, cobre, cromo, oro, plomo, níquel, plata, estaño y cinc. Por este método se aprovecha la agitación de la solución resultante de la liberación de gases durante la electrolisis lo cual ejerce un efecto de limpieza mecánico ya que al desprenderse dichos gases arrastran todo tipo de películas de grasas, aceite, pintura, etc.

En general, este proceso consiste en el paso de corriente a través de soluciones calientes alcalinas (75-90°C) estando las partes metálicas conectadas para actuar como un electrodo (cátodo o ánodo) en dicha solución. Se emplean como electrolitos, soluciones que contengan una importante proporción

de álcali. Se adicionan sales alcalinas para regular la alcalinidad de la solución y contribuir a emulsionar la suciedad. Se usan sus ánodos de hierro o más frecuentemente se utilizan tanques de dicho material como ánodos, colgándose el objeto que se trata de limpiar de la barra catódica. Se aplica una fuerza electromotriz suficientemente elevada para obtener en el cátodo una densidad de corriente de 10-15 Amp/dm<sup>2</sup> con lo cual se logra el desprendimiento del gas.

#### I.- Limpieza catódica (directa).

El volumen de hidrógeno liberado en el cátodo es dos veces el del oxígeno liberado en el ánodo con lo cual se proporciona una mayor agitación a la solución electrolítica para ayudar a aflojar la suciedad de la superficie de una pieza de metal conectado como ánodo.

#### II.- Limpieza Anódica (inversa)

La acción limpiadora por desprendimiento de gas es menor dado que el oxígeno liberado en el ánodo es la mitad de la del hidrógeno, sin embargo, esto puede contrarrestarse aumentando la densidad de corriente.

### 3.- DECAPADO

Elimina de las piezas metálicas el óxido que puedan tener.

Existen tres procedimientos:

a) Decapado Químico.- se utilizan ácidos o reactivos depen-

diendo del metal.

b) Decapado Electrolítico.- Se aplica principalmente a aleaciones ferrosas, y existen tres tipos esenciales, siempre en soluciones a base de ácido sulfúrico:

1.- anódico.

2.- catódico.

3.- alternado, anódico y catódico.

c) Decapado Mecánico.- es un variante del pulido en tonel.

#### ESQUEMA DEL PROCESO COMPLETO DE PREPARACION DE LA SUPERFICIE

Pulido

Desengrase

Enjuague

Decapado

Enjuague

Tratamiento Electrolítico.

CAPITULO 4

CONDICIONES DE TRABAJO  
(Higiene y seguridad)

## CONDICIONES DE TRABAJO

### Higiene y Seguridad

A continuación analizaremos algunos de los materiales con los que está en contacto una persona que trabaja en el área de galvanoplastia y que pueden ofrecer riesgos para su seguridad personal, dando algunas medidas de seguridad.

#### POLVOS DE PULIDO

Si estos contienen sílice, pueden al aspirarse ocasionar silicosis, por lo cual se recomienda el que los discos y filtros de pulido estén protegidos, sólo dejando al descubierto la parte necesaria para el trabajo con aspiradores ajustados a las capotas para así eliminar los polvos, el uso de la mascarilla, de gafas, pantallas montadas o viseras para la protección de los ojos. Existe en el área de pulido el riesgo de heridas contusas ocasionadas por las ruedas de pulido.

#### CIANUROS

En los cianuros la toxicidad proviene del ión  $CN^-$  ya sea por ingestión, inhalación o penetración transcutánea, con dosis mínima puede tener consecuencias mortales. Por inhalación  $300 \text{ mg/m}^3$  son mortales en 3 minutos, por ingestión 50 mg.

Por vía transcutánea la toxicidad es mucho menor y el contacto no resulta peligroso si no es elevado.

La prolongación de la intoxicación provoca el desfallecimiento directo de los centros nerviosos con paro respiratorio y disminución de la función cardíaca, en algunos casos existe cianosis, angustia, agitación, paso vacilante, caída, pérdida del conocimiento, convulsiones y se llega a la muerte.

En las intoxicaciones por inhalación, se observa en el aliento del paciente un olor de almendras amargas y en el caso de ingestión se presentan vómitos.

La intoxicación producida por la reiteración de pequeñas dosis se traduce, por signos generales poco característicos: Cefálea, vértigos y náuseas.

El tratamiento consiste en desnudar al enfermo, lavarle las partes contaminadas, oxigenoterapia, productos anticianúricos (por ejemplo, quelato de cobalto intravenoso 10 mg/Kg, 0.5 gramos de nitrito de sodio en 15 c.c. de agua por vía intravenosa, inhalaciones de nitrito amílico que se dan durante 30 segundos cada dos minutos), sostén cardíaco, evitando los tónicos cardíacos clásicos que aumentan las necesidades de oxígeno del miocardio.

La concentración máxima tolerable es de 5 ppm, existen papeles reactivos para determinar la concentración (el olfato percibe menos de 1 ppm pero los trabajadores se habitúan al olor característico). Por lo cual se recomienda su uso.

Para evitar accidentes se recomiendan las siguientes precauciones:

- Locales con ventilación abundante.
- Pavimento impermeable con declive para la evacuación de líquidos residuales.
- Recipientes metálicos provistos de tapones con empaques y rotulados "veneno".
- Lavar los recipientes vacíos con agua hirviendo.
- No deben entrar en contacto las soluciones de cianuro con ácidos (producción de ácido cianhídrico volátil).
- No colocar baños de cianuro, en proximidad de baños ácidos.
- Mantener los baños tapados, cuando no están en servicio.
- Rotular los baños.
- El vaciado y evacuación de los baños de cianuro no deben efectuarse simultáneamente con los baños ácidos y con suficiente intervalo de tiempo.
- En los puestos de trabajo utilizar guantes, mandiles de caucho, gafas (no coger cianuro con las manos desnudas, sobre todo con heridas o escoriaciones).
- En las operaciones que pueden provocar proyección de soluciones utilizar careta contra salpicaduras.
- No comer, beber, ni fumar en los locales que se maneja cianuro.
- Al terminar el trabajo ( igual que antes de comer, beber o fumar), lavarse las manos con agua caliente y jabón.

- Lavar guantes y mandiles después de cada periodo de trabajo
- Dar aviso al responsable si se sienten molestias físicas
- Hacer varias inspecciones anuales.
- Mantener alejados individuos afectados de dermatosis.

### ALCALIS

Los álcalis típicos, son el hidróxido de sodio y de potasio, el segundo es más cáustico y en solución concentrada, puede producir quemaduras graves, las proyecciones sobre los ojos son peligrosas, ocasionan dermatosis húmedas, otros álcalis son el carbonato de potasio, de sodio, el silicato de sodio, los hipocloritos de potasio y de sodio, el amoníaco y el fosfato trisódico.

La gravedad de las quemaduras, depende de la concentración de las soluciones y es debido a que los álcalis disuelven las materias protéicas, corroyendo y creando un medio favorable a los microbios, el tratamiento consiste en lavado con agua abundante destinada a lavar la mayor parte del álcali, aunque no queda completamente eliminado, ya que es retenido enérgicamente por los tejidos, por lo que es necesario después, aplicar varios lavados con ácido acético al 1% y con agua boricaada.

En el caso de ingestión la mucosa bucal está gruesa, roja y se desprende a girones, existirán lesiones parecidas en el tubo digestivo, el tratamiento consiste en una neutralización

con ácido, que no sea cáustico, ni irritante, por ejemplo vi  
nagre diluido al 10%, agua boricada al 3%, puede añadirse de  
2 a 3 cucharadas de aceite de oliva. Esta contraindicado el  
lavado de estomago.

Los trabajadores deben equiparse con guantes, mandil, bo  
tas y si es posible equipo protector, que cubra la cara.

### ACIDOS

Los ácidos minerales, son corrosivos cuando están concentrados, en soluciones diluidas son poco peligrosos (salvo el ácido fluorhídrico), actúan sobre los tejidos coagulando la albumina y substraen el agua.

Al igual que los álcalis, la preparación de los baños - ofrece el riesgo de proyecciones sobre manos y cara, el tratamiento consiste en lavado con agua abundante, se irrita - la región afectada con una solución al 2% de bicarbonato de sodio o con agua de cal y se repite varias veces la operación para asegurar la neutralización de toda traza de ácido.

En el caso de inhalación, las intoxicaciones son habitualmente crónicas (raramente agudas), en la mayoría de los casos se trata de operarios expuestos a los humos de ácido - clorhídrico o a vapores de ácido sulfúrico o nítrico.

En el caso de las soluciones de decapado trabajadas en caliente, el hidrógeno desprendido puede arrastrar minúsculas gotas de ácido, en el caso del ácido nítrico se desprenden - vapores nitrosos, en caso de intoxicación aguda, puede produ-

cirse edema agudo del pulmón, el cual es mortal. Por lo anterior se debe tener ventilación superficial en los baños para arrastrar los vapores ácidos a un colector.

En el caso de la ingestión el tratamiento consiste en la neutralización rápida por ingestión de antidotos alcalinos, que son soluciones débiles de agentes alcalinos, como agua de jabón (10 g/l), lechada de magnesia (40 g/l), hidróxido de aluminio o se puede suministrar leche, pero causa molestias por la formación de saseina, el bicarbonato sódico debe evitarse a causa del desprendimiento de gases.

#### SULFATO DE NIQUEL

El sulfato de níquel produce lesiones cutáneas que dan un eritema papulovesiculoso acompañado de quemaduras y comezón nocturna.

CAPITULO 5

DISPOSICION DEL LABORATORIO - TALLER

## DISPOSICION DEL LABORATORIO - TALLER

El Laboratorio-Taller será una unidad completa de procesamiento a media escala, conteniendo los elementos esenciales para el proceso de recubrimientos electrolíticos incluyendo - un laboratorio de control y uno de investigación. Será un Laboratorio - Taller diseñado a nivel planta piloto para permitir la aplicación de un rango amplio de modelos de producción.

El Laboratorio-Taller de recubrimientos electrolíticos - contará con las siguientes áreas fundamentales.

### 1.- PRODUCCION

Sin duda el área de producción es la más importante para el procesado electrolítico, en ella se llevarán a cabo diferentes recubrimientos. Al mismo tiempo - proporcionará una evaluación de datos obtenidos en - el Laboratorio de investigación desde un punto de - vista totalmente diferente al desarrollado dentro de un laboratorio.

En esta área los alumnos desarrollarán prácticas - académicas, las cuales estarán debidamente asesoradas por un profesional asistente.

El propósito de este Laboratorio-Taller además de - coadyuvar al desarrollo profesional de los alumnos, de proveer asesoramiento a industriales del ramo que

lo soliciten, dará servicio a la institución educativa cuando ésta lo requiera y a los sectores industriales que soliciten dicho servicio. Por lo cual se podría contar con personal adecuado para desarrollar tales labores.

Esta área efectuará las operaciones siguientes:

- a) Tratamiento previo al recubrimiento.
- b) Activado de la pieza a recubrir.
- c) Electrodepósito.

## 2.- Laboratorio de control de calidad

El Laboratorio de control de calidad, desarrollará pruebas para mantener los baños electrolíticos en buenas condiciones de operación. El laboratorio de control de calidad al igual que el área de producción contará con un profesional asistente de tiempo completo, encargado de esta área. Las pruebas para el control de los baños electrolíticos serán realizadas principalmente por alumnos, los cuales podrán analizar los factores que controlan los recubrimientos electrolíticos como son: agitación, densidad de corriente, influencia de la temperatura, influencia de la concentración salina, etc.

### 3.- Laboratorio de Investigación y Desarrollo.

El requerimiento de ésta área será destinada para profesores - investigadores de la institución educativa, quienes realizarán investigaciones y desarrollarán nuevos procesos o innovaciones a procesos electrolíticos ya existentes, los cuales conducirán a obtener datos científicos que podrán ser evaluados dentro del área de producción. El laboratorio de investigación y desarrollo contará con un jefe de laboratorio encargado de la coordinación - de actividades desarrolladas en este laboratorio. También los alumnos podrán tener acceso a esta sección en calidad de tesistas.

### 4.- Oficinas

Donde se encontrarán jefes de área.

### 5.- Almacén de sustancias químicas, anodos, piezas por recubrir, etc.

### 6.- Baños, vestidores.

### 7.- Aulas.

### 8.- Auditorio

### 9.- Biblioteca.

**10.- Cuartos de servicio.**

Estos departamentos pueden tener la disposición que se muestra en el plano siguiente.



## PRODUCCION:

## TRATAMIENTO PREVIO AL RECUBRIMIENTO

## Desengrase de Inmersión (Emulsificación y saponificación)

Fórmula típica de un baño de desengrase de inmersión:

## Solución:

Desengrase Inmersión	60 g/l
Temperatura	70 - 80 °C
Tiempo	2 - 5 min.

Este tipo de desengrase se utiliza para remover la grasa y pasta macromolecular formando glóbulos, que son fácilmente separados en la superficie del metal a tratar por la solución alcalina.

## Desengrase electrolítico.

Fórmula típica de un baño de desengrase electrolítico es el siguiente. Para tres diferentes soluciones desengrasantes.

Composición %	1	2	3
NaOH	20.2	23.6	41.9
Silicato de Na	31.7	8.5	--
Fosfato trisódico	6.9	---	0.8
Oleato de sodio	11.2	---	--
Glicerina	--	13.0	--
Agua	30	54.9	18
NaCO <sub>3</sub>	--	--	55.5

## CAPITULO 6

- Area de producción.
- Laboratorio de Control de calidad
- Laboratorio de Investigación.

### Condiciones de Operación.

Electrolimpiador	60 g/l
Temperatura	70 - 80 °C
Tiempo	30 - 60 seg
Densidad de corriente	5 - 10 Amp/dm <sup>2</sup>

Este tipo de desengrase se recomienda cuando el material tiene restos de níquel, cobre, latón de anteriores depósitos.

El baño electrolítico puede ser catódico o anódico.

El criterio para elegir dos clases de desengrases va a ser que tanto el de inmersión y el electrolítico sean afines, pueden ser : aniónico con aniónico, catiónico con catiónico, aniónico con neutro y catiónico con neutro, no deben ser diferentes ,si esta diferencia existe reaccionan entre sí formando una capa insoluble en la superficie del metal, que solo puede ser retirada por medios mecánicos.

### ACTIVACION

#### Decapado Químico.

Elimina de las piezas metálicas el óxido que puedan tener.

