

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA PARA  
DEPOSITAR NIQUEL SIN CORRIENTE

164

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A

VICTOR MANUEL KURI GONZALEZ

MEXICO, D. F.

1974



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.

CLAS. Tesis  
ADQ. 1974 155  
FECHA  
PROC. Met-100 1800



QUININGA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

VICTOR, RAUL Y OMAR

A MI TIO JOAQUIN

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	PROF.:	ENRIQUE VILLAREAL DOMINGUEZ
VOCAL	"	MANUEL FELIPE GUERRERO FDEZ.
SECRETARIO	"	JORGE MENCARINI PENICHE
1er. SUPLENTE	"	ENRIQUE JIMENEZ RUIZ
2do. SUPLENTE	"	DAVID NOE FIGUEROA TAGLE

Sitio donde se desarrolló el tema: BIBLIOTECAS

Sustentante: VICTOR MANUEL KURI GONZALEZ

ASESOR DEL TEMA: Ing. JORGE MENCARINI PENICHE

SUPERVISOR TECNICO: Ing. MANUEL FELIPE GUERRERO FDEZ.

## GENERALIDADES

Hace ya un siglo que el níquel comenzó a usarse en recubrimientos de metales, siendo en el año de 1870, cuando se instalaron las primeras plantas comerciales en Francia, Inglaterra y en los Estados Unidos en Boston y Nueva York. Estos recubrimientos, con pocas excepciones fueron usados con fines decorativos para mejorar la apariencia del producto elevando así su valor de venta; actualmente se sigue usando con el mismo propósito y además se usa para darle al material base una resistencia permanente a influencias destructivas debidas al desgaste, descomposición electrolítica y contacto con la intemperie y atmósferas corrosivas.

Sin embargo, no fué sino hasta el año de 1916 con el tipo de baño propuesto por Watts, cuando el níquel tomó gran importancia en el campo industrial como metal de recubrimiento. -

El empleo tan extenso de este metal es debido a que tiene un conjunto de propiedades físicas y químicas que lo hacen deseable - en varios recubrimientos, entre estas propiedades son de mencionarse su dureza, maleabilidad, ductibilidad, resistencia a la corrosión y resistencia a los álcalis. Puesto que el níquel apenas es atacado por los ácidos de frutas, por los jugos de productos leguminosos, por los compuestos cárnicos o lácteos y teniendo en cuenta que sus sales no son tóxicas, tanto el metal como los objetos recubiertos con él se emplean en gran escala en la industria alimenticia.

La principal limitación con que se encuentra el níquel - como metal de recubrimiento, reside en su carácter electropositivo con respecto al hierro en la mayoría de los medios ambientes, por lo cual si se quiere lograr una protección satisfactoria del metal base existe la necesidad de que los recubrimientos con níquel a este metal deben ser exentos de poros, lo cual se logra en la mayoría de los métodos usados para niquelar.

Existen diferentes procesos para depositar níquel, el más usado es el método electrolítico, el cual es bien conocido y consiste en hacer pasar una corriente directa a través de una solución que contenga una sal de níquel, el ánodo es de níquel-puro y actúa como cátodo el objeto que se desea niquelar. La calidad de este depósito depende entre otras variables de la densidad de corriente, la temperatura del baño, el pH, las condiciones de la superficie por recubrirse, etc.

Debido a que existen materiales que no son conductores de la electricidad, como la cerámica, vidrio, plásticos, madera, etc. se han ideado otros métodos para niquelar sin utilización de corriente eléctrica. Entre los procesos que no utilizan electricidad podemos mencionar: evaporación, proyección del metal y depósitos por inmersión, procesos que analizaremos más adelante.

## METODOS PARA NIQUELAR SIN ELECTRICIDAD

## ✓ 1.- EVAPORACION METALICA AL VACIO.

La producción de recubrimientos por la condensación de vapores de metal fundido, es aplicable a superficies tanto conductoras como no conductoras. El níquel en este proceso es evaporado por contacto del metal con un filamento de tungsteno o platino, el cual es calentado eléctricamente. Es necesario en este proceso emplear presiones del orden de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  mm. de mercurio, las cuales deben ser mantenidas durante la operación, la temperatura también habrá que mantenerla entre ciertos límites.

Los depósitos obtenidos por este proceso, son bastante rápidos, muy brillantes, además de que es posible tener un control muy estricto sobre el espesor de la película. Este proceso es muy empleado en la metalización de plásticos.

La principal desventaja de este método es que tanto el equipo como su mantenimiento, son bastante costosos.

## ✓ 2.- PROYECCION DEL METAL.

El atomizado de metales fundidos es un proceso muy importante dentro de la industria, ya que cualquier metal que pueda obtenerse en forma de alambre se puede aplicar por este método. Para depositar el metal se usa una "pistola atomizadora", a la cual se alimenta el alambre de níquel que se va fundiendo a cierta velocidad por una flama de oxi-acetileno, que para fundir al níquel alcanza una temperatura de  $1454^{\circ}\text{C}$ , una vez fundido el me-

tal es soplado contra la superficie que se quiere recubrir. Este proceso se ha usado con muy buenos resultados principalmente para el relleno de piezas desgastadas, ya que el cambio de las propiedades físicas del metal aplicado dan como resultado un aumento de porosidad y una disminución correspondiente a la tensión del metal, lo cual es deseado.

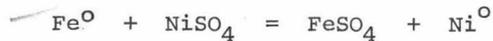
### 3.- DEPOSITO POR INMERSION.

Existen <sup>son los</sup> dos métodos importantes para depositar níquel por procedimientos puramente químicos, uno de ellos es el método de desplazamiento, el cual se emplea extensamente en la aplicación de recubrimientos base de níquel sobre acero esmaltado de porcelana. El otro método se basa en una técnica "no-eléctrica" en la que el recubrimiento se obtiene por la reducción de una sal de níquel en la superficie por recubrir.

#### a-) Método de desplazamiento.

Este método consiste en la inmersión del artículo que se desea níquelar en un baño que contenga una sal de níquel, la cual puede ser sulfato o cloruro, la solución se lleva a una temperatura de 70°C que se tiene que mantener durante la deposición. En este tipo de recubrimiento, algo del metal base es disuelto en la solución y una cantidad equivalente del ion del metal con el que se quiere recubrir es depositada en la superficie del metal base.

Por ejemplo, si una pieza de hierro es sumergida en una solución de sulfato de níquel, algo de hierro del metal base pasa a formar parte de la disolución y una cantidad equivalente de iones níquel será depositada en la superficie del objeto de hierro, según la siguiente reacción:



En este método el espesor del recubrimiento queda limitado ya que el metal por recubrir toma parte activa en la reacción por lo cual cuando toda la superficie ha quedado recubierta la reacción termina y por lo tanto la deposición. En la práctica, las películas de metal depositadas por este método son menores a 0.00127 mm.

b-) Método de reducción química (electroless).

Este método consiste en la inmersión del objeto que se desea recubrir, en una solución que contenga una sal de níquel y un agente reductor, la reacción que se verifica para que el níquel sea depositado es una reacción catalítica y el catalizador es precisamente el objeto por níquelar. Una vez que se va depositando el níquel sobre el objeto, la reacción se vuelve autocatalítica por lo que se pueden obtener depósitos de mayor grosor que empleando el método anterior.

Un gran número de materiales son catalíticos para la reacción y otros que no lo son pueden hacerse catalíticos por inmersión de ellos en un baño de una solución que contenga una sal de

metal noble, generalmente se usa para tal fin cloruro de paladio. Entre los materiales que pueden hacerse catalíticos, pueden incluirse madera, vidrio, porcelana, plásticos, etc. El principio que emplea este método es que el agente reductor es oxidado con la consecuente reducción de los iones de níquel a níquel metálico que se deposita sobre el catalizador según la reacción siguiente:



En esta reacción se usa como agente reductor hipofosfito de sodio y la sal de níquel empleada es el cloruro de níquel.

Las principales ventajas que se obtienen en la utilización de este método son: buena adhesión del recubrimiento al producto, una capa uniforme, continua y muy fuerte.

En todos los métodos anteriores al igual que en todos los procesos utilizados para la deposición de metales es indispensable la limpieza y el acondicionamiento del objeto base, si se desea un buen recubrimiento, de lo cual nos ocuparemos más adelante.

Después de haber analizado someramente los diferentes procesos que son utilizados para la deposición del níquel nos encontramos que el proceso mas general es el de reducción química (electroless), ya que abarca gran cantidad de materiales además de presentar las ventajas antes citadas. Por esto, para el desarrollo de este trabajo se tratará únicamente este proceso.

## DESCRIPCION DEL PROCESO

Historia del método.

Wurtz fué el primero en descubrir la reacción del níquel en el año de 1844. Posteriormente esta reacción fué estudiada con mayor amplitud por algunos investigadores. En el año de 1916 Roux recibió la patente de los Estados Unidos número 120,72,18- en la cual describía un método para deposición de recubrimiento con níquel sobre sustratos sólidos obtenidos de una solución -- amoniacal caliente de citrato de níquel - hipofosfito de sodio. El trabajo mencionado solamente consistía en la reducción espontánea del níquel.

En el año de 1946, basados en un descubrimiento accidental hecho en 1944, Brenner y Riddell del "National Bureau of -- Standars" publicaron un documento, éste consistía en la descripción de las condiciones apropiadas para obtener una deposición-selectiva de aleaciones de níquel y cobalto fosforado sobre -- acero desde un baño alcalino. Este método fué investigado posteriormente y mejorado (usando soluciones ácidas que son las mas convenientes) para el níquelado de cierto número de metales. Se le dió el nombre de recubrimiento "sin electricidad" (electro--lees) por estos autores, posteriormente se expidieron las patentes públicas U.S. números 2,532,283 y 2,532,284 a Brenner y Riddell.

Los métodos sugeridos en las patentes anteriores conta-

ban con las siguientes ventajas: no requieren energía eléctrica los depósitos tienen películas uniformes y exentas de poros, -- tienen alta resistencia a la corrosión y los depósitos son bastante fuertes. Entre las desventajas se pueden citar; que el -- proceso es costoso, el depósito es quebradizo, la velocidad de deposición era baja (0.015 mm/h), eran requeridas altas temperaturas y la vida del baño era demasiado corta. Por lo anterior -- estos procesos no eran suficientes para ser autorizados desde-- el punto de vista comercial, no obstante, en base a los descu-- brimientos que hicieron Brenner y Riddell el proceso ha sido -- desarrollado por varias firmas comerciales y la aceptación del método es mostrada por el gran número de patentes y artículos -- que cubren las mejoras.

#### DESCRIPCION DETALLADA DEL METODO

✓ Como se afirmó anteriormente, el níquel puede ser depositado en algunos metales por la simple inmersión del metal en una solución acuosa que contenga una sal soluble de níquel y un --- agente reductor. El depósito se efectúa gracias a una reacción catalítica o autocatalítica, esta se inicia por el efecto catalítico del objeto que se va a recubrir y la reacción continúa -- gracias al níquel que se va depositando.

✓ L Como ejemplos de metales catalíticos que pueden ser niquelados directamente podemos mencionar los siguientes: hierro, cobalto, níquel, platino, paladio, rodio, magnesio y sus aleaciones incluyendo aceros especiales, latón, bronce, etc.

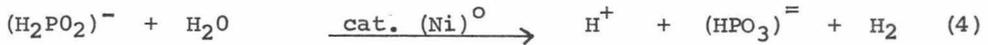
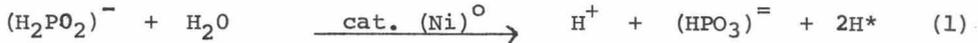
Los materiales que pueden ser niquelados gracias a un desplazamiento inicial del níquel directamente a través de un efecto galvánico incluyen: Cobre, plata, oro, berilio, germanio, -- aluminio, carbono, molibdeno, cromo, titanio, uranio y similares.

Existen ciertos metales que no son catalíticos para la reacción de niquelado químico, los cuales no pueden ser recubiertos directamente por este método. Entre estos materiales podemos mencionar: plomo, estaño, cadmio, antimonio, arsénico bismuto, -- vanadio, tungsteno y circonio.

Otros materiales que no son catalíticos tales como plásticos, madera, vidrio, cerámica, etc. pueden también ser niquelados por el método de reducción química si se activa antes la superficie por recubrir con un activador que puede ser una sal de un metal noble, generalmente se usa cloruro de paladio.

La contaminación de piezas por niquelar con venenos catalíticos causarán depósitos defectuosos o de pobre adherencia. -- Los venenos catalíticos son el plomo, estaño, cadmio, antimonio arsénico, compuestos sulfurados hidrolizables y aminas orgánicas de cadena larga.

Gregoire Gutzeit en la revista Plating números 10,11 y 12 de 1959 y el número 1 de 1960 expuso las siguientes reacciones como las mas probables para el niquelado químico:



$\text{H}^*$  Son átomos de hidrógeno activos depositados sobre la superficie catalítica.

Los aniones de hipofosfito en presencia de agua son deshidrogenados por la superficie sólida catalítica para formar aniones de ortofosfito ácido. Los átomos de hidrógeno activo son absorbidos o depositados en forma suelta sobre el catalizador, el cual se vuelve un hidruro (1).

Los iones de níquel son reducidos a níquel metálico por esos átomos de hidrógeno activo siendo oxidados a iones hidrógeno (2).

Simultáneamente una pequeña porción de los aniones de hipofosfito son reducidos en forma parecida por el hidrógeno activo, absorbidos sobre la superficie catalítica, rindiendo fósforo elemental, agua e hidroxilo en forma iónica (3).

A la vez mas aniones de hipofosfito son catalíticamente oxidados a aniones de ortofosfito ácido, con evolución de hidrógeno molecular (4).

Según las reacciones anteriores, el fósforo se codeposita con el níquel y por esto el recubrimiento aumenta su resistencia a la corrosión, en los depósitos efectuados por este método, se encuentra de 93 a 95% de níquel y del 5 al 7% de fósforo.

La velocidad de deposición del níquel a composición constante, presenta una relación directa con la temperatura, la concentración de iones hipofosfito y con el pH. Cuando aumentan estas variables la velocidad de deposición aumenta, por otra parte la estabilidad del baño disminuye, por tanto las variables mencionadas deberán optimizarse para el mejor funcionamiento y rendimiento del baño.

Debido a la diferencia de propiedades que presentan los materiales conductores y los materiales no-conductores, es necesario describir dos ciclos de operación diferentes, uno para materiales conductores y otro para materiales no-conductores.

#### MONTAJE DE LAS PIEZAS.

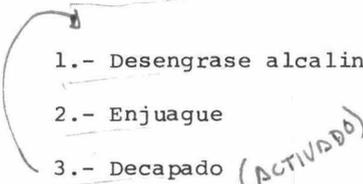
La colocación de las piezas por recubrir en un soporte tiene como única finalidad el mantenerlas en cierta posición durante las operaciones de pretratamiento y recubrimiento, el material de construcción para los soportes será acero inoxidable tipo 316 sin recubrir, estos soportes deberán ser pasivados periódicamente en ácido nítrico al 15% y en caso de que presenten recubrimiento, este deberá ser removido con ácido nítrico concentrado.

Para el diseño de los soportes es apropiado cualquiera de los tres tipos básicos usados, dependiendo de la geometría de las piezas por recubrir. Los más usados son: soporte recto con salientes, el cual se usa cuando se trata de piezas pequeñas; soporte tipo caja; soporte tipo "T" y soporte de salientes múltiples, estos últimos son utilizados cuando se tienen sistemas de transferencia mecánica.

Las piezas de geometría complicada o aquellas que tengan recesos, canales o agujeros sin salida, deben colocarse en tal forma que se evita la formación de bolsas de gas debidas a la generación de hidrógeno durante la reacción que hace posible el depósito, en caso de no colocar bien las piezas, el depósito saldrá defectuoso al no tener contacto la solución con las piezas, en aquellos lugares que se formen bolsas de gas.

Es ventajoso dar a las piezas una agitación moderada --- sin llegar a la turbulencia, con el objeto de prevenir el asentamiento de partículas de polvo y la adherencia de burbujas de hidrógeno, evitando así depósitos porosos.

## CICLO DE OPERACION PARA PARTES METALICAS

- 
- 1.- Desengrase alcalino
  - 2.- Enjuague
  - 3.- Decapado (ACTIVADO)
  - 4.- Enjuague caliente
  - 5.- Recubrimiento
  - 6.- Enjuague
  - 7.- Secado

DESENGRASE

El requisito más importante en la tecnología de los recubrimientos es la limpieza de la superficie que se quiere recubrir. En todos los procesos de fabricación, las superficies de las piezas metálicas son contaminadas con grasas, aceites, suciedad y -- otros cuerpos extraños, los cuales ejercen una influencia indeseable sobre la adherencia, textura y duración de los recubrimientos y por esto hay que eliminar dichas impurezas.

La selección de los materiales usados para la limpieza dependen fundamentalmente de los siguientes factores: naturaleza de la suciedad por eliminar, ataque químico del material usado para limpiar, grado de limpieza requerido, método de aplicación, seguridad y costo.

El método más antiguo y extendido para el desengrase está basado en el empleo de los álcalis y ello ha dado lugar a un gran desarrollo de la industria de fabricación de limpiadores alcali--

nos.

A continuación se enumeran las propiedades que debe tener -  
un buen desengrase alcalino.