Baño de activación Típico.

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10 %
HCL	0.1 %
Humectante	0.01%
Temperatura	ambiente
Tiempo	10 - 15 seg

En este punto del proceso las piezas de hierro y acero -  
entran al cobrizado, pero cuando las piezas son de latón o -  
bronce, al salir del enjuague posterior al decapado, son pa-  
sados directamente al tanque de niquelado y cromado.

### COBRIZADO

Se puede cobrizar con dos tipos de baños que son los si-  
guientes:

- 1.- Baños Ácidos (solución de  $\text{CuSO}_4$  en medio ácido).
- 2.- Baños alcalinos ( $\text{CuCN}$  en medio alcalino)

#### Baños Ácidos de Cobrizado.

La mayoría de las formulaciones para este tipo de acaba-  
do, dadas por diversas compañías, se encuentran entre -  
los siguientes límites:

#### Solución:

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

187 - 262 g/l

$\text{H}_2\text{SO}_4$

45 - 82 g/l

#### Condiciones de Operación

Temperatura

Ambiente

Corriente Directa

1.85 - 6.50 Amp/dm<sup>2</sup>

Tina

Acero forjado con ko  
roseal o fibra de vi  
drio.

Agitación

Aire comprimido con  
gasto constante.

**Anodos**

Cobre electrolítico con  
bolsas de tela de poli-  
propileno.

La composición de los baños ácidos de cobre puede ser variada ampliamente con un efecto poco perceptible en las propiedades del depósito pues solo afecta el brillo.

Altas concentraciones de  $\text{CuSO}_4$  permiten altas densidades de corriente especialmente cuando van acompañadas de buena -  
agitación.

**Agentes de Adición.**

En los depósitos de cobre ácido se adicionan abrillantadores organo-metálicos para producir recubrimientos de grano -  
fino, los cuales poseen un alto grado de brillantez. La --  
composición de tales substancias abrillantadoras se basa en el ácido fenol sulfónico y la tiourea, las cuales son fácilmente oxidadas por el oxígeno contenido en el aire comprimido que es utilizado para homogenizar la solución.

**Desventajas**

El cobrizado en baño ácido no puede ser usado directamente sobre acero o zinc debido a la formación inmediata de una capa de cobre no adherente por simple inmersión. También los abrillantadores son difíciles de controlar, y se debe tener filtración continua para extraer las impurezas metálicas que van a dar depósitos asperos.

### Baño Alcalino de Cobrizado.

Este tipo de baños son los más utilizados entre las - empresas debido a que poseen cualidades y ventajas sobre el baño ácido lo cual lo hacen ser tan difundido. Los depósitos de cobre se aplican como recubrimiento previo al niquelado para reducir el costo del pulido y mejorar la resistencia a la corrosión. Se utiliza el cobrizado alcalino, el cual posee buen poder de penetración en zonas de baja densidad, y deja depósitos brillantes de grano fino, con el empleo de este tipo de recubrimiento se evita el depósito por cementación.

La solución ordinaria de  $CN^-$  tiene una pobre corrosión - anódica cuando se disminuye el cianuro libre y se aumenta el contenido de cobre para mejorar los rendimientos, por lo que deben añadir sales que coadyuvarán a mejorar las propiedades de este recubrimiento, como la sal de Rochelle (tartrato doble de sodio y potasio), hacen que se formen complejos con el cobre que reducen la cantidad de cianuro libre permitiendo de esta manera el uso de densidades de corriente altas con buenos rendimientos electrolíticos y fácil corrosión anódica. Se adiciona carbonato de sodio para reducir la polarización anódica y estabilizar el pH; se considera que un pH entre 12.2 y 12.8 proporciona las mejores condiciones de recubrimiento; a valores de pH mayores, se reduce el rendimiento anódico y un valor más bajo es difícil de mantener pues - la solución esta poco amortiguada.

La presencia de carbonatos en exceso en esta solución, puede ocasionar pérdida del poder difusor o de penetración como se le llama en el medio y si esto se suma al alto contenido de cobre, puede resultar un depósito rugoso en aquellas áreas interiores o de difícil acceso de la corriente.

Una composición típica de este baño es la siguiente:

Componente	Concentración
CuCN	28 g/l
NaCN	37 g/l
Sal de Rochelle	47 g/l
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	16 g/l
$\text{CN}^-$ libre	6 g/l
pH	12.6
Temperatura	45-50 °C
Densidad de corriente	6 Amp/dm <sup>2</sup>

### Niquelado

De acuerdo a la información obtenida, los baños más empleados en la práctica son dos: El tipo Watts y el de Sulfamato de Niquel que son los que producen mejores resultados. El baño más empleado es el de tipo Watts, por presentar un número de variables que pueden controlarse fácilmente dando mejores resultados, los cuales son: temperatura, -

concentración, densidad de corriente, pH y agitación; por lo que darán las condiciones óptimas.

#### Baño Tipo Watts.

Los baños tipo Watts proporcionan un buen depósito, gran ductibilidad, a temperaturas elevadas (45-60 °C) y a gran densidad de corriente, (8amp/dm<sup>2</sup>) obteniéndose buena eficiencia - del ánodo y el cátodo.

El baño de Watts se compone en esencia de una solución concentrada de sulfato de níquel y cloruro de níquel con algo de ácido bórico, sin embargo como la mayoría de los abrillantadores funcionan mejor a densidades de corriente relativamente altas, es necesario emplear altos contenidos de níquel y más cloruro que en los baños corrientes tipo Watts, también el contenido de ácido bórico es correspondientemente más alto.

Las proporciones típicas de un baño para este tipo de acabado, se encuentran entre los siguientes límites:

Componentes	Concentración
Sulfato de Níquel NiSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	240 - 300 g/l
Cloruro de Níquel NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	38 - 48 g/l
Acido Bórico H <sub>3</sub> BO <sub>4</sub>	30 - 25 g/l

#### Condiciones de Operación.

pH

4.2

### Condiciones de operación

Temperatura	50 - 60 °C
Densidad de corriente	5 amp/cm <sup>2</sup>
Agitación	2 - 3 m <sup>3</sup> /h

Los agentes abrillantadores que se usan en estos baños son por lo general de dos clases, denominados primarios y secundarios, los primarios son abrillantadores propiamente dichos, capaces de producir recubrimientos lustrosos aun sobre bases opacas, los abrillantadores secundarios solamente se usan para evitar la fragilidad y tensiones internas de los depósitos y aumentar además la escala admisible de concentración de los abrillantadores primarios.

Como las densidades de corriente que se usan en estos baños son algo elevadas, es necesario usar agitación vigorosa de la solución para evitar depósitos rugosos y como consecuencia de este constante movimiento de la solución, las partículas sólidas no se asientan pudiendo quedar atrapadas en el depósito, será necesario equipar este baño con un filtro que trabaje de manera continua.

### Baños de níquel del tipo sulfamato.

Los baños de sulfamato se utilizan para producir depósitos gruesos primordialmente; de aquí su uso en electroformado y galvanotipia. Los depósitos de níquel con este proceso no poseen brillo, son recubrimientos opacos de elevada dureza y prácticamente carente de tensiones.

Una formulación típica del baño de sulfamato, es la siguiente:

Componente	Concentración
Sulfamato de Niquel $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$	300 g/l
Cloruro de Niquel $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	6 g/l
Acido Bórico $\text{H}_3\text{BO}_4$	30 g/l

#### Condiciones de Operación

Densidad de corriente	10 - 14 Amp/dm <sup>2</sup>
Temperatura	40 - 50 °C

#### CROMADO

Los baños de cromo decorativo se componen fundamentalmente de ácido crómico, agua y un ácido adicional el cual sirva en cierto modo como un catalizador que permita depositar cromo metálico al paso de la corriente eléctrica.

Este ácido ajeno es casi siempre el sulfúrico. Para obtener un depósito de cromo brillante sin necesidad de un pulido posterior, es necesario controlar rigurosamente las condiciones de operación.

Proporciones típicas de un baño de cromado:

Componentes	Concentración
CR - 110	330 g/l
$\text{H}_2\text{SO}_4$	2.5 g/l

### Condiciones de Operación

Densidad de corriente	20 Amp/dm <sup>2</sup>
Temperatura	37 - 50 °C
Densidad de Solución	22 - 23 °Be

Se selecciona el CR-110 por contener principalmente CrO<sub>3</sub>, algunos radicales ácido como sulfamatos, fluoruros y algunos catalizadores, dando una eficiencia catódica del 25% en promedio, entre las ventajas de este baño se pueden enumerar - las siguientes:

- Mayor poder de penetración en zonas de baja densidad.
- No requiere control analítico, ya que esta solución contiene un catalizador cuya solubilidad es proporcional a la concentración y a la temperatura de la solución. La concentración se conoce por medio de la densidad como se indica en la siguiente tabla.
- Mayor dureza.
- Posibilidad de depositar varias capas de cromo sucesivas.

#### RELACION DE DENSIDAD Y CONCENTRACION

T °F	CrO <sub>3</sub> g/l	Densidad °Be
90	180 - 210	17.6 - 19.3
100	200 - 225	18.2 - 20.6
110	210 - 240	19.2 - 21.3
120	225 - 250	19.9 - 21.7

## CADMIADO

El cadmiado electrolítico se usa considerablemente ya que ejerce una intensa protección. Aunque puede ser depositado por medio de una solución de bisulfato, esta resulta - satisfactoria pero la que se utiliza a nivel industrial es la solución de cianuro que presenta ventajas y gran eficiencia.

La fórmula de la solución de cianuro es la siguiente:

Componente	Concentración
Cianuro de sodio	88 g/l
Oxido de Cadmio	33 g/l
Dextrina Amarilla	3 g/l
Condiciones de operación	
Temperatura	18 - 30 °C
Densidad de corriente	1 - 2 Amp/dm <sup>2</sup>
pH	13
Abrillantador	Aceite de ricino sulfomado y sales de níquel.

La solución necesitará adiciones de cianuro de vez en cuando; si el cianuro disminuye, los ánodos no se disolverán en forma apropiada y la solución se volverá inerte.

Los artículos, después de ser recubiertos se introducen rápidamente en ácido nítrico al 5%, que les proporciona mayor brillantez.

## CINCADO

Existen cuatro tipos principales de baños de cinc, de los cuales sólo uno es más utilizado. De estos cuatro tipos uno es ácido y los tres restantes son alcalinos.

El baño más utilizado es el cianurado, y tiene la siguiente composición.

Componentes	concentración
Cianuro de Sodio	84.00 g/l
Sosa caústica	13.5 g/l
Oxido de Cinc	45.0 g/l
Condiciones de Operación	
Temperatura	30 - 40 °C
Voltaje	12

Este baño se utiliza para piezas pequeñas, para piezas grandes es diferente proporción, ya que el baño para piezas pequeñas es más concentrado.

Componentes	Concentración
Cianuro de Sodio	56 g/l
Sosa caústica	10 g/l
Oxido de Cinc	32 g/l

Aunque esta solución produce buenos resultados, se utilizan más los recubrimientos de Cadmio, sobre todo si las piezas son de forma complicada. La adición a la solución de pequeñas cantidades de estearato de sodio aumenta su poder de penetración.

## LATONADO

El latón puede depositarse con bastante facilidad de las soluciones de cianuro. La aleación tendrá ciertas variaciones de acuerdo con las condiciones del recubrimiento, pero la aleación 70-30 cobre - cinc es la más usual.

El latonado se utiliza como acabado final sobre el acero, y también como recubrimiento previo para el níquelado, ya sea sobre el acero y cinc, y en forma indispensable sobre el aluminio.

Sobre el latonado es fácilmente adherible el nicle y productos similares:

Componentes	Concentración
Cianuro de Sodio	60 g/l
Oxido de Cinc	7.7 g/l
Bicarbonato de Sodio	11 g/l
Amoniaco	3 ml
Cianuro libre	6,26 g/l
Condiciones de Operación:	
Temperatura	35 - 45 °C
Densidad de Corriente	1 Amp/cm <sup>2</sup>
pH	10.5 - 11.5
Abrillantador	200 gr de sosa caústica
	100 gr de arsénico -
	blanco en un l de H <sub>2</sub> O.

El contenido de amoniaco es importante, la adición de am-

niaco promueve la electrodeposición del cinc. También se ayuda al recubrimiento del cinc aumentando el cianuro libre o la densidad de la corriente. La temperatura elevada incrementa la electrodeposición del cobre.

Cuando se utilice el arsénico como abrillantador, deberá evitarse cualquier exceso, ya que los ánodos se ennegrecen bajo la acción, y la solución deja de funcionar.

## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

En esta sección se realizarán los siguientes ensayos físicos:

### DENSIDAD

La densidad de una solución constituye una buena guía para conocer el contenido total en sales, y es por esta razón - que se especifican los valores de dicho factor para los distintos baños electrolíticos.

En las soluciones donde el constituyente principal sea una sal metálica tal como sucede, por ejemplo, con los baños - para cromado y las soluciones de cloruro de zinc, la densidad también constituye una regular indicación precisa del - contenido en metal, y puede mantenerse el baño mediante la adición de sales necesarias para amntener la densidad de la solución al valor preciso.

Con las soluciones del tipo cianurado, normalmente aumenta el valor de la densidad debido a la formación de carbonatos. Es por esta razón que, una vez que se haya estado utilizando un baño cianurado, la densidad ya no servirá de guía para conocer la concentración metálica.

La densidad de una solución varía con la temperatura es por esta razón que resulta normal especificar dos valores, uno a la temperatura ambiente, y el otro a la temperatura normal operante del baño.

La anotación regular o periódica de los valores de la densi-  
dad constituye una ventaja desde el punto de vista del man-

tenimiento del baño y la instalación, puesto que una variación brusca de la densidad puede ser una indicación de pérdidas aecidas en el baño, o bien de un cambio en las soluciones operantes.

### El valor del pH.

El valor del pH constituye una medición de la acidez o alcalinidad de una solución. Con los baños para el niquelado y para otros tipos de recubrimientos, resulta especialmente importante mantener el pH al valor que se especifica.

De los distintos métodos existentes para la determinación del pH, los que resultan más idóneos de aplicación para las soluciones electrolíticas son los siguientes:

- 1) Método electrométrico que utiliza un aparato medidor de pH.
- 2) Método colorimétricos emplean indicadores.

### Tensión Superficial.

En las soluciones electrolíticas se agregan agentes tensoactivos con el objeto de eliminar las picaduras en las piezas, a causa de la oclusión de gases, y también para activar la eficiencia desengrasante. Los productos tensoactivos también se utilizan en gran escala para la eliminación de vapores en los baños.

En los baños que se agitan mediante aire deben emplearse tensoactivos del tipo no espumante para evitar la formación

excesiva de espuma.

Para la determinación de tensión superficial puede emplearse el Stalagmómetro, mediante este instrumento se comparan las tensiones superficiales de los baños mediante la medición de las masas de las gotas que se forman en un orificio estándar o bien mediante el conteo del número de gotas que se originan partiendo de un volumen estándar de líquido.

#### LA CELULA DE HULL

proporciona un método rápido y sencillo de ensayo para determinar la calidad visual de los recubrimientos electrodepositados en una amplia gama de densidades de corriente. También permite determinar rápidamente la influencia que ejercen las adiciones a una solución electrolítica, o bien la de un tratamiento de purificación. El ensayo con la Cella HULL resulta idónea para el control visual de los baños y para la detección de las impurezas metálicas.

## CAPITULO 7

### EQUIPO

- 1.- Tinas
- 2.- Serpentes
- 3.- Rectificadores
- 4.- Equipo auxiliar

## BASES DE DISEÑO

- a) El laboratorio - Taller operará manual o semiautomáticamente.
- b) Los procesos que van a utilizarse para los cálculos, - son los descritos anteriormente.
- c) El Laboratorio - Taller de recubrimientos electrolíticos requerirá el máximo de flexibilidad debido a las - diferentes formas, tamaños y calidades de los materiales a procesar.
- d) Los locales de trabajo reunirán los siguientes requisitos.
- 1.-  $2m^2$  de superficie por cada operario.
  - 2.- 3 m de altura desde el piso al techo, mínimo.
  - 3.-  $10 m^3$  por cada trabajador.
  - 4.- 1.20 m de anchura para pasillos principales, mín.
  - 5.- 1.00 m de ancho, pasillos secundarios (mínimo)
  - 6.- 1.00 m ancho mínimo de puertas.
  - 7.- La distancia entre el interior al exterior del local no debe exceder de 45 m.

## TINAS

Consideraciones de las tinas de proceso.

- a) Todas las tinas de cada línea, serán del mismo tamaño.
- b) La distancia entre el fondo de la tina y el nivel de la solución utilizada es cada caso será de 0.75 m.

- c) La distancia entre el nivel de la solución y el borde superior de la tina será de 15 cm y la altura de las tinas será de 0.90 m en todos los casos.
- d) Por razones de seguridad para los operarios, la distancia entre el piso de trabajo y la parte superior de la tina debe ser de 0.75 m.
- f) Para facilitar trabajos de mantenimiento entre tina y tina se dejará un espacio de 1.00 m.
- g) Las tinas quedarán alineadas de tal manera que los lados más largos sean paralelos.
- h) El ancho de cada tina depende de los accesorios que se requerirán en cada paso y del espacio necesario para el libre movimiento de las piezas a recubrir.
- i) Las tinas en que se utilizarán soluciones ácidas, deben llevar un recubrimiento a base de resina poliéster o fibra de vidrio.
- j) En algunas ocasiones hay necesidad de filtrar las soluciones cambiándolas de tina, por lo cual debe contarse con tinas extras, que sirvan además para llevar a cabo otro tipo de recubrimiento.

## CARACTERISTICAS DE LAS TINAS

## Derramadero de canal.

Toda tina de enjuague llevará una canal interna a lo largo de la misma para eliminar en caso necesario el agua de derrame.

La canal será de 7.6 x 7.6 cm e irá colocada a una altura tal que mantenga el nivel del agua establecida. En uno de los lados se acoplará por medio de un niple, codo y tubería a la cañería correspondiente.

## Refuerzos de ángulo.

No obstante que el espesor de la placa recomendado para la construcción de las tinas es suficientemente bueno para soportar el peso de la solución, es común reforzarlos con ángulos de hierro alrededor de la parte superior y de la parte media, para evitar que la placa con el tiempo sufra deflexiones que resultan perjudiciales sobre todo cuando llevan recubrimiento. El refuerzo que llevarán las tinas en el borde superior se utiliza además como soporte de las instalaciones eléctricas o de cualquier otra índole.

## Dren Inferior.

Todas las tinas llevarán un dren de niple y tapón macho en la parte inferior de las mismas porque en algunas ocasiones es necesario descargar su contenido al drenaje. Este dren también se ocupará cuando se tenga que hacer limpieza en las tinas para eliminar los residuos del lavado.

### Recubrimiento plástico.

Solamente en las tinas que se utilicen soluciones ácidas - habra necesidad de recubrirlas interiormente con polyester, koro-seal y PVC. Estos recubrimientos son adecuados para las condiciones de operación.

### Línea de agua.

Ya que todas las tinas se utilizarán para contener soluciones o simplemente agua, habrá necesidad de distribuir línea de agua en ellas instalándoles una válvula.

### Soportes para las tinas.

Según los datos y experiencias de algunos diseñadores es recomendable colocar las tinas a 10 cm del suelo utilizando madera a lo ancho de la tina espaciadas a un metro de distancia.

En las tinas de cada línea pueden utilizarse como soportes polines de 10 x 10 cm.

Aunque no en todos los casos es necesario tener las tinas - aisladas eléctricamente, siempre se utilizará madera en todos - los casos, el hecho de utilizarla obedece a la necesidad de no tenerlas a distitos niveles.

El exterior de las tinas debe llevar pintura anticorrosiva.

En la tabla 4 se indica en forma condensada las características y principales accesorios que deben tener cada una de -

las tinas. En esta tabla las columnas se encabezan por medio de una literal que representa las siguientes necesidades.

- A.- Derramadero de canal. Figura No. 1
- B.- Conexión eléctrica. Figura No. 2
- C.- Sistema de calentamiento. Figura No. 3
- D.- Sistema de enfriamiento. Figura No. 3
- E.- Refuerzo de ángulo. Figura No. 4
- F.- Línea de agua.
- G.- Drén de niple y tapón macho. Figura No. 5
- H.- Recubrimiento plástico.

TABLA 4

CARACTERISTICAS DE LAS TINAS

TINAS	A	B	C	D	E	F	G	H
1	I	I	N	I	N	N	N	I
2	N	I	I	I	N	N	N	I
3	I	N	N	I	N	N	N	I
4	N	I	I	I	N	N	N	I
5	I	I	I	I	N	N	N	N
6	N	I	I	I	N	N	N	I

Continua TABLA 4

TINA	A	B	C	D	E	F	G	H
7	I	N	N	I	N	N	N	N
8	N	I	I	I	N	N	N	I
9	N	I	N	I	N	N	N	I
10	I	N	N	I	N	N	N	N
11	N	I	I	I	N	N	N	N
12	N	I	N	I	N	N	N	I
13	I	N	N	I	N	N	N	N
14	N	I	I	I	N	N	N	N
15	N	I	N	I	N	N	N	I
16	I	I	N	I	N	N	N	I
17	N	I	I	I	N	N	N	I
18	I	N	N	I	N	N	N	I
19	N	I	I	I	N	N	N	I
20	I	I	I	I	N	N	N	N
21	H	I	I	I	N	N	N	N
22	I	N	N	I	N	N	N	N
23	N	I	I	I	N	N	N	I

Continua TABLA 4

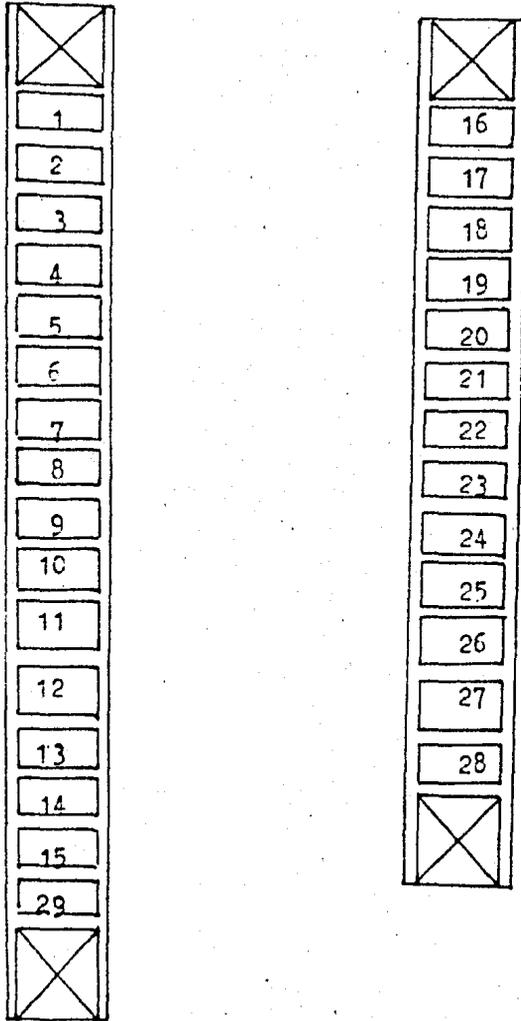
Tina	A	B	C	D	E	F	G	H
24	N	I	N	I	N	N	N	I
25	I	N	N	I	N	N	N	N
26	N	I	I	I	N	N	N	I
27	N	I	N	I	N	N	N	I
28	I	I	I	I	N	N	N	N
29	I	I	I	I	N	N	N	N

N:necesidad de acondicionar lo indicado en la columna.

I:acondicionamiento innecesario.

#### DISTRIBUCION GENERAL DEL LABORATORIO - TALLER

La distribución general del Laboratorio - Taller se aprecia en la figura No. 6 , y la distribución general de las tinas se encuentran en la figura No. 7 , para ambas distribuciones se han tomado en cuenta todos los factores - que influyen en la manipulación de las piezas para evitar - movimientos innecesarios que reducirían el ritmo trabajo y la eficiencia del proceso.



DISTRIBUCION DE LAS TINAS

Figura 7

TINA	OPERACION
No.	
1 -----	Desengrase por inmersión.
2 -----	Enjuague.
3 -----	Desengrase electrolítico.
4 -----	Enjuague.
5 -----	Descapado $H_2SO_4$ al 10%.
6 -----	Enjuague.
7 -----	Cobrizado alcalino.
8 -----	Enjuague.
9 -----	Enjuague agua caliente.
10 -----	Niquelado.
11 -----	Enjuague.
12 -----	Enjuague agua caliente.
13 -----	Cromado.
14 -----	Enjuague.
15 -----	Enjuague agua caliente.
16 -----	Desengrase por inmersión.
17 -----	Enjuague.
18 -----	Desengrase electrolítico.
19 -----	Enjuague.
20 -----	Decapado $H_2SO_4$ al 10%.
21 -----	Enjuague.
22 -----	Cadmiado.
23 -----	Enjuague.

TINA	OPERACION
No.	
24	Enjuague agua caliente.
25	Zincado
26	Enjuague.
27	Enjuague agua caliente.
28	Tina extra (chica)
29	Tina extra (grande).

TABLA No. 5

Dimensiones y Volumen de las Tinas

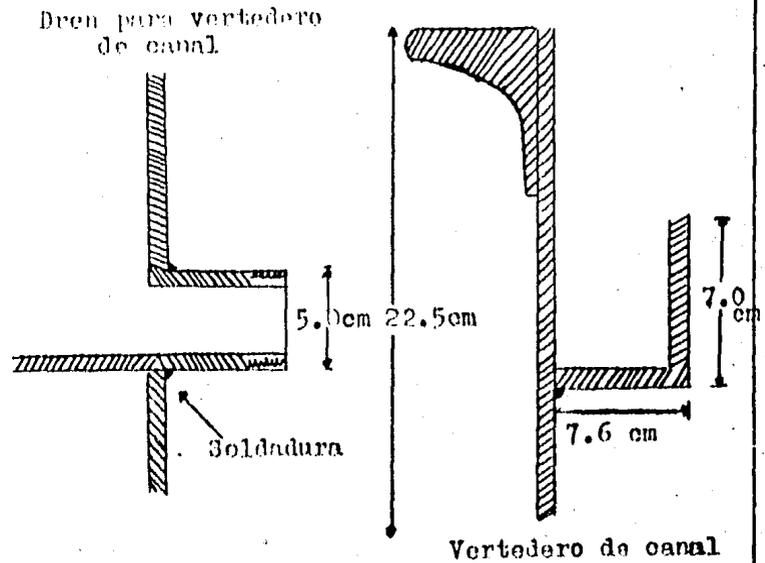
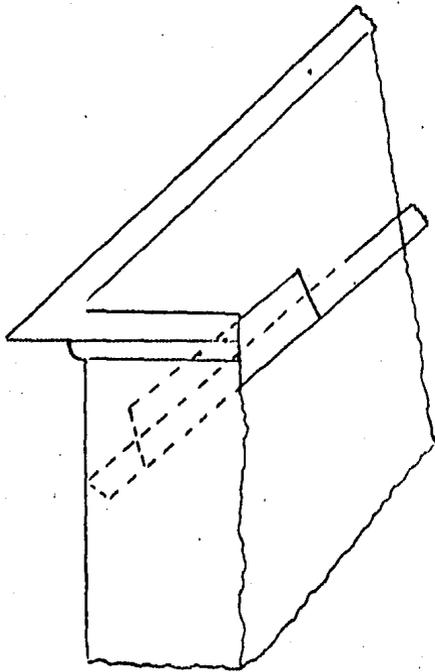
Tina Número	Largo cm	Ancho cm	Alto cm	Capacidad litros	Solución litros
1	250	90	90	2025	1688
2	250	90	90	2025	1688
3	250	90	90	2025	1688
4	250	90	90	2025	1688
5	250	90	90	2025	1688
6	250	90	90	2025	1688
7	250	90	90	2025	1688
8	250	90	90	2025	1688
9	250	90	90	2025	1688

Continua TABLA No. 5

Tina Número	Largo cm	Ancho cm	Alto cm	Capacidad litros	Solución litros
10	250	90	90	2025	1688
11	250	90	90	2025	1688
12	250	90	90	2025	1688
13	250	90	90	2025	1688
14	250	90	90	2025	1688
15	250	90	90	2025	1688
16	100	60	90	540	450
17	100	60	90	540	450
18	100	60	90	540	450
19	100	60	90	540	450
20	100	60	90	540	450
21	100	60	90	540	450
22	100	60	90	540	450
23	100	60	90	540	450
24	100	60	90	540	450
25	100	60	90	540	450
26	100	60	90	540	450