- 1.- Debe ser rápidamente soluble en agua.
- 2.- Debe tener baja tensión superficial y alta capacidad -  
humectante.
- 3.- Debe disolver o saponificar los aceites y grasas anima  
les y vegetales o emulsionar y suspender temporalmente  
los aceites y partículas sólidas de suciedad insolu---  
bles o insaponificables.
- 4.- Debe ablandar el agua y evitar la formación de jabones  
insolubles.
- 5.- Debe poder enjuagarse con facilidad.
- 6.- Se debe evitar el ataque o manchado a las superficies  
por recubrir.
- 7.- Debe neutralizar las sustancias ácidas que se introduz  
can en el baño.
- 8.- Debe remover la suciedad en un tiempo razonable.
- 9.- Debe usarse en bajas concentraciones por razones de --  
economía.
- 10.- Debe ser estable y no debe ser tóxico.

Por regla general para la limpieza de superficies se usan  
productos comerciales patentados, que satisfacen las necesidades  
anteriores y los cuales tienen como principales constituyentes -  
sosa caústica, carbonato de sodio, fosfatos, silicatos alcali--

nos, jabones y detergentes sintéticos.

#### DECAPADO

Después de que ha sido eliminada la grasa de la superficie por recubrir, queda el importante problema de separar las gruesas costras de óxidos o delgadas películas protectoras, así como todo compuesto químico adherido a la superficie durante el tratamiento térmico, soldadura o cualquier otra operación similar. El decapado puede hacerse por medios químicos o mecánicos.

El decapado químico se efectúa por la inmersión del metal en un ácido diluído hasta que la cascarilla se haya diluído o disuelto, el ácido que se vaya a emplear depende esencialmente de la naturaleza de los metales y de sus óxidos. Parece ser que las costras o cascarillas porosas permiten la penetración del ácido - a través de ellas atacando al metal, es entonces cuando tales costras son arrancadas mecánicamente en capas por el gas desprendido, Con el objeto de reducir el grado de ataque al metal, es frecuente agregar un inhibidor al baño decapador. Las características que debe mostrar el inhibidor empleado deben ser:

- 1.- Fácil y completa solubilidad en el ácido
- 2.- Estabilidad en amplias zonas de concentración del ácido.
- 3.- Estabilidad durante largos períodos de almacenamiento.
- 4.- Fácil eliminación por lavado con agua.
- 5.- Gran rendimiento o sea consumo mínimo.

Como ejemplos de inhibidores se pueden mencionar, la cola, tiourea, quinoleína, etc. El tiempo para el decapado varía desde una simple inmersión hasta 20 minutos dependiendo del tipo de cascarilla.

Después del decapado químico es necesario enjuagar perfectamente las piezas para evitar arrastres de ácido a los baños --- de recubrimiento sin corriente, para lo cual se aconseja un sistema de enjuague tipo cascada.

Después de este enjuague sigue propiamente el recubrimiento el cual se describirá ampliamente más adelante.



## CICLO DE OPERACION PARA PARTES NO-METALICAS

Las partes no-metálicas que se quieren recubrir deberán estar completamente limpias, por lo que hay que remover todas las -suciedades que puedan tener dichas superficies. Esta limpieza puede hacerse por inmersión de las piezas en un baño alcalino convencional que contenga un disolvente apropiado o con ácido sulfúrico o crómico que esté formulado para limpiar.

Después de la limpieza alcalina las partes deben ser tratadas en general de la siguiente manera;

I - Mordentar la superficie por uno de los siguientes métodos:

- a) Revolver en un barril con abrasivos finos.
- b) Sopletear con abrasivos finos.
- c) Ataque con un mordiente químico

Después del mordentado, si se usan métodos mecánicos, las partes deben ser limpiadas perfectamente y sumergidas en un áci-do ligero antes de ser activadas.

II - Enjuague en agua fría.

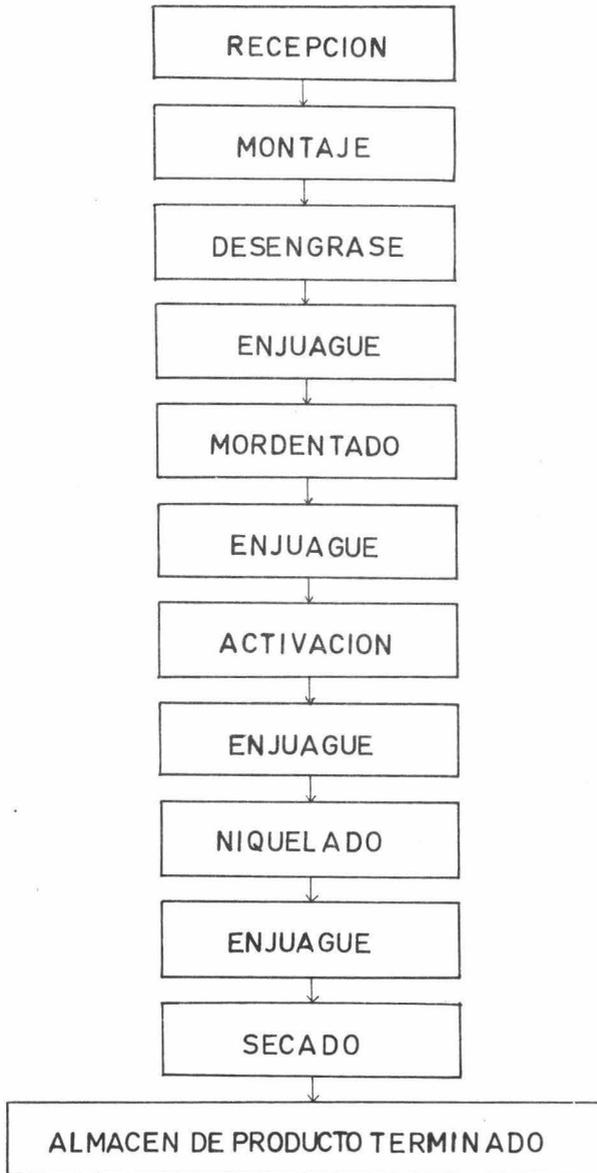
III - Activación, la cual se efectúa en una solución caliente es-pecialmente formulada que contenga una sal de metal noble a baja concentración, como cloruro de paladio.

IV - Enjuague en frío, preferentemente doble.

V - Recubrimiento con níquel sin electricidad (electroless).

VI - Enjuague en agua fría o caliente.

## DIAGRAMA DE FLUJO



## LIMPIEZA

En la mayoría de los casos no es necesaria la limpieza antes de mordentar las superficies de plástico, ya que el proceso de mordentado es también un buen método de limpieza. Sin embargo si existen en el material aceites lubricantes u otros residuos pesados es necesario eliminarlos por medio de los métodos convencionales de limpieza. Usualmente es mas importante la limpieza cuando se aplica un mordiente químico que cuando se utilizan métodos mecánicos. La mayoría de los limpiadores alcalinos suaves usados para metales, pueden ser utilizados en plásticos cuidando que el contenido de álcalis no sea demasiado fuerte y que la temperatura no sea mayor de 82° C.

## MORDENTADO

La operación de mordentar la superficie es esencial para obtener un buen humedecimiento de las partes por recubrir en todas las soluciones del proceso y para obtener suficiente adherencia del recubrimiento al material base. En los métodos mecánicos se usan abrasivos muy finos para poder obtener depósitos brillantes, sin embargo, el método de mordentado químico es mas usado puesto que abarca todas las áreas, produce una superficie mas uniforme, mas tersa y da mejor adherencia a depósitos subsecuentes.

La formulación para el baño de mordentado químico es la siguiente:

COMPUESTO	LIMITES
Acido sulfúrico (66 °Bé)	77.00 - 92.00 % en peso
Acido crómico	0.10 - 4.72 % " "
Agua	21.50 - 6.00 % " "
Compuesto fluorocarbonado	0.01 - 0.20 % " "
Grados Baumé	57.00 - 63.00

## CONDICIONES DE OPERACION

Temperatura	21 - 71 °C
Tiempo de inmersión	0.5 - 30 minutos

La formulación óptima para plásticos ABS (acrilo nitrilo butadieno do estireno), es la siguiente:

COMPUESTO	LIMITES
Acido sulfúrico (66 °Bé)	86.56 % en peso
Acido crómico	1.55 % en peso
Agua	12.89 % en peso
Grados Baumé (57°C)	60.35

## CONDICIONES OPTIMAS DE OPERACION

Temperatura	57°C
Tiempo de inmersión	2 minutos

Si se baja la gravedad específica del límite mínimo anota do, el agua fuerte ataca muy lentamente a los plásticos. Una tem peratura demasiado alta puede formar en la solución un color ca- fé oscuro que nos indica carbonización del material mordentado, pueden aparecer también manchas blanquecinas, ablandar o marcar indeseablemente la superficie. El cromo debe ser hexavalente,-

cuando el baño tiene mas de 15 g/l de cromo trivalente, el mordente es inoperante, por lo que debe ser atentamente controlado.