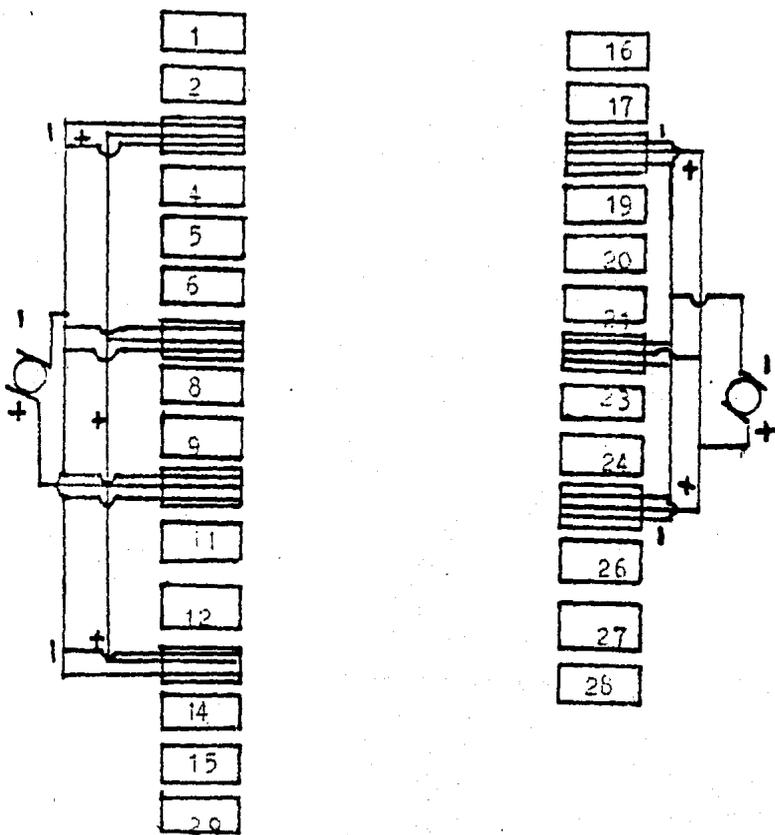
Continua TABLA No. 5

Tina Número	Largo cm	Ancho cm	Alto cm	Capacidad litros	Solución litros
27	100	60	90	540	450
28	100	60	90	540	450
29	250	90	90	2025	1688



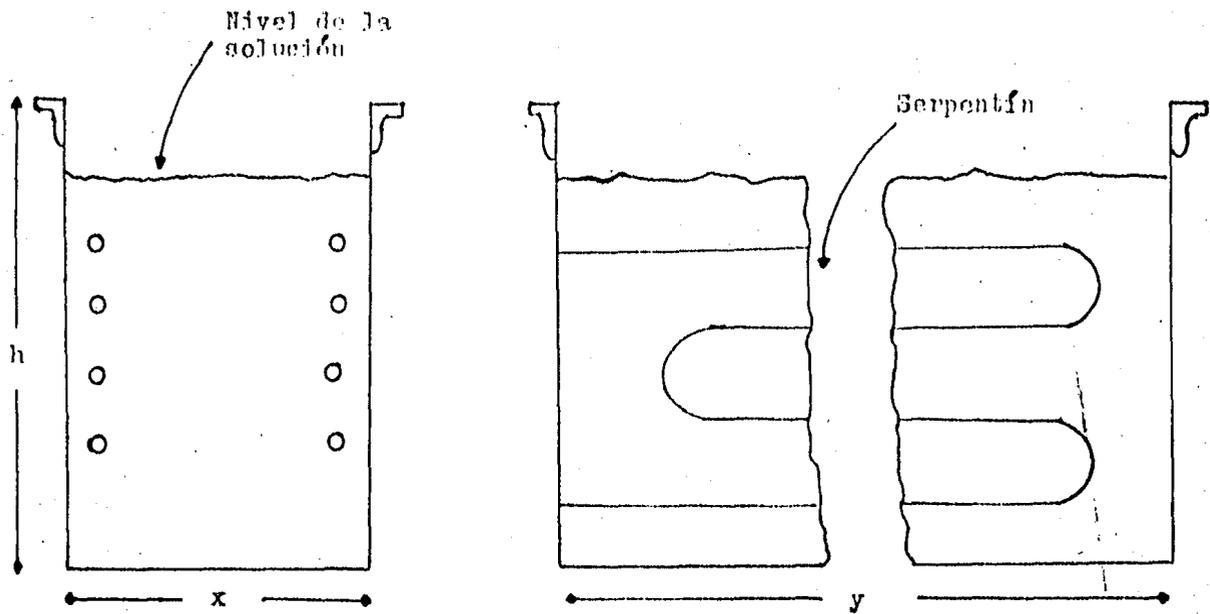
VERTEDERO DE CANAL

Figura 1



Conexiones Eléctricas

Figura 2

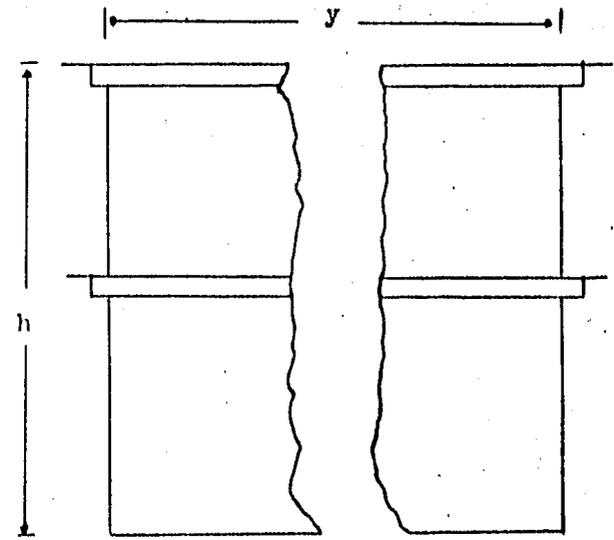
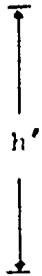
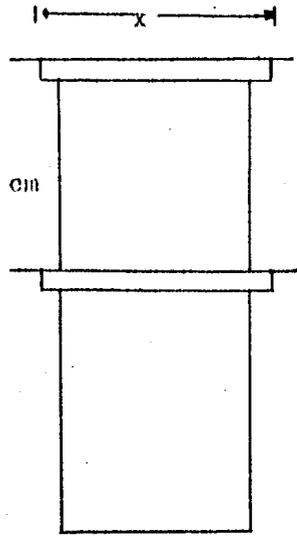


$y$  = longitud.  
 $h$  = altura  
 $x$  = ancho

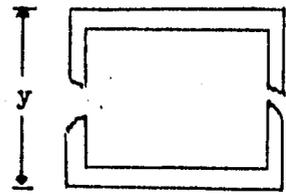
SISTEMA DE CALENTAMIENTO O ENFRIAMIENTO

Figura 3

Angulo de  
7.5 x 7.5 cm



y = longitud  
h = altura  
x = ancho



REFUERZOS DE ANGULO

Figura 4

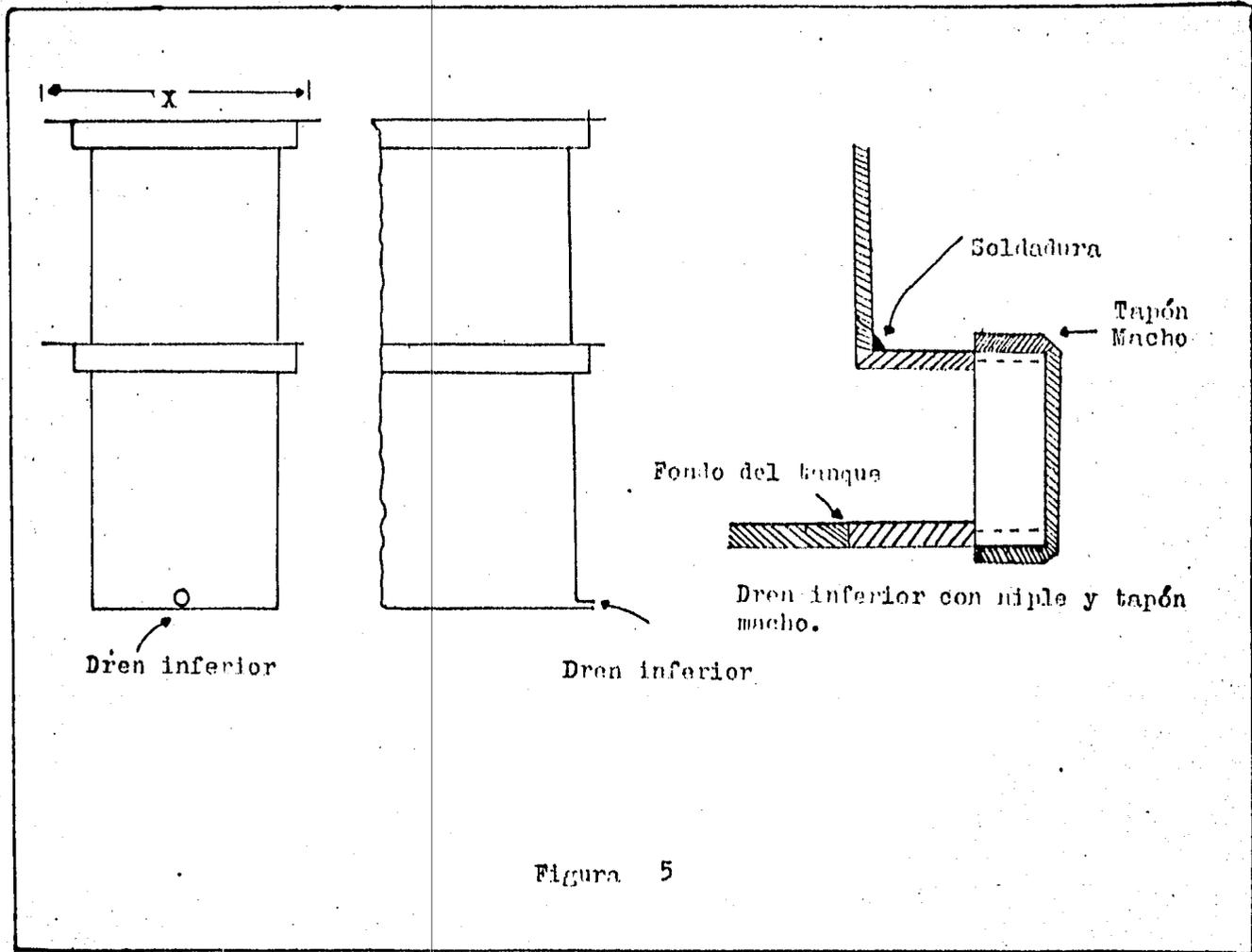


Figura 5

## REQUERIMIENTO DE CALOR

Tanque 1, 16	-----	Desengrase por inmersión.
Tanque 3, 18	-----	Desengrase electrolítico.
Tanque 7	-----	Cobrizado.
Tanques 9,		
12, 15, 24, 27	-----	Enjuague agua caliente.
Tanque 10	-----	Niquelado.
Tanque 13	-----	Cromado.
Tanque 22	-----	Cadmiado.
Tanque 25	-----	Zincado.

## BASES DE CALCULO

- a) Se utilizará vapor a baja presión.
- b) Se considera que la solución alcanzará su temperatura de operación en cuatro horas.
- c) Las propiedades térmicas de las soluciones en todos los casos se consideran iguales a las del agua.
- d) Se considera una temperatura ambiente de  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ).

I. Cálculo de la energía requerida por los tanques de desengrase y de enjuagues de agua caliente. Por tener condiciones de operación similares se tratan de igual manera.

## DATOS PARA EL CALCULO

N.- número de tanque.

V.- Volumen de la solución en litros.

T.- Temperatura de operación en °F.

d.- densidad cercana a la del agua, por lo que se conside  
ra como 1 Kg/l.

m.- masa en Kg.

N	V (l)	T (°F)	m (Kg)	m (lb)
1	1688	180	1688	3721.4
3	1688	180	1688	3721.4
9,12,15	1688	180	1688	3721.4
16,18	450	180	450	992
24,27	450	180	450	992

I. Cálculo del calor necesario para llevar la solución -  
de 68 °F a 180 °F.

Fórmula empleada para el cálculo:

$$Q = MCp (T_2 - T_1) / t \text{ ----- (1)}$$

Donde:

M = masa de la solución en lb.

Cp = Calor específico a presión constante BTU/lb°F.

T<sub>2</sub> = Temperatura de operación en °F.

$T_1$  = Temperatura inicial en  $^{\circ}\text{F}$ .

$t$  = tiempo de calentamiento en h.

Se sustituyen datos en la fórmula (1).

- Tina chica:

$$Q = 992 \text{ lb}(1 \text{ BTU/lb}^{\circ}\text{F})(180 - 68)^{\circ}\text{F}/4\text{h} = \underline{27776} \text{ BTU}$$

- Tina Grande:

$$Q = 3721.4 \text{ lb}(1 \text{ BTU/lb}^{\circ}\text{F})(180 - 68)^{\circ}\text{F}/4\text{h} = \underline{104199} \text{ BTU}$$

II. Cantidad de calor que se pierde en la superficie del líquido por evaporación y radiación.

Cálculo del área superficial de las tinas de proceso.

- Datos Tina chica:

lado mayor = 1.00 m

lado menor = 0.60 m

$$A = (1.00 \text{ m})(0.60 \text{ m}) = 0.6 \text{ m}^2$$

$$(0.6 \text{ m}^2) \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} = \underline{6.5 \text{ ft}^2}$$

- Datos Tina grande:

lado mayor = 2.50 m

lado menor = 0.90 m

$$A = (2.50 \text{ m})(0.90 \text{ m}) = 2.25 \text{ m}^2$$

$$(2.25 \text{ m}^2) \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} = \underline{24.21 \text{ ft}^2}$$

## a) Fase de calentamiento.

Desde el inicio del calentamiento hasta un tiempo -  
igual a 4h.

De la tabla 6, (tomada de K.A. Graham, Electroplating En-  
gineering Handbook, pag.428) se toma el valor de 130 -  
BTU/ft<sup>2</sup>/h, para una temperatura de 68°F, en donde el va-  
lor de Q se calcula con la siguiente fórmula.

$$Q = \text{Area}(\text{pérdidas por radiación en las paredes})/t \quad (2)$$

$$Q = 6.5 \text{ ft}^2(130 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})4\text{h} = \underline{211.25 \text{ BTU}}$$

$$Q = 24.21 \text{ ft}^2(130 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/4\text{h} = \underline{788 \text{ BTU}}$$

## b) Fase de Operación.

Desde el inicio de las actividades hasta la hora de sus-  
penderlas.

De la tabla 6, para una temperatura de 180°F, las pér-  
didas son de 2000 BTU/ft<sup>2</sup>/h, en donde el valor de Q se  
calcula con la fórmula (2).

$$Q = 6.5 \text{ ft}^2(2000 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/10\text{h} = \underline{1300 \text{ BTU}}$$

$$Q = 24.21\text{ft}^2(2000 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/10\text{h} = \underline{4842 \text{ BTU}}$$

III.-Cantidad de calor que se pierde en las paredes por ra-  
diación.

Cálculo del área de las paredes.

-Tina chica:

$$\text{Area de los costados} = 2(1.00\text{m} \times 0.75\text{m}) = 1.5 \text{ m}^2$$

$$\text{Area de los cabezales} = 2(0.75\text{m} \times 0.60\text{m}) = 0.9 \text{ m}^2$$

$$\text{Area del fondo} = 2(1.00\text{m} \times 0.60\text{m}) = 1.2 \text{ m}^2$$

$$\text{Area total} = 3.6 \text{ m}^2$$

$$\text{Area total} = (3.6 \text{ m}^2) \left( \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} \right) = \underline{39 \text{ ft}^2}$$

-Tina grande:

$$\text{Area de los costados} = 2(2.50\text{m} \times 0.75\text{m}) = 3.75 \text{ m}^2$$

$$\text{Area de los cabezales} = 2(0.75\text{m} \times 0.90\text{m}) = 1.35 \text{ m}^2$$

$$\text{Area del fondo} = 2(2.50\text{m} \times 0.90\text{m}) = 4.50 \text{ m}^2$$

$$\text{Area total} = 9.60 \text{ m}^2$$

$$\text{Area total} = (9.60 \text{ m}^2) \left( \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} \right) = \underline{103.3 \text{ ft}^2}$$

a) Fase de calentamiento.

El valor de Q se calcula de acuerdo a la fórmula (2), tomando de la tabla 6, el valor de 50 BTU/ft<sup>2</sup>/h - para paredes sin aislante y a una temperatura de 68°F.

$$Q = 39 \text{ ft}^2 (50 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 4\text{h} = \underline{488 \text{ BTU}}$$

$$Q = 103.3 \text{ ft}^2 (50 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 4\text{h} = \underline{1291 \text{ BTU}}$$

b) Fase de Operación.

De la tabla 6, se toma el valor de 260 BTU/ft<sup>2</sup>/h - para paredes sin aislante y una temperatura de operación de 180°F, el valor de Q se calcula con la ecuación (2).

$$Q = 39 \text{ ft}^2 (260 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 10\text{h} = \underline{1014 \text{ BTU}}$$

$$Q = 103.3 \text{ ft}^2 (260 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 10\text{h} = \underline{2686 \text{ BTU}}$$

IV.- Cantidad de calor que se extrae a causa del proceso.

A.- Cálculo de la masa que se introduce en las tinas .

A.1 Una barra catódica soporta una defensa, la cual se transporta en dos soportes, el peso de los soportes se estima que es dos veces el peso de la pieza por recubrir y el peso unitario de la defensa se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Largo} = 2.00 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 0.20 \text{ m}$$

Lo que da una superficie de ambas caras de:

$$200 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 2 = 8000 \text{ cm}^2$$

$$8000 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{1 \times 10^4 \text{ cm}^2} \times \frac{1 \text{ dm}^2}{1 \times 10^{-2} \text{ m}^2} = \underline{80 \text{ dm}^2}$$

$$\text{Area total por recubrir} = \underline{80 \text{ dm}^2}$$

Para piezas pequeñas se estima el doble de esta área.

Si se considera que la defensa esta troquelada en lámina de  $1/10^2$  de espesor se tendrá un peso aproximado de 17,5 Kg

gravedad específica del hierro 4.2

- masa de la defensa = 17.50Kg
  - masa de los soportes= 35.00Kg
  - masa total = 52.50 Kg
- $$m = 52.50\text{Kg} \times \frac{2.216}{1\text{Kg}} = \underline{115.5 \text{ lb}}$$

B.- Una barra catódica transporta cuatro soportes - conteniendo piezas pequeñas a recubrir (tornillos, rodajas, etc. ) las cuales pueden tener tamaños diferentes, el volumen de carga debe ser del 5 al 15% del volumen de las tinas (tomando el volumen de la tina o tanque pequeño) 450 l, para lo que el peso de material por recubrir debe ser de 102 Kg como se indica a continuación.

- masa de las piezas por recubrir = 34 Kg
- masa de la canastilla o soporte = 68 Kg
- masa total 102 kg

$$m = 102\text{Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = \underline{224.4 \text{ lb}}$$

C.- Cálculo de la cantidad de calor.

Datos:

Cp solución ----- 1 BTU/lb°F

tiempo de residencia ----- 2 - 5 min

$$5 \text{ min} = 0.083 \text{ h}$$

Se sustituyen datos en la ecuación (1)

$$Q = MC_p(T_2 - T_1)/t_r$$

$$Q_A = 115.5 \text{ lb}(1 \text{ BTU}/\text{lb}^\circ\text{F})(180 - 68)^\circ\text{F}/0.083 \text{ h} =$$

$$= \underline{155,855.42 \text{ BTU}}$$

$$Q_B = 224.41 \text{ lb}(1 \text{ BTU}/\text{lb}^\circ\text{F})(180 - 68)^\circ\text{F}/0.083 \text{ h} =$$

$$= \underline{302,804.8 \text{ BTU}}$$

v.- Para obtener la cantidad de calor total a suministrar, será necesario sumar los calores parciales calculados en cada operación, utilizando el  $Q_B$  del punto IV para la suma total, por ser el calor del área mayor por recubrir.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_T = 27776 \text{ BTU} + 211.3 \text{ BTU} + 1300 \text{ BTU} + 488 \text{ BTU} +$$

$$+ 1014 \text{ BTU} + 302804.8 \text{ BTU} = \underline{333,594 \text{ BTU}}$$

$$Q_t = 104,199 \text{ BTU} + 788 \text{ BTU} + 4,842 \text{ BTU} + 1,291 \text{ BTU}$$

$$+ 2,686 \text{ BTU} + 302,804.8 \text{ BTU} = \underline{416,611 \text{ BTU}}$$

Cálculo de la energía requerida por el tanque de Cobre electrolítico.

- I.- Cálculo del calor necesario para llevar la solución de  $68^{\circ}\text{F}$  a  $140^{\circ}\text{F}$ .

Datos para el cálculo:

número de tanque: 7

volumen de la solución = 1688 l

Temperatura de operación =  $122^{\circ}\text{F}$

densidad de la solución = 1.107 Kg/l

masa de la solución = 1869 Kg

t = tiempo de calentamiento = 4h

$t_r$  = tiempo de residencia = 0.05h

$$M = 1869 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = \underline{4,111 \text{ lb}}$$

Sustituyendo datos en la ecuación (2)

$$Q = MC_p(T_2 - T_1)/t$$

$$Q = 4,111 \text{ lb}(1 \text{ BTU/lb}^{\circ}\text{F})(122-68)^{\circ}\text{F}/4\text{h} =$$

$$= \underline{55,499 \text{ BTU}}$$

- II.- Cantidad de calor que se pierde en la superficie del líquido por evaporación y radiación.

Cálculo del área superficial del tanque de cobrizado.

Datos:

Largo = 2.50m

Ancho = 0.90m

$A = 2.50 \text{ m} (0.90 \text{ m}) = 2.3 \text{ m}^2$

$$A = 2.3 \text{ m}^2 \times \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} = \underline{24.21 \text{ ft}^2}$$

a) Fase de Calentamiento

De la tabla 6, el valor de las pérdidas de calor a una temperatura de 68°F de 130 BTU/ft<sup>2</sup>/h. Donde Q se obtiene por la ecuación (2).

$$Q = A(\text{pérdidas por radiación en las paredes})/t$$

$$Q = 24.21 \text{ ft}^2 (130 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/4\text{h} = \underline{787 \text{ BTU}}$$

b) Fase de Operación.

De la tabla 6, el valor de las pérdidas de calor es de 470 BTU/ft<sup>2</sup>/h para una temperatura de 120°F de donde Q es:

$$Q = 24.21 \text{ ft}^2 (470 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/10\text{h} = \underline{1,137.4 \text{ BTU}}$$

III.- Cantidad de calor que se pierde por radiación a través de las paredes. El tanque posee aislamiento térmico de 1" de espesor.

Area de las paredes o de radiación = 103 ft<sup>2</sup>

a) Para la fase de calentamiento.

De la tabla 6, el valor de las pérdidas de calor es de  $12 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}$  para una temperatura de  $68^\circ\text{F}$  y un aislamiento de  $1''$  de espesor.

Aplicando ecuación (2), tenemos:

$$Q = 103 \text{ ft}^2 (12 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 4\text{h} = \underline{310 \text{ BTU}}$$

b) Para la fase de operación.

De la tabla 6, el valor de las pérdidas de calor es de  $23 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}$  para una temperatura de  $120^\circ\text{F}$ , donde el valor de  $Q$  se calcula por medio de la ecuación (2).

$$Q = 103 \text{ ft}^2 (23 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 10\text{h} = \underline{238 \text{ BTU}}$$

IV.- Cantidad de calor que se extrae a causa del proceso.

Masa total que se introduce al tanque de cobrizado.

$$M_t = 224.4 \text{ lb}$$

Cálculo de la cantidad de energía requerida.

Se sustituyen datos en la ecuación (1)

$$Q = MC_p(T_2 - T_1) / t_r$$

$$Q = 224.4 \text{ lb} (1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F})(122 - 68)^\circ\text{F} / 0.05\text{h} =$$

$$Q = \underline{242352 \text{ BTU}}$$

V- Para obtener la cantidad de calor total a suministrar, es necesario sumar los calores parciales 6 calculados en cada operación.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_T = 55,499 \text{ BTU} + 737 \text{ BTU} + 1,137.4 \text{ BTU} + 310 \text{ BTU} \\ + 238 \text{ BTU} + 242352 \text{ BTU} = \underline{300,323.4 \text{ BTU}}$$

Cálculo de la energía requerida por el tanque de níquel electrolítico.

I- Cálculo del calor necesario para llevar la solución de 68°F a 140°F.

Datos:

Número de tanque: 10

Volumen de la solución en litros = 1688 l

Temperatura de operación = 140 °F

densidad = 1.209 Kg/l

Masa de la solución = 2041 Kg

Tiempo de calentamiento = 4h

tiempo de residencia = 0.25 h

Sustituyendo datos en la ecuación (1), se obtiene:

$$Q = MC_p(T_2 - T_1)/t \quad (1)$$

$$Q = 2041 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} (1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F})(140 - 68)^\circ\text{F}/4\text{h}$$

$$Q = \underline{80,820.00 \text{ BTU}}$$

II.- Cálculo de la cantidad de calor que se pierde en la superficie del líquido por evaporación y radiación.

Area superficial del tanque de niquelado:

$$A = 24.2 \text{ ft}^2$$

a) Fase de calentamiento.

De la tabla 6 , el valor de las pérdidas de calor es de 130 BTU/ft<sup>2</sup>/h a una temperatura de 68°F. Aplicando la ecuación (2) se obtiene el valor de Q.

$$Q = \text{Area}(\text{pérdidas por radiación en las paredes})/t$$

$$Q = 24.2 \text{ ft}^2 (130 \text{ BTU/ft}^2/\text{h} = \underline{787 \text{ BTU}}$$

b) Fase de operación.

De la tabla 6 , se obtiene el valor de las pérdidas calor de 820 BTU/ft<sup>2</sup>/h para una temperatura de 140°F, a este tanque se le aplica un 25% más de pérdidas por poseer agitación por medio de aire comprimido, las pérdidas son de 1000 BTU/ft<sup>2</sup>/h,

De donde el valor de Q se obtiene de la ecuación (2).

$$Q = 24.2 \text{ ft}^2 (1000 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 10\text{h} = \underline{2420 \text{ BTU}}$$

III. Cantidad de calor que se pierde por radiación a través de las paredes. (en este caso se considera que el tanque posee aislante térmico de 1" de espesor).

Area de las paredes (área de radiación).

$$A = 103 \text{ ft}^2$$

a) Fase de calentamiento.

De la tabla 6, el valor de las pérdidas de calor es 12 BTU/ft<sup>2</sup>/h para una temperatura de 90°F, sustituyendo datos en la ecuación (2), el cálculo de Q es el siguiente:

$$Q = 103 \text{ ft}^2 (12 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 4\text{h} = 309 \text{ BTU}$$

b) Fase de Operación.

De la tabla 6, el valor de las pérdidas de calor es de 31 BTU/ft<sup>2</sup>/h para una temperatura de 1-140°F y un aislamiento de 1" de espesor, Q se calcula con la ecuación (2)

$$Q = 103 \text{ ft}^2 (31 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 10 \text{ h} = \underline{319 \text{ BTU}}$$

IV.- Cantidad de calor que se extrae a causa del proceso.

Masa total que se introduce en el tanque de niquelado.

$$M_T = 224.4 \text{ lb}$$

a) Cálculo de la cantidad de energía requerida, se sustituyen datos en la ecuación (1).

$$Q = MC_p(T_2 - T_1)/t_r \quad (1)$$

$$Q = 224.4 \text{ lb}(1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F})(140 - 68)^\circ\text{F}/0.25 \text{ h}$$

$$Q = \underline{64,627.2 \text{ BTU}}$$

V.- Para obtener la cantidad de calor necesario que debe suministrarse al tanque de niquel, se suman los calores parciales.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_T = 80,820.00 \text{ BTU} + 787 \text{ BTU} + 2420 \text{ BTU} + 309 \text{ BTU} + 319 \text{ BTU} + 64,627.2 \text{ BTU} = \underline{149,282 \text{ BTU}}$$

Cálculo de la Energía requerida por el tanque de cromo electrolítico.