La formulación descrita anteriormente es bastante universal y puede aplicarse con buenos resultados a varios tipos de plásticos como: ABS (polímero de acrilonitrilo - butadieno - estireno), nilón, melamina, lucita, baquelita y otras resinas con ligeros ajustes.

El tiempo de permanencia del material plástico en el baño es también muy importante, ya que después de 15 minutos la superficie del plástico puede tornarse polvosa y obscurecerse debido a una ligera carbonización. Estas condiciones hacen que la adherencia en depósitos subsecuentes sea menor, cuando se tiene dentro de la solución menos del tiempo requerido, el mordentado es insuficiente, lo cual dará como resultado una pobre adherencia.

Una superficie químicamente tratada da una mejor adherencia que una superficie mecánicamente descristalizada, probablemente esto se deba a un área mayor creada por micro hoyos en la superficie que da lugar a un mejor humedecimiento y por esto una mejor activación, el mejor humedecimiento de la superficie se cree que se debe a la propiedad oxidante de la solución química.

Lo que proporciona el aumento de adherencia en los recubrimientos a plásticos, es el abatimiento de la tensión superficial en la superficie básica por recubrir. La velocidad del mordentado, es afectada por el grado de polimerización del plástico, temperatura de moldeado, tipo de plástico y el tipo de pigmentos y otros --

aditivos que han sido añadidos al plástico.

En la mayoría de los casos un enjuague completo en agua es todo lo que se requiere antes de la activación, sin embargo, cuando las partes por recubrir tienen hoyos muy profundos, pueden requerir un enjuague alcalino para así poder remover los compuestos de cromo de los recesos.

#### ACTIVACION

Las partes por recubrir una vez mordentadas y enjuagadas, deben ser activadas por inmersión en una solución que contenga -- una sal de metal noble a baja concentración, en la práctica el compuesto mas usado es el cloruro de paladio, aunque pueden usarse -- también mezclas de metales nobles como oro y paladio u otros.

Es de hacerse notar que en este proceso ha sido excluido -- el paso de sensibilización, el cual era considerado esencial en -- este tipo de recubrimientos, actualmente se ha comprobado que este paso puede omitirse siempre que el baño activante se mantenga dentro de los límites de concentración de los componentes, el pH y la temperatura.

Las condiciones críticas de la solución activante acuosa son las siguientes:

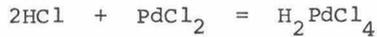
	LIMITES DE OPERACION	CONDICIONES OPTIMAS
Sal de metal noble ( $\text{PdCl}_2$ )	0.66 - 2.64	0.264 - 0.528 g/l
Acido clorhídrico (22 °Bé)	0.132 - 5.28	0.264 - 1.056 ml/l
Tiempo de tratamiento	0.5 - 5.0	2 - 3 minutos
Temperatura	21 - 100	52 - 65°C
pH	1.0 - 4.8	1.5 - 2.5

Es de gran importancia mantener la temperatura en los límites indicados si se quiere eliminar el paso sensibilizador, esta no debe ser menor de 21°C y se debe tener lo mas cerca posible de 100°C, temperaturas mas elevadas no se usan para evitar que las partes de plástico se distorsionen.

La acidez correcta de la solución activante es también muy importante. Si la concentración del ácido clorhídrico es muy baja, la sal del metal noble no es completamente soluble y por el contrario si la acidez de la solución es muy alta, la velocidad de la reducción química del paladio disminuye, el paladio debe mantenerse en forma de complejo para formar el ácido cloropaládico ( $\text{H}_2\text{PdCl}_4$ ) y cuando la acidez es alta tiene menor tendencia a regresar para formar átomos de paladio libres a la vez, el recubrimiento en el baño de niquelado será mas lento ya que la alta acidez en la superficie por recubrir impide el recubrimiento en un baño de níquel sin corriente. Se ha encontrado experimentalmente que los mejores resultados se obtienen cuando solo se usa el ácido suficiente para acomplejar el cloruro de paladio, sin embargo, es aconsejable añ-

dir una pequeña cantidad de ácido clorhídrico en exceso para mantener al paladio en solución evitando que este se hidrolice a hidróxido de paladio  $\text{Pd}(\text{OH})_2$  y se precipite.

La reacción por la cual se forma el complejo es la siguiente:



La cantidad de ingredientes necesarios para formar el complejo es de un milímetro de ácido clorhídrico concentrado por cada gramo de cloruro de paladio.

Si el pH baja mas de 1.5 debe ser elevado cuidadosamente con hidróxido de sodio o potasio en forma de solución hasta tener un pH de 2.0. También debe tenerse cuidado que el pH no suba más de 2.5 pues como se dijo antes puede precipitar hidróxido de paladio, en caso de que rebase este límite, deberá bajarse con ácido sulfúrico, generalmente no se usa ácido clorhídrico para esto, ya que los iones cloro forman un complejo que une mas fuertemente a los iones paladio dando como resultado una activación más débil en la superficie plástica.

Se ha encontrado que la adición de ácido bórico es beneficiosa para regular cualquier tendencia a fluctuaciones del pH. El ácido bórico regula la solución principalmente en un pH de 2.0 -- que es en el que mejor funciona el baño. El ácido bórico no afecta de ninguna manera las propiedades activantes de la solución.

Un completo enjuague después de la activación es necesario para prevenir el arrastre de la solución activante al baño de ni-

quelado químico.

Después de la activación y el enjuague, las partes son recubiertas con níquel.

A continuación se da una composición para niquelado químico especialmente formulada para plásticos.

Composición de la solución para niquelado.

COMPONENTES	LIMITES	CONCENTRACION OPTIMA
Sulfato de níquel	5.0 - 20.0 g/l	22
Hipofosfito de sodio	5.0 - 30.0 "	18.75
Acetato de sodio	7.5 - 37.5 "	15 - 30
Tiosulfato de sodio	1.0 - 50.0 ppm	25
CONDICIONES DE OPERACION		
pH ajustado con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.5 - 5.0	4.8 - 5.0
pH en baños viejos (a)	4.4 - 4.6	
Temperatura	60 - 85°C	63 - 68

(a) Es permitido que el pH en los baños viejos sea menor, ya que tienen una concentración de fosfito de sodio elevada.

El pH mas bajo tiende a disolver el fosfito de sodio insoluble y por lo tanto un baño viejo tiende a ser mas estable y reduce la tendencia a la rugosidad en el depósito de níquel.

En lugar de sulfato de níquel pueden usarse otras sales - como cloruro, formato, citrato, acetato y otras, todas las sales indicadas se han usado con buenos resultados en concentraciones-

similares a la indicada en el sulfato, ajustadas a las variaciones de peso molecular, no obstante es preferible usar el sulfato de níquel que es mas barato además de que cubre las superficies activadas mas rápidamente que otras sales.

Para disminuir el pH del baño pueden usarse ácido sulfúrico, acético, fórmico, cítrico, clorhídrico, bórico, etc. Para elevar el pH, generalmente se usa hidróxido de amonio.

Es importante que el baño contenga un estabilizador, entre los estabilizadores que pueden ser usados, se encuentran tiourea, dietil tiourea, ácido molibdico, otros compuestos del molibdeno, ácido tungsténico, agua oxigenada, persulfato de amonio, sales de cadmio, sales de estaño y sulfuro de plomo. Estos materiales solo son usados en muy bajas concentraciones. Cuando se tiene mucho material estabilizador puede impedir el recubrimiento.

Es una tendencia natural, en la mayoría de este tipo de baños, la descomposición instantanea del mismo y/o el recubrimiento rugoso. En el baño de níquel sin corriente para plásticos, estas tendencias son enormemente reducidas por:

- 1.- Añadir un estabilizador que aumenta la vida del baño.
- 2.- El uso de un regulador apropiado para regular el pH. Conforme el baño se va haciendo viejo, se le permite al pH bajar de 5.0 a 4.4 y se mantiene entre 4.4 y 4.6 hasta que la solución tenga que ser desechada.
- 3.- Cuando el pH es bajo no se precipitan hidróxido de -

níquel o hierro.

4.- La ausencia de cualquier acelerador, como fluoruros- que se añaden al baño para aumentar la velocidad del recubrimien- to.

5.- La relativamente baja temperatura del baño, 65.5°C - comparada con las usuales (82 - 100°C).

Todos los factores menciona dos en combinación disminuyen la tendencia natural del baño a descomponerse sin control y ha- cen que la descomposición sea gradualmente. En estas condiciones el baño tiene mayor habilidad para soportar el arrastre de meta- les nobles del paso anterior sin descomponerse. Otra ventaja es que como la descomposición es lenta, a cualquier señal de mancha grisácea en la solución las partes que se estan recubriendo pue- den ser removidas evitando depósitos rugosos.