I.- Cálculo de la cantidad de calor necesaria para llevar la solución de  $68^\circ\text{F}$  hasta  $130^\circ\text{F}$ , sustituyendo datos en la ecuación (1), se obtiene Q.

Datos:

Número de tanque: 13.

Volumen de la solución = 1688 litros

Temperatura de operación = 130°F

densidad = 1.220 Kg/l.

Masa de la solución en Kg = 2059.36

Tiempo de calentamiento = 4 h

Tiempo de residencia = 0.05 h

Masa de la solución en lb = 2059 Kg  $\times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = \underline{4531}$

$$Q = MC_p(T_2 - T_1)/t \quad (1)$$

$$Q = 4531 \text{ lb} (1 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}) (130 - 68) ^\circ\text{F} / 4 \text{ h} =$$

$$= \underline{70230.5 \text{ BTU}}$$

II.- Cálculo de la cantidad de calor que se pierde en la superficie del líquido por evaporación y radiación.

Area superficial del tanque de cromado.

$$A = 24.2 \text{ ft}^2$$

a) Fase de calentamiento.

De la tabla 6 , se obtiene el valor de las - pérdidas de calor de 130 BTU/ft<sup>2</sup>/h para una temperatura de 90°F, aplicando la ecuación (2) se obtiene Q:

$Q = \text{Area}(\text{pérdidas por radiación en las paredes})/t$

$$Q = 24.2 \text{ ft}^2(130 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/4 \text{ h} = \underline{787 \text{ BTU}}$$

b) Fase de operación.

De la tabla 6 , se obtiene el valor de las pérdidas de calor de  $615 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}$  para una temperatura de  $130^\circ\text{F}$ , de donde el cálculo de  $Q$  es el siguiente:

$$Q = 24.2 \text{ ft}^2(615 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/10 \text{ h} = \underline{1488.3 \text{ BTU}}$$

III. Cantidad de calor que se pierde por radiación a través de las paredes del tanque .(considerando aislamiento térmico de 1" de espesor).

Area de las paredes (áreas de radiación del tanque)

$$A = 103 \text{ ft}^2$$

a) Fase de calentamiento.

De la tabla 6 , se obtiene el valor de las pérdidas de calor de  $12 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}$ , para una temperatura de  $90^\circ\text{F}$  y un aislamiento de 1" de espesor, el valor de  $Q$  se obtiene aplicando la ecuación(2).

$$Q = 103 \text{ ft}^2(12 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/4 \text{ h} = \underline{309 \text{ BTU}}$$

b) Fase de operación.

De la tabla 6 , se obtiene el valor de las pérdidas de  $27 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}$ , para una temperatura de -

130°F, el valor de Q se calcula aplicando la ecuación (2).

$$Q = 103 \text{ ft}^2 (27 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 10 \text{ h} = \underline{278 \text{ BTU}}$$

IV.- Cantidad de calor que se extrae a causa del proceso.

Masa total que se introduce al tanque de cromado,

$$M_T = \underline{224.4 \text{ lb}}$$

Cantidad de energía requerida, se sustituyen datos ecuación (1).

$$Q = MC_p(T_2 - T_1) / t_r \quad (1)$$

$$Q = 224.4 \text{ lb} (1 \text{ BTU/lb}^{\circ\text{F}}) (130 - 68)^{\circ\text{F}} / 0.05 \text{ h} = \\ = \underline{278,256 \text{ BTU}}$$

V.- Para obtener la cantidad de calor necesario que debe suministrarse al tanque de cromado se suman los calores parciales de cada operación.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_T = 70230.5 \text{ BTU} + 787 \text{ BTU} + 1,486.3 \text{ BTU} + \\ 309 \text{ BTU} + 278 \text{ BTU} + 278,256 \text{ BTU} =$$

$$Q_T = \underline{35,140.3 \text{ BTU}}$$

Cálculo de Energía Requerida por el tanque de Cadmio electrolítico.

- I. Cantidad de calor necesario para llevar la solución de  $68^{\circ}\text{F}$  hasta una temperatura de  $104^{\circ}\text{F}$ .

Datos:

Número de tanque: 22

Volumen de la solución = 450 litros

Temperatura de operación =  $104^{\circ}\text{F}$

densidad de la solución = 1.201 Kg/l

Masa de la solución = 540 Kg

Tiempo de calentamiento = 4 h

Tiempo de residencia = 0.5 h

Masa de la solución en lb =  $540\text{Kg} \times \frac{2.2\text{ lb}}{1\text{ Kg}} = 1188$

Sustituyendo datos en la ecuación (1) se obtiene el valor de Q.

$$Q = MC_p(T_2 - T_1)/t \quad (1)$$

$$Q = 1188\text{lb}(1\text{ BTU/lb}^{\circ}\text{F})(104 - 68)^{\circ}\text{F}/4\text{h} = 10692\text{ BTU}$$

- II. Cálculo de la cantidad de calor que se pierde en la superficie del líquido por evaporación y radiación.

Area superficial del tanque de Cadmio.

Largo = 1.00 m

Ancho = 0.6 m

$$A = 1.00\text{m}(0.60 \text{ m}) = 0.60 \text{ m}^2$$

$$0.60 \text{ m}^2 \times \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} = \underline{6.46 \text{ ft}^2}$$

a) Fase de calentamiento.

De la tabla 6 , se obtiene el valor de las pérdidas de calor de 130 BTU/ft<sup>2</sup>/h para una temperatura de 90°F, aplicando la ecuación (2) se obtiene el valor de Q.

$$Q = A(\text{pérdidas por radiación en las paredes})/h$$

$$Q = 6.46 \text{ ft}^2(130 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/4 \text{ h} = \underline{210 \text{ BTU}}$$

b) Fase de operación.

De la tabla 6 , se obtiene el valor de las pérdidas de calor de 330 BTU/ft<sup>2</sup>/h, para una temperatura de 104°F, de donde el cálculo de Q es el siguiente.

$$Q = 6.46 \text{ ft}^2(330 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/10\text{h} = \underline{213.00 \text{ BTU}}$$

III.- Cantidad de calor que se pierde por radiación.

(se considera que el tanque posee aislante térmico de 1" de espesor).

Área de las paredes (área de radiación)

Datos:

$$\begin{aligned} \text{área de los costados} &= 2(1.00\text{m} \times 0.75\text{m}) = 2 \\ &= 1.5 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{área de los cabezales} = 2(0.75\text{m} \times 0.60\text{m}) =$$

$$\text{área de los cabezales} = 0.90 \text{ m}^2$$

$$\text{área del fondo} = 2 (1.00 \text{ m} \times 0.60 \text{ m}) = 1.2 \text{ m}^2$$

$$\text{área total} = 3.6 \text{ m}^2$$

$$\text{área total en ft}^2 = 3.6 \text{ m}^2 \times \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} = 39 \text{ ft}^2$$

a) Fase de Calentamiento.

El valor de Q se calcula con la ecuación (2), tomando las pérdidas de calor de la tabla 6, - siendo éste de 12 btu/ft<sup>2</sup>/h, para una temperatura de 90°F.

$$Q = 39 \text{ ft}^2 (12 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 4 \text{ h} = \underline{117} \text{ BTU}$$

b) Fase de operación.

De la tabla 6, el valor de las pérdidas de calor es de 19 BTU/ft<sup>2</sup>/h para una temperatura de 104°F, Q se calcula de acuerdo a la ecuación (2).

$$Q = 39 \text{ ft}^2 (19 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 10 \text{ h} = \underline{74} \text{ BTU}$$

IV. Cantidad de calor que se extrae a causa del proceso.

Masa total que se introduce al tanque de Cadmio.

$$M_T = 224.4 \text{ lb}$$

a) Cálculo de la cantidad de energía requerida. Se sustituyen datos en la ecuación (1).

$$Q = MC_p(T_2 - T_1)/t_r \quad (1)$$

$$Q = 224.41 \text{ lb} (1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}) (104 - 68)^\circ\text{F} / 0.5 \text{ h} =$$

$$= \underline{16,157} \text{ BTU}$$

V.- Para obtener la cantidad de calor necesario que debe suministrarse al tanque de cadmio, se suman los calores parciales de cada una de las operaciones.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_T = 10,692 \text{ BTU} + 210 \text{ BTU} + 213 \text{ BTU} + 117 \text{ BTU}$$

$$+ 74 \text{ BTU} + 16,157 \text{ BTU} = \underline{27,463} \text{ BTU}$$

Cálculo de Energía Requerida por el Tanque de zinc electrolítico.

I.- Cálculo de la cantidad de calor necesario para llevar la solución de  $68^\circ\text{F}$  hasta una temperatura de  $104^\circ\text{F}$ .

Datos:

Número de tanque: 25

Volumen de la solución = 450 litros.

Temperatura de operación =  $104^\circ\text{F}$

densidad de la solución = 1.199 Kg/l

Masa de la solución = 541 Kg

Tiempo de calentamiento = 4 h

$$Q = mC_p(T_2 - T_1)/t_r \quad (1)$$

$$Q = 224.4 \text{ lb} (1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}) (104 - 68)^\circ\text{F} / 0.5 \text{ h} =$$

$$= \underline{16,157 \text{ BTU}}$$

V.- Para obtener la cantidad de calor necesario que debe suministrarse al tanque de cadmio, se suman los calores parciales de cada una de las operaciones.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_T = 10,692 \text{ BTU} + 210 \text{ BTU} + 213 \text{ BTU} + 117 \text{ BTU}$$

$$+ 74 \text{ BTU} + 16,157 \text{ BTU} = \underline{27,463 \text{ BTU}}$$

Cálculo de Energía Requerida por el Tanque de zinc electrolítico.

I.- Cálculo de la cantidad de calor necesario para llevar la solución de  $68^\circ\text{F}$  hasta una temperatura de  $104^\circ\text{F}$ .

Datos:

Número de tanque: 25

Volumen de la solución = 450 litros.

Temperatura de operación =  $104^\circ\text{F}$

densidad de la solución = 1.199 Kg/l

Masa de la solución = 541 Kg

Tiempo de calentamiento = 4 h

tiempo de residencia = 0.06 h

$$\text{Masa de la solución en lb} = 54 \text{ Kg} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 1190$$

Sustituyendo datos en la ecuación (1) se obtiene:

$$Q = 1190 \text{ lb} (1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F})(104 - 68)^\circ\text{F}/4 \text{ h} = \\ = \underline{10,710 \text{ BTU}}$$

II.- Cálculo de la cantidad de calor que se pierde en la superficie del líquido por evaporación y radiación.

Area superficial del tanque de cadmiado.

$$A = 6.46 \text{ ft}^2$$

a) Fase de calentamiento.

De la tabla 6 , se obtiene el valor de las pérdidas de calor de  $130 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}$ , para una temperatura de  $90^\circ\text{F}$ , aplicando la ecuación (2), se obtiene el valor de Q.

$$Q = 6.46 \text{ ft}^2 (130 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/4 \text{ h} = \underline{210 \text{ BTU}}$$

b) Fase de Operación.

De la tabla 6 , se obtiene el valor de las pérdidas de calor de  $330 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}$ , para una temperatura de  $104^\circ\text{F}$ , de donde el cálculo de Q es el siguiente:

$$Q = 6.46 \text{ ft}^2 (330 \text{ BTU/ft}^2/\text{h})/10 \text{ h} = \underline{213 \text{ BTU}}$$

III.- Cantidad de calor que se pierde por radiación a través de las paredes, (se considera que el tanque posee aislante térmico de 1" de espesor).

Area de las paredes del tanque:

$$A = 39 \text{ ft}^2$$

a) Fase de calentamiento.

El valor de Q se calcula con la ecuación (2), tomando de la tabla 6, el valor de las pérdidas de calor de 12 BTU/ft<sup>2</sup>/h, para una temperatura de 90°F.

$$Q = 39 \text{ ft}^2 (12 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 4 \text{ h} = \underline{117} \text{ BTU}$$

b) Fase de operación.

De la tabla 6, el valor de las pérdidas de calor es de 19 BTU/ft<sup>2</sup>/h, para una temperatura de 104°F, Q se calcula de acuerdo a la ecuación (2).

$$Q = 39 \text{ ft}^2 (19 \text{ BTU/ft}^2/\text{h}) / 10 \text{ h} = \underline{74} \text{ BTU}$$

IV.- Cantidad de calor que se extrae a causa del proceso.

Masa total que se introduce al tanque de zincado.

$$M_T = 224 \text{ lb}$$

Cálculo de la cantidad de energía requerida, se sustituyen datos en la ecuación (2).

$$\begin{aligned}
 Q &= 224 \text{ lb } (1.0 \text{ BTU/lb}^{\circ}\text{F})(104 - 68)^{\circ}\text{F}/0.06\text{h} \\
 &= \underline{134,640 \text{ BTU}}
 \end{aligned}$$

V.- El calor necesario que deberá suministrarse a la tina de Zinc electrolítico, se obtiene de la suma de los calores parciales de cada una de las operaciones anteriores.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$\begin{aligned}
 Q_T &= 10,710 \text{ BTU} + 210 \text{ BTU} + 213 \text{ BTU} + 117 \text{ BTU} + \\
 &74 \text{ BTU} + 134,640 \text{ BTU} = \underline{145,964 \text{ BTU}}
 \end{aligned}$$

TABLA 6

## PERDIDAS DE CALOR EN TANQUES ABIERTOS

Pérdida del calor de la superficie, en BTU/sq.ft/hr

<u>Temperatura del líquido °F</u>	<u>Pérdidas por evaporación</u>	<u>Pérdidas por radiación</u>	<u>Pérdidas su- perficiales totales.</u>
90	80	50	130
100	160	70	230
110	240	90	330
120	360	110	470
130	480	135	615
140	660	160	820
150	860	180	1,040
160	1,100	210	1,310
170	1,380	235	1,615
180	1,740	260	2,000
190	2,160	290	2,450
200	2,680	320	3,000
210	3,240	360	3,590

(Tomado del Graham, K.A. Electroplating Engineering Handbook)

TABLA 6

## CONTINUACION

Pérdida de calor por las paredes en BTU/aq.ft/hr

Temperatura del líquido °F	Pared de Acero	Aislamiento 1" grueso	Aislamiento 2" grueso
90	50	12	6
100	70	15	8
110	90	19	10
120	110	23	12
130	135	27	14
140	160	31	16
150	180	34	18
160	210	38	21
170	235	42	23
180	260	46	25
190	290	50	27
200	320	53	29
210	360	57	31

Energía Total Requerida por el  
Laboratorio - Taller

N	Proceso	Energía requerida en BTU
1	Desengrase inmersión	416,611
3	Desengrase electrolítico	416,611
7	Cobrizado	300,323.4
9	Enjuague agua caliente	416,611
10	Niquelado	149,282.0
12	Enjuague agua caliente	416,611
13	Cromado	351,343
15	Enjuague agua caliente	416,611
16	Desengrase inmersión	333,594
18	Desengrase electrolítico	333,594
22	Cadmiado	27,463
24	Enjuague agua caliente	333,594
25	Zincado	145,964
27	Enjuague agua caliente	333,594
Subtotal		4,391,806.4
10% de pérdidas no cuantificadas.		439,180.64
Total		4,830,987.04 BTU

**CALDERA**

Se requiere de una caldera que proporcione vapor de 15 libras cuadrada manométricas y 4,830,987.04 BTU.

Siendo un Hp de caldera igual a 33,480 BTU/h, la caldera necesaria debe tener:

$$\text{HP} = \frac{4,830,987.04}{33,480} = \underline{144.3 \text{ HP}}$$

Lo cual indica que dando un margen razonable, una caldera de 150 HP, es la indicada.

**SERPENTINES**

Serpentines de calefacción para las tinas de proceso.

Las tinas que requieren de calefacción son las siguientes:

N	Proceso	Temperatura
1,16	Desengrase inmersión	180 °F
3,18	Desengrase electrolítico	180 °F
7	Cobrizado	122 °F
9,12,15,24,27	Enjuague agua caliente	180 °F
10	Niquelado	140 °F
13	Cromado	130 °F
22	Cadmado	104 °F
25	Zincado	104 °F

De acuerdo a la gráfica No. 1 (tomada del Graham Electroplating Engineering Handbook), que se encuentra trazada utilizando como base un coeficiente total de transmisión de calor de  $135 \text{ BTU/ft}^2, \text{g}, ^\circ\text{F}$ .

En la gráfica mencionada para una presión de vapor corresponde una longitud de tubo de hierro o acero de 1" de diámetro y con esa longitud de tubo es posible transmitir 100,000 BTU/h de calor.

Con el dato que se obtiene de la gráfica, la longitud total del serpentín se calculará como sigue:

$$L = \frac{Q}{100,000} L'$$

Donde:

L = longitud total en ft.

L' = longitud para transmitir 100,000 BTU/h con un tubo de 1 in de diámetro.

Cálculo de serpentines para las tinas de ejuague agua caliente y desengrase, estos serpentines serán de acero.

Según la tabla 7, trabajando con vapor de 50 psig y tubo de 1" diámetro, la longitud del serpentín necesario será:

Serpentín para la tina de desengrase (tina grande)

$$L = \frac{416,611 \text{ btu}}{100,000 \text{ Btu}} \times 18 \text{ ft} = 75 \text{ ft} = \underline{23 \text{ m}}$$

Serpentín para la tina de desengrase (tina chica)

$$L = \frac{333,594 \text{ BTU}}{100,000 \text{ BTU}} \times 18 \text{ ft} = 50 \text{ ft} = \underline{15 \text{ m}}$$

Calculo de Serpentina para los baños de Cobre, Cadmio y Zinc.

Estos serpentines al igual que el caso de enjuagues de agua caliente y desengrase serán de acero por encontrarse en medio alcalino.

Serpentín de cobre,

Trabajando con vapor de 15 lb/in<sup>2</sup> man. y tubo de acero de 1" de diámetro.

$$L = \frac{300,323 \text{ BTU}}{100,000 \text{ BTU}} \times 18 \text{ ft} = 54 \text{ ft} = \underline{16.5 \text{ m}}$$

Serpentín de Cadmio.

$$L = \frac{27,463 \text{ BTU}}{100,000 \text{ BTU}} \times 18 \text{ ft} = 5.91 \text{ ft} = \underline{1.5 \text{ m}}$$

Serpentín de Zinc.

$$L = \frac{145,964 \text{ BTU}}{100,000 \text{ BTU}} \times 18 \text{ ft} = 27.23 \text{ ft} = \underline{8.3 \text{ m}}$$

Calculo de Serpentina para las tinas de Niquel, Cromo,

En este caso las soluciones que se van a calentar son ácidas por lo cual el fierro o acero quedan excluidos para estos .

serpentines, por lo que se utiliza titanio. La gráfica 1, - que se ha estado utilizando para el calculo de los serpenti- nes anteriores se basa en un coeficiente total de transmi- ción de calor de  $135 \text{ BTU/h,ft}^{20}\text{F}$  y aunque esta calculada pa- ra tubo de acero, puede ser usada indistintamente para cual- quier metal ya que la conductividad de la pared metálica, - tiene un efecto muy pequeño sobre dicho coeficiente.

Serpentín baño de Niquel.

$$L = \frac{149,282 \text{ BTU}}{100,000 \text{ BTU}} \times 18 \text{ ft} = 27 \text{ ft} = \underline{8.23 \text{ m}}$$

Serpentín baño de Cromo

$$L = \frac{351,343 \text{ BTU}}{100,000 \text{ BTU}} \times 18 \text{ ft} = 63 \text{ ft} = \underline{19 \text{ m}}$$

#### DISTRIBUCION DE LOS SERPENTINES

A fin de que el calentamiento sea más uniforme la longi- tud total del serpentín se distribuirá en dos partes, acomoda- das a lo largo de la tina como dos serpentines independien- dientes.

Las dimensiones de cada serpentín se muestran en la ta- bla 8, los valores de las literales se calcularón a partir de las siguientes ecuaciones:  $r = 0.15$  para todo serpentín.

$$\begin{aligned} \text{(Tina grande)} \quad a + r + c &= 2.5 \text{ m} \\ 2a + 2b + 3\pi r &= L \\ 2c + b + 2r &= 2.5\text{m} \end{aligned}$$

(Tina Chica)  $a + r + c = 1 \text{ m}$

Serpentín 4 pasos  $2a + 2b + 3r = L$

$$2c + b + 2r = 1 \text{ m}$$

Serpentín 6 pasos:

(tina Grande)  $a + r + c = 2.5 \text{ m}$

$$2a + 4b + 5r = L$$

$$2c + b + 2r = 2.5 \text{ m}$$

Serpentín 8 pasos

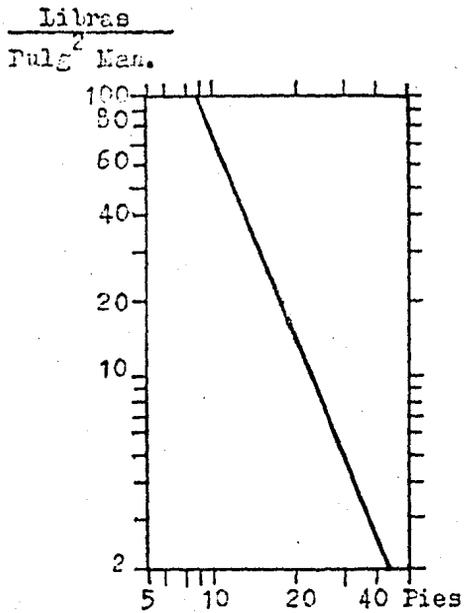
(tina Chica)  $a + r + c = 1 \text{ m}$

$$2a + 6b + 7r = L$$

$$2c + b + 2r = 1 \text{ m}$$

El valor de cada literal se encuentra en la Tabla 8.

Gráfica 1



Longitud de tubo de una pulgada de diámetro necesaria para transmitir 100,000 BTU/h, según la presión de vapor.

TABLA 8

## DISTRIBUCION DE LOS SERPENTINES

N	N <sub>s</sub>	N <sub>p</sub>	L <sub>t</sub> m	L m	r m	a m	b m	c m	s m
1	2	6	23	11.5	0.15	1.91	1.33	0.44	0.39
3	2	6	23	11.5	0.15	1.91	1.33	0.44	0.39
7	2	6	16.5	8.3	0.15	1.59	0.69	0.76	0.39
9	2	6	23	11.5	0.15	1.91	1.33	0.44	0.39
10	1	6	8.3	8.3	0.15	1.59	0.69	0.76	0.39
12	2	6	23	11.5	0.15	1.91	1.33	0.44	0.39
13	2	6	19	9.5	0.15	1.72	0.93	0.64	0.39
15	2	6	23	11.5	0.15	1.91	1.33	0.44	0.39
15	2	6	15	7.5	0.15	0.74	0.49	0.10	0.39
18	2	6	15	7.5	0.15	0.74	0.49	0.10	0.39
22	1	2	1.5	1.5	0.15	0.68	-	0.18	0.39
24	2	6	15	7.5	0.15	0.74	0.49	0.10	0.39
25	2	4	8.3	4	0.15	0.42	0.13	0.37	0.39
27	2	6	15	7.5	0.15	0.74	0.49	0.10	0.39

N = número de tanque.

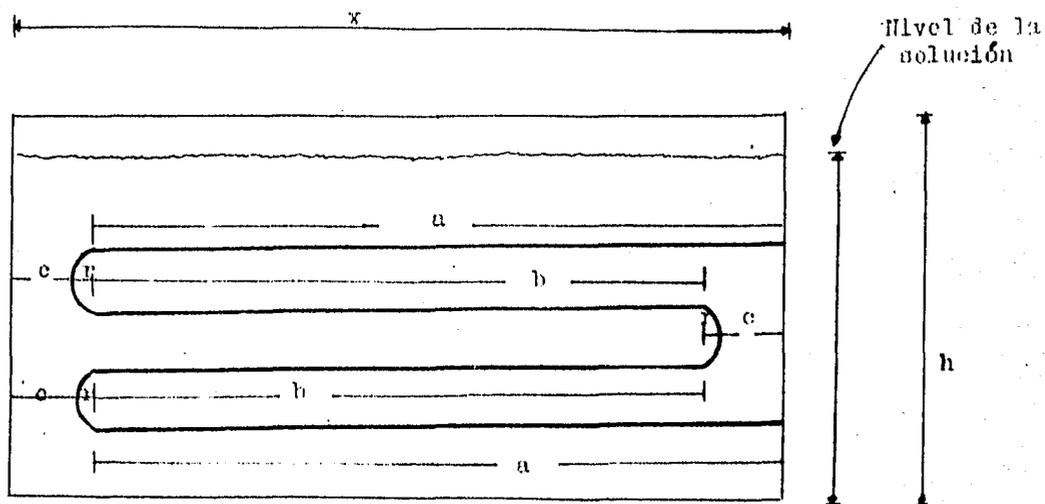
N<sub>s</sub> = número de serpentines en cada línea.

N<sub>p</sub> = número de pasos en cada serpentín.

L<sub>t</sub> = longitud total de los serpentines en cada tina.

L = longitud de cada serpentín.

a, b, c, r, tienen el significado representado en la figura 8.



a, b, c y r, para ca serpentina, se muestran en la tabla

$h$  = altura de la tina                       $x$  = ancho

ESQUEMA DE UN SERPENTIN

Figura 8

## INSTALACIONES ELECTRICAS

### Rectificadores.

El rectificador es el aparato eléctrico de mayor importancia en los recubrimientos electrolíticos, ya que es este el que proporcionará la corriente eléctrica directa necesaria para el proceso. Su capacidad debe ser tal, que permita realizar los recubrimientos con la velocidad establecida.

### Cálculo de la Capacidad de los Rectificadores.

Para calcular la capacidad de los rectificadores que se requieren para los baños electrolíticos, es necesario conocer la densidad de corriente en cada baño y el área por recubrir, se debe seleccionar el área mayor, ya que es ésta la que representará la mayor demanda de energía.

Baño	Área por baño	Densidad máx. de corriente	Corriente necesaria	Tensión máxima
Desengrase	160 dm <sup>2</sup>	10 Amp/dm <sup>2</sup>	1,600 Amp	9 V
Cobre	160 dm <sup>2</sup>	7 Amp/dm <sup>2</sup>	1,120 Amp	9 V
Niquel	160 dm <sup>2</sup>	5 Amp/dm <sup>2</sup>	800 Amp	9 V
Cromo	160 dm <sup>2</sup>	20 Amp/dm <sup>2</sup>	3,200 Amp	9 V

Baño	Area por baño	Densidad máx. de corriente	Corriente necesaria	Tensión máxima
Cadmio	160 dm <sup>2</sup>	5 Amp/dm <sup>2</sup>	800 Amp	6 V
Zinc	160 dm <sup>2</sup>	9 Amp/dm <sup>2</sup>	1,440 Amp	9 V

Los rectificadores necesarios serán los siguientes:

- 1 Rectificador trifásico de silicio            3500 Amp 9 V
- 3 Rectificadores trifásicos de Silicio de 1550 Amp 9 V
- 2 Rectificadores trifásicos de silicio de 1000 Amp 9 V

Barras Conductoras.

Para conducir la corriente eléctrica de un rectificador a su respectivo tanque se utilizarán barras conductoras de cobre.

Por cada 1000 Amp/in<sup>2</sup>, la corriente es libremente conducida, por lo que dividiendo los amperes necesarios entre este valor se obtiene el área de la sección necesaria.

TINA PARA DESENGRASE

En esta línea se tendrán que conducir 1,600 Amp para - lo cual el diámetro de la barra será:

$$\text{Area seccional} = \frac{1,600 \text{ Amp}}{1,000 \text{ Amp/in}^2} = 1.6 \text{ in}^2$$

$$A = 0.785 d^2$$

$$d = \left( \frac{A}{0.785} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.88 \text{ in}$$

El diámetro de la barra será de 1 in ,de cobre.

#### TINA PARA COBRIZADO

En esta línea se tendrán que conducir 1,120 Amp, por lo que para el cálculo del diámetro de la barra conductora es el siguiente:

$$\text{Area seccional} = \frac{1,120 \text{ Amp}}{1,000 \text{ Amp/in}^2} = 1.12 \text{ in}^2$$

$$A = 0.785 d^2 \quad d = 1 \text{ in}$$

El diámetro de la barra será de 1 in de cobre.

#### TINA PARA NIQUEL

Esta línea conducirá 800 Amp, para lo cual el diámetro de la barra conductora será:

$$\text{Area seccional} = \frac{800 \text{ Amp}}{1,000 \text{ Amp/in}^2} = .8 \text{ in}^2$$

$$A = 0.785 d^2 \quad d = 1 \text{ in}$$

El diámetro de la barra será de 1 in de cobre.