Si los artículos son procesados en canastas, es mejor -- usar dos baños de recubrimiento, especialmente cuando los artí- culos tienen hoyos profundos, con el resultado de acarreo de la solución activante. El primer baño es comunmente pequeño en vo- lumen e incontrolable, ahí se aplica una delgada capa inicial -- antes de transferir los artículos al segundo baño, en donde se- aplica la cubierta total y final sin peligro de rugosidad en el acabado.

Las partes permanecen en la primera solución de recubri- miento hasta que las superficies han sido completamente cubier- tas, ésta solo necesita ser una cubierta relámpago, de 0.254 a-

0.0254 micras de espesor, lo cual se logra en un tiempo de 20 - segundos a un minuto, después de un rápido enjuague son transferidos a un segundo baño de recubrimiento para dar mayor grosor a la película de níquel. Se recomienda para este tipo de recu--brimientos de 0.254 a 1.524 micras de espesor.

La velocidad de deposición en esta solución es de 0.5715 micras/minuto.

## EFECTOS DE LOS CONSTITUYENTES

## 1.- SULFATO DE NIQUEL

El sulfato de níquel tiene como función la de proporcionar el metal con el que se va a recubrir, ion níquel, por lo que pueden usarse para este fin otras sales como cloruro, formato, citrato, acetato y otras, todas estas sales han sido usadas en concentraciones similares a la indicada únicamente ajustadas a las variaciones de peso molecular, obteniéndose resultados satisfactorios.

## 2.- HIPOFOSFITO DE SODIO

El hipofosfito de sodio actúa como agente reductor reduciendo los iones níquel a níquel metálico, con la consecuente oxidación del hipofosfito a ortofosfito ácido. Se ha encontrado que para que el baño de recubrimiento sin electricidad (electroless) funcione satisfactoriamente, la concentración molar de iones hipofosfito debe ser entre 0.15 y 0.35 moles por litro de solución y que la proporción de iones níquel a iones hipofosfito debe ser de 0.25 a 0.60 expresado en concentración molar.

## 3.- ACETATO DE SODIO

A esta sustancia se le ha llamado tampón o reguladora, que puede definirse como la sustancia que agregada a una solución hace que esta resista cualquier cambio en la concentración de iones hidrógeno después de que se ha añadido un ácido o un álcali. Cada sustancia reguladora tiene una zona característi-

ca que limita el grado de pH sobre el que es efectiva.

#### 4.- TIOSULFATO DE SODIO.

A esta substancia se le llama estabilizador, es muy ventajosa y necesaria la adición de un estabilizador para mantener la vida útil del baño, ya que este evita la tendencia de descomposición instantanea del baño, evita que el recubrimiento sea rugoso y además sirve para controlar la velocidad de deposición del recubrimiento. Este estabilizador debe emplearse en muy bajas concentraciones, de 1 a 50 partes por millón ya que si ésta es mas alta puede impedir el recubrimiento, por lo que la concentración del estabilizador es bastante crítica.

## CAPACIDAD DE LA PLANTA

Tomando en cuenta que se carece de datos estadísticos --- confiables y que el método es muy versátil, se estima que en --- una planta de este tipo se recubrirán 1500 metros cuadrados por año.

Este método ha sido empleado principalmente para lo si--- guiente:

1.- Un recubrimiento de níquel sin electricidad sobre acero, puede reemplazar a un metal o aleación mas costosa, por ejemplo para válvulas, conexiones para tuberías, bombas, compresores, etc. los cuales no pueden ser recubiertos por medios electrolíticos.

2.- El recubrimiento de níquel sin electricidad sobre acero se emplea para prevenir la contaminación del producto sobre -- equipos como transportadores de tornillos sinfin, tanques de --- mezclado, reactores, prensas de extrusión, filtros, cambiadores-- de calor, etc.

3.- Debido a la gran dureza de los depósitos de níquel --- sin electricidad y de su buena resistencia al desgaste en equipo-- o partes tales como sistemas hidráulicos, correderas, insertos de válvulas, engranajes, ejes, pistones, anillos de fricción, arti-- culaciones, impulsores de bombas, bancadas de máquinas de impri-- mir y rodillos entintadores.

4.- En la aeronáutica, proyectiles, cohetes y otros campos similares, las partes de titanio, aluminio y acero se recubren -

con níquel sin electricidad para evitar que se raspen.

5.- Un depósito delgado de níquel químico hace posible el estañado o soldado del aluminio, berilio y magnesio, esto es de gran valor en los conjuntos electrónicos y en los pequeñísimos-- instrumentos de los proyectiles cohete.

6.- Cuando se deposita sobre aleaciones de temperatura--- elevada tales como aceros inoxidable, inconel, el recubrimiento químico del níquel exhibe excelentes propiedades humectantes y -- se pueden usar como material de liga para soldar con bronce.

7.- Debido a su uniformidad, estos recubrimientos son par ticularmente apropiados para recrecer cuerpos e impulsores de -- bomba gastados, ejes de compresor mal maquinados, etc.

8.- Los circuitos impresos pueden ser directamente deposi tados sobre tableros de base plástica activados, después de en-- mascarar los patrones negativos por medio de una substancia pro-- tectora.

9.- Recubriendo primero partes de cerámica, es posible -- soldarlas con estaño, con latón u otras substancias a partes me-- tállicas.

Recubriendo dos o mas materiales distintos que vayan a -- estar en contacto se previene la corrosión galvánica en un medio electrolítico.

10.- En almacenamiento, transporte y procesado de material es grasos, los recubrimientos sin electricidad no catalizan la-

oxidación de las grasas. Sobre tanques y válvulas de acero suave pueden remplazar a materiales mas costosos.

## CALCULO DEL VOLUMEN Y DIMENSIONES DEL BAÑO DE NIQUELADO

BASE DE CALCULO:  $1500 \text{ m}^2/\text{año}$

$$\text{Area} = 1500 \text{ m}^2/\text{año} \times 1 \text{ año}/300 \text{ días} \times 1 \text{ día}/8 \text{ h} = 0.625 \text{ m}^2/\text{h}$$

Para obtener un buen recubrimiento, el tiempo óptimo es de 5 minutos por carga, mas 5 minutos de tiempo muerto, son 10 minutos por carga, o sea, 6 cargas por hora.

$$\text{Area} = 0.625 \text{ m}^2/\text{h} \times 1 \text{ h}/6 \text{ cargas} = 0.1041 \text{ m}^2/\text{carga}$$

Gutzeit y Krieg en su patente U.S. No. 2,658,841 nos dicen que si se quiere obtener un buen recubrimiento, se debe guardar la siguiente relación entre el área por recubrir y el volumen de la solución:  $V/A = 10$  ó menor. Si fijamos esta relación como 8, tenemos  $V/A = 8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , entonces tenemos:

$$V = 8A = 8(0.1041 \text{ m}^2) = 0.8328 \text{ m}^3$$

Ahora fijamos la altura del tanque como 0.90 m. y el ancho del mismo como 1.00 m. además tenemos que el nivel del líquido debe estar 10 cm por abajo de la altura total del tanque.

$$\text{Volumen} = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{altura}$$

$$\text{largo} = \frac{\text{volumen}}{\text{ancho} \times (\text{altura} - 0.1)} = \frac{1}{1 (0.9 - 0.1)} = 1.25 \text{ m.}$$

Entonces las dimensiones del tanque serán:

$$\text{largo} = 1.25 \text{ m}$$

$$\text{ancho} = 1.00 \text{ m}$$

$$\text{altura} = 0.90 \text{ m}$$

$$\text{volumen de la solución} = 1000 \text{ litros.}$$

#### CALENTAMIENTO DE LAS TINAS

Las pérdidas de calor por conducción a través de las paredes del tanque, que después se disipa parte en forma de convección natural y parte en forma de radiación, se pueden calcular por la ecuación siguiente:

$$Q = \frac{k A}{L} \Delta t$$

En donde:  $Q$  = Cantidad de calor conducida

$k$  = Constante de transmisión de calor

$L$  = Longitud a través de la cual se conduce el calor

$\Delta t$  = Diferencia de temperaturas

En caso de tener aislamiento, tenemos que la resistencia total está dada por la suma de las resistencias parciales de la pared del tanque mas las capas de aislamiento:

$$Q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{T_o - t_2}{\left(\frac{L_a}{k_a A}\right) + \left(\frac{L_b}{k_b A}\right)}$$

Otra parte de las pérdidas de calor es por la superficie abierta del tanque por radiación, en la cual la solución esta en contacto directo con el aire, estas pérdidas se pueden eva...

luar por la siguiente ecuación:

$$\frac{Q}{A} = \epsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

En donde:  $Q$  = Cantidad de calor radiado

$A$  = Area total de radiación

$\epsilon$  = Emisividad

$\sigma$  = Constante de la ecuación de Stefan - Boltzman

Perdidas de calor debidas al agua evaporada, son de consideración por la gran superficie abierta del tanque, las cuales se pueden evaluar con la ecuación.

$$Q = \lambda w$$

En donde:  $Q$  = Cantidad de calor perdida por evaporación

$\lambda$  = Calor latente de la solución

$w$  = Cantidad de agua evaporada por hora.