### TINA DE CROMO

En esta línea se conducirán 3,200 Amp, por lo que el diámetro de la barra conductora será:

$$\text{Area seccional} = \frac{3,200 \text{ Amp}}{1,000 \text{ Amp/in}^2} = 3.2 \text{ in}^2$$

$$A = 0.785 d^2 \qquad d = 2 \text{ in}$$

El diámetro de la barra conductora será de 2 in de cobre.

### TINA PARA CADMIO

En esta línea se conducirán igual número de amperes - que en el caso de la tina para níquel 800 Amp, por lo cual el diámetro de la barra conductora será de 1 in.

### TINA PARA ZINC.

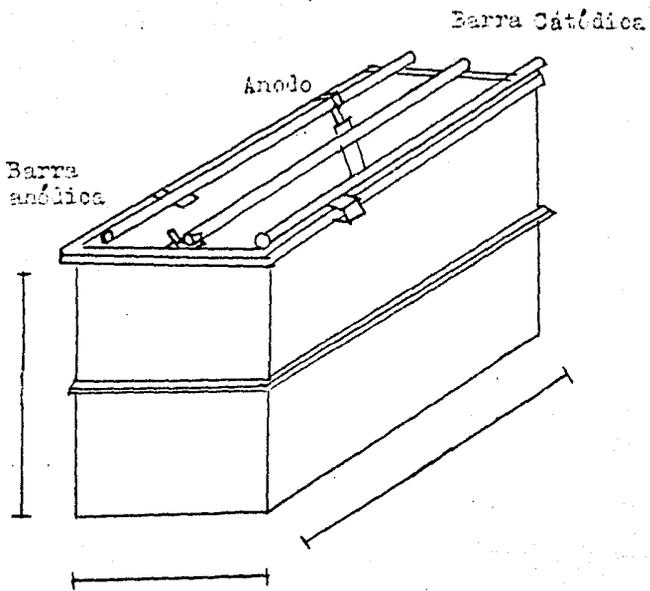
En esta línea se conducirán 1,440 Amp, para lo cual el diámetro de la barra conductora de cobre es el siguiente:

$$\text{Area Seccional} = \frac{1,440 \text{ Amp}}{1,000 \text{ Amp/in}^2} = 1.44 \text{ in}^2$$

$$A = 0.785 d^2 \qquad d = 1.35 \text{ in}$$

El diámetro de la barra es de 1 ½ in.

En la figura No. 9, se ilustra la colocación de las barras conductoras en las tinas de proceso.



Colocación de las barras en las tinas  
de proceso

Figura 9

## EQUIPO AUXILIAR.

### AGITACION

La agitación de las soluciones electrolíticas se realiza con la finalidad de obtener uniformidad en la composición y permitir el uso de densidades altas de corriente que en esta forma se hacen posibles.

Esta agitación se logra por medio de aire comprimido, proporcionado a la solución electrolítica mediante tubos de plomo, PVC, perforados y colocados de preferencia entre los ánodos y los cátodos para obtener el mayor grado de agitación.

La agitación en el niquelado es indispensable para evitar manchas o sombras en las piezas ,que se recubren.

### VENTILACION

La ventilación en el Laboratorio - Taller de recubrimientos electrolíticos, es de suma importancia, por el desprendimiento de sustancias tóxicas de las tinajas de proceso.

El tipo de ventilación que se utiliza es la ventilación general que se lleva a cabo con extractores de aire de tipo centrífugo, fabricado en acero recubierto de polyester y fibra de vidrio con aspas de plástico o de algún material resistente a la corrosión por ácidos.

**CAPITULO 8**

**ANALISIS ECONOMICO**

## ANALISIS ECONOMICO

De acuerdo a las características del Laboratorio-Taller, no será posible hacer una evaluación económica completa, debido a la diversidad de materiales y tipos de acabado que se pueden procesar y obtener dentro del Laboratorio-Taller.

Los resultados de la evaluación económica no son del todo exactos, pero proporcionarán un criterio para evaluar el costo de procesado por unidad de superficie.

En este análisis no se tomarán en cuenta gastos de administración, ventas, financieras, ya que para estos gastos no se cuentan con los datos suficientes.

La evaluación económica tomará en cuenta los siguientes puntos:

- 1.- Costo del Equipo.
- 2.- Gastos directos por concepto de materiales de consumo.
- 3.- Gastos indirectos por los siguientes conceptos.
  - a) Energía eléctrica.
  - b) Combustible.
  - c) Consumo de agua.

## COSTO DEL EQUIPO

1.- 9 tinas (cap. 2025 l s/r)	\$ 1,350,000.00
2.- 7 tinas (cap. 2025 l c/r)	\$ 1,295,000.00
3.- 9 tinas (cap. 540 l s/r)	\$ 450,000.00
4.- 4 tinas (cap. 540 l c/r)	\$ 300,000.00
5.- Filtro baño de níquel	\$ 160,000.00
6.- Rectificadores	\$ 2,040,000.00
7.- 2 sistemas de transportación	\$ 140,000.00
8.- turbo compresor rotativo	\$ 800,000.00
9.- 2 extractores de aire	\$ 60,000.00
10.- Caldera (Clayton 150 H.P.)	\$ 6,380,000.00
11.- 4 pulidoras	\$ 458,056.00
12.- Serpentes	300,000.00
Costo Total del equipo	\$ 13,733,056.00

\* s/r sin recubrimiento

\* c/r con recubrimiento

GASTOS DIRECTOS POR CONCEPTO DE MATERIALES  
DE CONSUMO

De los materiales de consumo se tienen en primer lugar los ánodos, cuyo consumo es directamente proporcional al gasto de energía eléctrica en los baños, la cual puede calcularse de la siguiente manera.

**ANODO DE COBRE**

Superficie catódica promedio	160	dm <sup>2</sup>
Densidad de corriente	6.5	Amp/dm <sup>2</sup>
Consumo de corriente durante 10 h	10,400	Amp/h
Equivalente electroquímico de Cu <sup>+1</sup>	2.371	g/Amp-h
Rendimiento electrolítico	60 %	
Consumo de cobre anual (250 días)	3,699	kg
Precio del ánodo de cobre (por kg)	374.50	/kg
Gasto anual	<u>1,385,186.00</u>	

**ANODO DE NIQUEL**

Superficie catódica promedio	160	dm <sup>2</sup>
Densidad de corriente	5	Amp/dm <sup>2</sup>
Consumo de corriente durante 10 h	8,000	Amp/h
Equivalente electroquímico de Ni	1.095	g/Amp-h
Rendimiento electrolítico	85 %	
Consumo anual de niquel (250 días)	1,862	Kg
Precio del ánodo de Ni (por Kg)	455	/Kg
Gasto anual	<u>846,983.00</u>	

## ANODO DE CROMO

Superficie catódica promedio	160	dm <sup>2</sup>
Densidad de corriente	20	Amp/dm <sup>2</sup>
Consumo de corriente durante 10 h	32,000	Amp/h
Equivalente Electroquímico Cr	0.3233	g/Amp-h
Rendimiento electrolítico	11%	
Consumo de cromo anual (250 días)	284.53	Kg
Precio del ánodo de cromo (Kg)	550.00	/Kg
Gasto anual	<u>156477.20</u>	

## ANODO DE CADMIO

Superficie catódica promedio	160	dm <sup>2</sup>
Densidad de corriente	2	Amp/dm <sup>2</sup>
Consumo de corriente durante 10 h	3,200	Amp/h
Equivalente electroquímico Cd	0.64	g/Amp-h
Rendimiento electrolítico	90%	
Consumo de Cadmio anual (250 días)	465.84	Kg
Precio del ánodo de cadmio (kg)	455.00	/kg
Gasto anual	<u>211,957.20</u>	

## ANODO DE ZINC

Superficie catódica promedio	160	dm <sup>2</sup>
Densidad de corriente	10	Amp/dm <sup>2</sup>
consumo de corriente durante 10 h	16,000	Amp/h
Equivalente electroquímico Zn	1.219	g/Amp-h

Rendimiento electrolítico	60%	
Consumo de Zinc anual (250 días)	2925.6	Kg
Precio del ánodo de Zn (Kg)	200.00	/Kg
Gasto anual	<u>585,120.00</u>	

La evaluación en lo que se refiere al gasto de soluciones de limpieza, decapado, activado y adiciones a los baños electrolíticos, resulta complicada mediante cálculo directo, por lo que dichos gastos se estiman de acuerdo a experiencias en plantas similares en tamaño dentro del ramo electrolítico.

Reactivo	Cantidad	Precio por Kg	Total
Sulfato de Niquel	1000 Kg	29	29,000.00
Ácido sulfúrico	9000 Kg	32.00	288,000.00
Sosa Cáustica	4000 Kg	8.00	32,000.00
Cloruro de niquel	3000 Kg	25.00	75,000.00
Cianuro de sodio	1500 Kg	488.75	773,125.00
Sal de Rochelle	200 Kg	1,449.00	289,800.00
Cianuro de cobre	700 Kg	1,150.00	805,000.00
Acido Bórico	2000 Kg	6.00	12,000.00
Oxido de Cadmio	1000 Kg	739.60	739,565.00
Dextrina amarilla	200 Kg	5.00	1,000.00
Anodos de Cobre	3699 Kg	374.50	1,385,186.00
Anodo de Niquel	1862 Kg	455.00	846,963.00
Anodo de Cromo	285 Kg	550.00	156,477.20

Reactivo	Cantidad	Precio por Kg	Total
Anodo de Cadmio	466 kg	455.00	211,957.20
Anodo de Zinc	2,925.Kg	200.00	585,120.00
T O T A L -----			<u><u>6,212,213.00</u></u>

## GASTOS INDIRECTOS

## a) Energía Eléctrica

EQUIPO	Kw/h	Kw-horas anuales
Rectificadores	20	160,000
Motor 5 H.P. (caldera)	3.73.	2,984
Motor 1 H.p. (filtro Ni)	.746	1,492
Motor 1 H.P. (compresor aire)	.746	1,492
Motor 1 H.P. (sistema trans portador)	.746	1,492
Motor ½ H.P. (2 extracto teres)	.746	1,492
Motor ½ H.P. (Bombas en- juagues, 2)	.746	1,492
Alumbrado y Servicios	3.0	6,000

T O T A L Kw-h anuales 176,444.00

Gasto por concepto de energía eléctrica a \$ 3.00 el Kw-h.

176,444 x 3 = 529,332.00 pesos anuales

## b) Combustible

Cantidad de calor necesario en una jornada de trabajo - (10h).

Total de BTU necesarios por día = 4,830,987.00

Como combustible se utilizará Diesel con un poder calorífico de 19460 BTU/lb, una densidad de 31°API, de tal manera que suponiendo una eficiencia de caldera del 65%, - la cantidad de Diesel que necesitamos será:

$$\frac{4,830,987.00 \text{ BTU}}{19460 \text{ BTU/lb} \times 0.65} = 382 \text{ lb de Diesel}$$

382 lb = 173 kg diarios.

A 31°API, corresponde un peso específico de 0.8708.

$$\text{Volumen necesario de Diesel} = \frac{173 \text{ Kg}}{0.8708} = 199 \text{ litros}$$

Costo anual por concepto de combustible a \$20.00 litro.

$$199 \text{ litros} \times 250 \text{ días} \times 20 = \underline{996,801.00 \text{ pesos}}$$

## c) Agua

Los requerimientos de agua quedan reducidos a la alimentación de la caldera, ejuagues en frío ya que las adiciones a las soluciones y alimentación de enjuagues calientes se harán mediante la recuperación de los condensados de la caldera.

La caldera producirá 4,830,987.00 BTU/día a una presión de 15 psig la entalpía de vapor saturado es de 945 BTU/lb, por lo tanto la cantidad de agua para alimentar dicha caldera, será:

$$\frac{4,830,987.00 \text{ BTU/día}}{945} = 5112 \text{ lb} = 2.35 \text{ m}^3$$

El volumen total de los enjuagues es de	12	m <sup>3</sup>
Volumen total de enjuagues diarios	24	m <sup>3</sup>
Consumo de agua anual	6588	m <sup>3</sup>
Precio del agua por m <sup>3</sup> en el D.F.	\$24.00	
Costo anual por concepto de agua	<u>\$ 158,112.00</u>	

El costo del equipo se reduciría notablemente, si buena parte de éste se construye dentro de la Universidad.

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

- El proyecto desarrollado, motivo de esta tesis es un proyecto implementable en el marco de los recursos tanto materiales como humanos con que cuenta la Universidad.
  
- Es probable que, como se desprende del párrafo anterior, buena parte del equipo pueda construirse dentro de la Universidad, tomando en cuenta el doble propósito de ésta. Servir a la docencia y a la producción limitada de los requerimientos de la Universidad.
  
- El costo de operación y mantenimiento, estaría plenamente justificado por sus propósitos y plenamente compensado por los servicios proporcionados a industriales del ramo que lo soliciten.
  
- Finalmente permitiría indudablemente el desarrollo, el mejoramiento y la adaptación si es necesario, de las tecnologías empleadas.

## BIBLIOGRAFIA

- Chemical Engineers Handbook  
Robert M. Perry, Cecil H. Chilton  
Mc Graw Hill Book Company, Inc.  
Third edition.
- Electroplating Engineering Handbook  
A. Kenneth Graham.  
Rinhold Publishing Corporation  
New York (1955)
- Galvanotecnia y Galvanoplastia.  
William Blum, George B. Hogaboom.  
Cia. Editorial Continental, S.A.  
3a. edición, México (1982).
- Higiene, Patología y Prevención en los  
Tratamientos industriales de superficie.  
Ediciones Cedel.  
Barcelona, España (1976)
- Metal Finishing, Guidebook and Directory  
West, N.J.  
Metals and Plastic Publications, Inc. (1973)
- Instalaciones Galvatécnicas  
Descripción, montaje y utilización.

Elrico Giudici  
Editorial Rede 1964  
Barcelona, España.

CATALOGOS

- Clayton Boilers  
Edición especial para Hannover '83,  
República Federal Alemania  
México, D.F.
  
- Equipo para Galvanoplastia y pulido  
Catálogo General,  
Galvanolyte, S.A.  
México (1983)
  
- ElectroDEX, S.A.  
Catálogo General.  
México (1983)