Pérdidas de calor debidas al arrastre de agua que se lleva también su calor sensible, que esta comprendido de la temperatura del tanque a la temperatura ambiente.

$$Q = w C_p \Delta t$$

En donde:  $Q$  = Cantidad de calor sensible

$w$  = Cantidad de agua evaporada

$C_p$  = Calor específico de la solución

$\Delta t$  = Diferencia de temperaturas.

La remoción de calor por el material que se esta procesando se calcula de la siguiente manera:

$$Q = w C_p \Delta t$$

En donde:  $Q$  = Cantidad de calor removida  
 $W$  = Libras de metal procesadas por hora  
 $C_p$  = Calor específico del material  
 $\Delta t$  = Diferencia de temperaturas del material al baño.

La cantidad de calor que se necesita en los baños es la cantidad de calor necesario, para llevar la solución de la temperatura ambiente a la temperatura de trabajo, más la cantidad de calor perdida durante la operación, esto es, pérdidas de calor por conducción a través de las paredes del tanque, pérdidas de calor por radiación, pérdidas de calor debidas a la evaporación de la solución (calor latente + calor sensible) y pérdidas de calor debidas al material que se esta procesando.

En la siguiente gráfica se tienen todos los valores anteriores a diferentes temperaturas y con aislantes de diferentes espesores, los cuales se usarán para los cálculos.

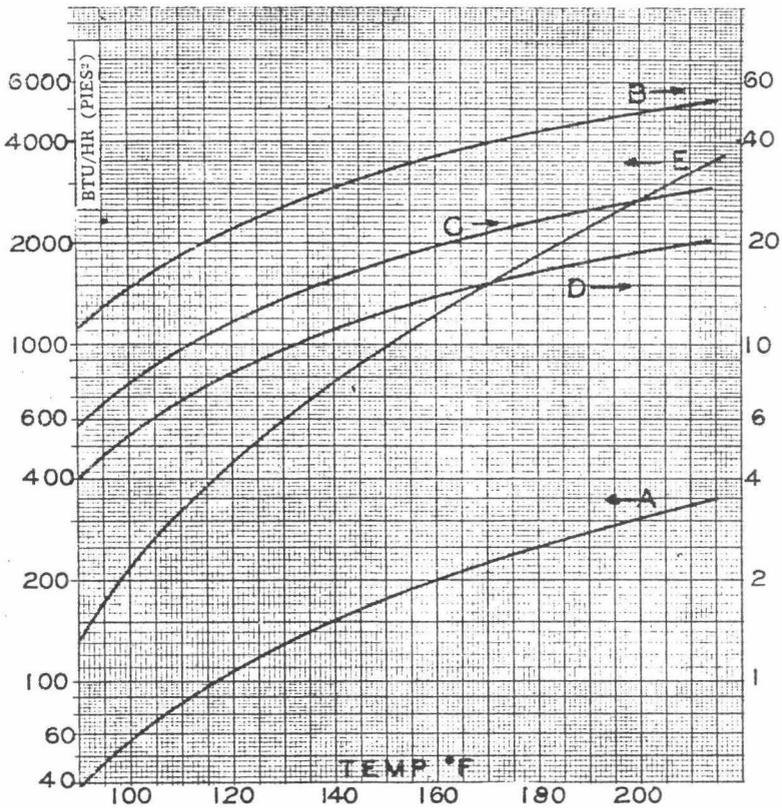


Fig. 1. Pérdidas de calor en aire tranquilo a 60°F para tanques de agua sin cubierta. Curva A-Pérdida de calor a través de las paredes del tanque, acero desnudo -léase la escala de la izquierda. Curva B-Pérdida de calor a través de las paredes del tanque, aislamiento de 1 plg (25.4 mm) -léase la escala de la derecha. Curva C-pérdida de calor a través de las paredes del tanque, aislamiento de 2 plg (51 mm) léase la escala de la derecha. Curva D-Pérdida de calor a través de las paredes del tanque, aislamiento de 3 plg (75 mm)-léase la escala de la derecha. Curva E-Pérdida de calor por la superficie del líquido en aire tranquilo-léase la escala de la izquierda.

## TANQUE PARA LIMPIEZA ALCALINA.

Datos: Temperatura de trabajo = 70°C

Tiempo de procesado = 5 minutos

Dimensiones: Largo = 1.15 m.

Ancho = 1.0 m.

Altura = 0.9 m.

Pérdidas de calor en la superficie abierta del tanque.

$$A = 1.15 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} = 1.15 \text{ m}^2 \times (3.28)^2 \text{ ft}^2/\text{m}^2 = 12.37 \text{ ft}^2$$

De la gráfica se tiene que a 158°F que es la temperatura de trabajo, las pérdidas de calor son de 1175 BTU/h ft<sup>2</sup>.

$$Q = 1175 \times 12.37 = 14535 \text{ BTU/h}$$

Pérdidas de calor a través de las paredes del tanque:

$$A = (1.15 \times 1.0) + (2)(1.15 \times 0.9) + (2)(1.0 \times 0.9) = 5.02 \text{ m}^2$$

$$A = 5.02 \text{ m}^2 \times (3.28)^2 = 54 \text{ ft}^2$$

De la gráfica se toman los valores de pérdidas de calor con aislamiento y sin aislamiento:

$$\text{Sin aislamiento} = 195 \text{ BTU/h ft}^2 \times 54 \text{ ft}^2 = 10530 \text{ BTU/h}$$

$$\text{Con aislamiento} = 35 \text{ BTU/h ft}^2 \times 54 \text{ ft}^2 = 1890 \text{ BTU/h. (1" de espesor)}$$

Pérdidas totales tomando las pérdidas a través de las pa redes con aislamiento de 1"

$$Q = 1890 + 14535 = 16425 \text{ BTU/h}$$

Cálculo del calor necesario para elevar la temperatura de la solución de la temperatura ambiente a la temperatura de operación:

FORMULAS	DATOS
$Q_s = W C_p \Delta t$	$C_p = 1.0 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$
	$V = 1.0 \text{ m}^3$
$W = V \rho$	S. gr. = 1.06
	$\Delta t = 158 - 60 = 98^\circ\text{F}$

Sustitución:

$$V = 1 \text{ m}^3 \times (3.28)^3 \text{ ft}^3/\text{m}^3 = 35.29 \text{ ft}^3$$

$$\rho = 1.06 \times 62.3 = 66.04 \text{ lb/ft}^3$$

$$W = 35.29 \times 66.04 = 2330.5 \text{ lb}$$

$$Q_s = 2330.5 \times 1.0 \times 98 = 228394 \text{ BTU/h}$$

Cálculo de la superficie de calentamiento.

El calentamiento de la solución se hará por medio de vapor proveniente de un generador de vapor con las siguientes características Presión de Operación del vapor: 65 - 150 psi.

Suministro de vapor en BTU por hora con carga total: ---  
1.004,250.

Velocidad de la bomba de agua: 385 rpm.

Suministro mínimo de agua de alimentación a presión normal: 137 Gal/h

Motor eléctrico de 1 HP.

Para la fabricación del serpentín se usará tubería de fierro de 1" de diámetro nominal cédula 40.

Para calcular la superficie de calentamiento se debe usar la ecuación básica para diseño de cambiadores de calor, que es - la siguiente

$$Q = U A \Delta t_{ml}$$

Tomando en consideración que la caída total de temperatura prácticamente tendrá lugar en el lado de la solución y que la pared exterior del tubo está a la misma temperatura que el vapor, se puede tomar la temperatura de la película como la media aritmética entre la temperatura del vapor y la temperatura de la solución, la diferencia que existe puede tomarse como margen de seguridad, siendo la temperatura del vapor 312°F y la de la solución 60°F se tiene:

$$T_m = \frac{312 + 60}{2} = 186^\circ\text{F}$$

Cálculo de "U"

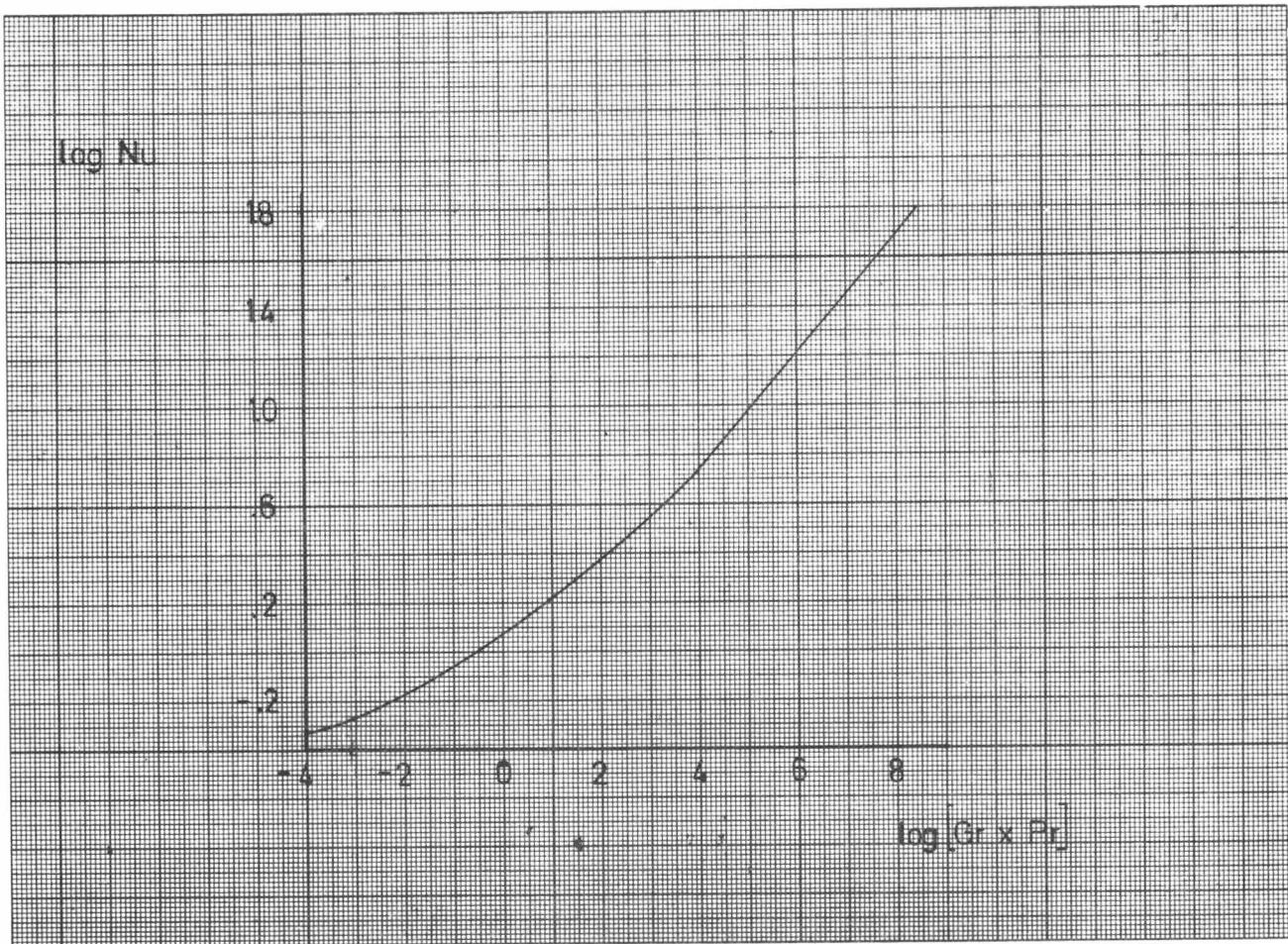
Para el cálculo de los coeficientes individuales de transmisión de calor, se cuenta con las siguientes ecuaciones.

$$h = \frac{Nu \ k}{D}$$

Para obtener el valor del número de Nusselt se tiene una gráfica que relaciona el log Nu con el log (Gr x Pr).

$$Gr = \frac{g \ D^3 \ \beta \ \Delta t \ \rho^2}{\mu^2}$$

$$Pr = \frac{\mu \ C_p}{k}$$



Significado de las literales:

$h$  = Coeficiente individual de transmisión de calor

$Nu$  = Número de Nusselt

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica

$D$  = Diámetro de la tubería en pies

$Gr$  = Número de Grashof

$g$  = Aceleración de la gravedad

$\beta$  = Coeficiente de expansión térmica

$t$  = Diferencia de temperaturas

$\rho$  = Densidad

$\mu$  = Viscosidad

$C_p$  = Calor específico.

$V$  = Volumen específico del fluido

De la ecuación para obtener el número de Grashof se tiene como incógnita el coeficiente de expansión térmica, que es una propiedad del fluido y se puede definir como el aumento de volumen del fluido a presión constante por grado fahrenheit, o sea.

$$\beta = \frac{(\partial V / \partial t)_p}{V}$$

El coeficiente de expansión térmica puede ser considerado contante para líquidos en rangos cortos de temperatura, por lo que se puede escribir la ecuación anterior como:

$$\beta = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1}{V} \frac{(V_2 - V_1)}{(t_2 - t_1)}$$

Es necesario conocer el valor del coeficiente de expansión térmica para una temperatura de 186°F; se toma como  $t_1 = 180^\circ\text{F}$  y como  $t_2 = 190^\circ\text{F}$ . de las tablas se toman los valores del volumen específico a estas temperaturas y se tiene que  $v = 0.01654$ ;  $v_1 = 0.01651$  y el valor de  $v_2 = 0.01657$ .

Sustituyendo en la ecuación se obtiene el valor del coeficiente de expansión térmica:

$$\beta = \frac{1}{0.01654} \left[ \frac{0.01657 - 0.01651}{190 - 180} \right] = 36.27 \times 10^{-5}$$

Además se cuenta con los siguientes datos:

$$D = 0.1095 \text{ ft}$$

$$g = 4.17 \times 10^8 \text{ ft/h}^2$$

$$\rho = 60.45 \text{ lb/ft}^3$$

$$\Delta t = 312 - 60 = 252^\circ\text{F}$$

$$\mu = 0.32 \times 2.42 - 0.77 \text{ lb/ft-h}$$

Sustituyendo en la ecuación se obtiene el número de Grashof

$$G_r = \frac{(4.17 \times 10^8) (0.1095)^3 (36.27 \times 10^{-5}) (252) (60.45)^2}{(0.77)^2}$$

$$G_r = 3.078 \times 10^8$$

Ahora se obtiene el número de Prandtl:

$$G_p = 1 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$$

$$k = 0.389 \text{ BTU/ft h } ^\circ\text{F}$$

$$\text{Pr} = \frac{1(0.77)}{0.389} = 1.97$$

Para obtener el número de Nusselt, se obtiene el logaritmo base 10, del número de Grashof por el número de Prandtl.

$$\log \text{Gr} = 8.4882$$

$$\log \text{Pr} = 0.2945$$

$$\log (\text{Gr} \times \text{Pr}) = 8.4882 + 0.2945 = 8.7827$$

De la gráfica se tiene que el logaritmo del número de Nusselt vale o tiene un valor de 1.87, de donde al número de Nusselt tiene un valor de 74.13. Con este valor se puede calcular el coeficiente individual de transmisión de calor:

$$h = \frac{74.13 \times 0.389}{0.1095} = 263.3 \text{ BTU/h } ^\circ\text{F ft}^2$$

Debido a que el coeficiente individual de transmisión de calor del lado del vapor será mucho más grande, que del lado de la solución y este será el que prácticamente controle la transmisión total por lo que éste se tomará como coeficiente total, teniendo una pequeña diferencia que se considera como margen de seguridad.

Por las consideraciones anteriores, se tiene que  $h_w$  es aproximadamente igual a  $U_c$ , tomando como factor de ensuciamiento 0.004 se tiene:

$$U_c = h_w = 263.3 \frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_d$$

$$\frac{1}{U_d} = 0.0037 + 0.004 = 0.0077$$

$$U_d = \frac{1}{0.0077} = 130 \text{ BTU/h}^\circ\text{F ft}^2$$

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = \frac{(312 - 60) - (312 - 158)}{\ln \frac{252}{154}}$$

$$= \frac{98}{2.3 \log 1.6363} = \frac{98}{0.5} = 196^\circ\text{F}$$

El área de la tubería de 1" tiene un valor de 0.344 ft<sup>2</sup>/ft

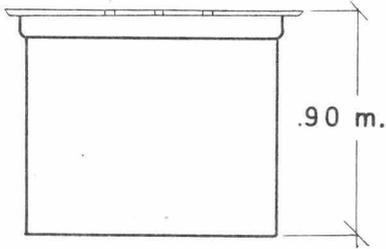
Sustituyendo en la ecuación se tiene:

$$A = \frac{Q}{U \text{ LMTD}} = \frac{228394}{130 \times 196} = 9.3 \text{ ft}^2$$

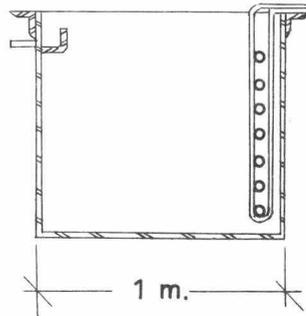
$$L = \frac{9.3}{0.344 \times 3.28} = 8.23 \text{ m.}$$

Necesitamos un serpentín de 8.23 metros.

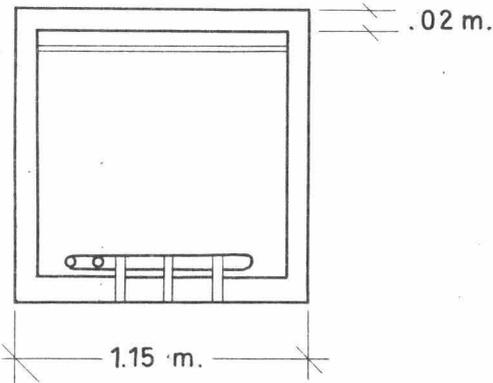
CORTE  
LONGITUDINAL



CORTE  
TRANSVERSAL



PLANTA



<b>U N A M</b>		
FAC. DE QUIMICA		
V.M.K.	TINA DE	ACT. m.
TESIS 74	DESENGRASE	ESC. 1:05

CALCULO DEL CALENTAMIENTO DE LOS TANQUES DE MORDENTADO Y ACTIVACION.

Temperatura de trabajo 57°C

Tiempo de procesado 2 minutos

Dimensiones de los tanques:

Largo 1.15 m

Ancho 1.00 m

Altura 0.90 m

Siguiendo los mismos pasos y la misma nomenclatura que en los cálculos anteriores se tiene:

PERDIDAS POR LA SUPERFICIE ABIERTA DEL TANQUE.

$$A = 1.15 \times 1.0 (3.28)^2 = 12.37 \text{ ft}^2$$

De la gráfica a una temperatura de 135°F las pérdidas son de 680 BTU/h ft<sup>2</sup>.

$$Q = 680 \times 12.37 = 8411.6 \text{ BTU/h}$$

PERDIDAS A TRAVES DE LAS PAREDES DEL TANQUE.

$$A = (1.15 \times 1.0) + 2(1.15 \times 0.9) + 2(1.0 \times 0.9) = 5.02 \text{ m}^2$$

$$A = 5.02 \times (3.28)^2 = 54 \text{ ft}^2$$

De la gráfica a la misma temperatura, las pérdidas de calor a través de las paredes es de 140 BTU/h ft<sup>2</sup>

$$Q = 140 \times 54 = 7560 \text{ BTU/h}$$

Las pérdidas de calor totales son:

$$Q_T = 7560 + 8411.6 = 15971.6 \text{ BTU/h}$$

Cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de la solución de la temperatura ambiente a la temperatura de operación.

$$Q_s = W C_p \Delta t$$

$$W = V \rho$$

$$C_p = 1.0 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$$

$$V = 1.0 \text{ m}^3 = 35.29 \text{ ft}^3$$

$$\Delta t = 135 - 60 = 75^\circ\text{F}$$

$$\rho = 62.3 \text{ lb/ft}^3$$

$$W = 35.29 \times 62.3 = 2198.57 \text{ lb}$$

$$Q_s = 2198.57 \times 1.0 \times 75 = 164892.75 \text{ BTU/h}$$

#### CALCULO DE LA SUPERFICIE DE CALENTAMIENTO

$$T_m = \frac{312 + 60}{2} = 186 \text{ } ^\circ\text{F}$$

#### CALCULO DE "U"

$$V_{135} = 0.01627$$

$$V_{130} = 0.01625$$

$$V_{140} = 0.01629$$

$$\beta = \frac{1}{0.01627} \left( \frac{0.01629 - 0.01625}{140 - 130} \right) = 24.56 \times 10^{-5}$$

$$D = 0.1095 \text{ ft}$$

$$g = 4.17 \times 10^8 \text{ ft/h}^2$$

$$\rho = 62.3 \text{ lb/ft}^3$$

$$\Delta t = 312 - 60 = 252 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\mu = 0.32 \times 2.42 = 0.77 \text{ lb/ft-h}$$

$$C_p = 1.0 \text{ BTU/lb}^\circ\text{h}$$

$$K = 0.396 \text{ BTU/ft }^\circ\text{F h}$$

$$Gr = \frac{(4.17 \times 10^8) (0.1095)^3 (24.56 \times 10^{-5}) (252) (62.3)^2}{(0.77)^2} = 2.22 \times 10^8$$

$$Pr = \frac{1.0 \times 0.77}{0.396} = 1.94$$

$$\log(Gr) = 8.3464$$

$$\log(Pr) = 0.2878$$

$$\log(Gr \times Pr) = 8.3464 + 0.2878 = 8.6342$$

De la gráfica se obtiene el  $\log Nu$  que tiene un valor de 1.83  
de donde  $(Nu) = 67.61$

$$h = \frac{Nu K}{D} = \frac{67.61 \times 0.396}{0.1095} = 244.5 \text{ BTU/h }^\circ\text{F ft}^2$$

$$U_c = h = 244.5$$

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_d$$

$$R_d = 0.004$$

$$\frac{1}{U_d} = 0.0041 + 0.004 = 0.0081$$

$$U_d = 123.4 \text{ BTU/h}$$

$$LMTD = \frac{(312 - 60) - (312 - 135)}{\ln \frac{252}{177}} = \frac{75}{2.3 \log 1.42} = 214^\circ\text{F}$$

$$A = \frac{164892.75}{123.4 \times 214} = 6.24 \text{ ft}^2$$

$$L = \frac{6.24}{0.344 \times 3.28} = 5.53 \text{ m}$$

#### CALENTAMIENTO DEL TANQUE DE NIQUELADO

Datos: Temperatura de trabajo = 68°C

Tiempo de procesado = 5 minutos

Dimensiones: Largo = 1.25 m

Ancho = 1.00 m

Altura = 0.90 m

Area de la superficie abierta del tanque:

$$A = 1.25 \times 1.00 = 1.25 \text{ m}^2 (3.28)^2 = 13.45 \text{ ft}^2$$

De la gráfica para una temperatura de 155°F, las pérdidas - de calor para la superficie abierta del tanque son 1100 BTU/h fr<sup>2</sup>.

$$Q_1 = 1100 \times 13.45 = 14795 \text{ BTU/h}$$

Pérdidas a través de las paredes:

$$A = (1.25 \times 1.0) + 2(1.25 \times 0.9) + 2(1.0 \times 0.9) = 5.3 \text{ m}^2$$

$$A = 5.3 \times (3.28)^2 = 57.02 \text{ ft}^2$$

De la gráfica se tiene que las pérdidas de calor a través - de las paredes es de 184 BTU/h ft<sup>2</sup>

$$Q_2 = 184 \times 57.02 = 10491.68 \text{ BTU/h}$$

Pérdidas totales:

$$Q_1 + Q_2 = 14795 + 10461.68 = 25286.68 \text{ BTU/h}$$

Cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de - la solución de la temperatura ambiente a la temperatura de opera- ción.

Datos:

$$\rho = 61.08 \text{ lb/ft}^3$$

$$V = 35.29 \text{ ft}^3$$

$$C_p = 1 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta t = 155 - 60 = 95^\circ\text{F}$$

$$W = 35.29 \times 61.08 = 2155.5 \text{ lb}$$

$$Q = 2155.5 \times 1.0 \times 95 = 204773 \text{ BTU}$$

En el baño de niquelado, se usarán calentadores eléctricos- sumergidos en la solución. De otra manera, debido a la composición

del baño tendríamos que usar serpentines de acero inoxidable que tendrían que ser pasivados periódicamente, lo cual presenta serios inconvenientes.

Los calentadores eléctricos serán de titanio, los cuales -- además de impedir la impurificación de la solución, tiene un alto-coeficiente de conductividad térmica.

Si suponemos un tiempo de calentamiento de 2 horas tenemos:

$$Q = \frac{204773}{2} = 102386.5 \text{ BTU/h}$$

Si 3412 BTU equivalen a 1 KWH

$$\frac{102386.5}{3412} = 30 \text{ KW}$$

Cada calentador de 2500 W tiene un costo de \$ 1750.00

$$\text{se necesitan } \frac{30000}{2500} = 12 \text{ calentadores}$$

12 calentadores de 2500 W cada uno	\$ 21000.00
1 termostado de $\pm 1/2$ °F de exactitud	\$ 1100.00
1 contactor magnético	<u>\$ 1900.00</u>
T O T A L	\$ 24000.00

Si se considera el costo del KWH como \$ 0.42 el costo de -- operación sería:

$$\frac{16734}{3412} = 4.9 \text{ KWH}$$

$$4.9 \times 0.42 = \$ 2,058/h$$

Tanto el costo inicial como el costo de operación serían al tos si se considera el calentamiento de 2 horas; ahora bien, si se eleva el tiempo de calentamiento a 5 horas, tenemos:

$$Q = \frac{204773}{5} = 40954.6$$

$$\frac{40954.6}{3412} = 12 \text{ KWH}$$

El equipo requerido para este propósito sería; 4 calentadores de 2500 W y 1 calentador de 2000 W y el costo es:

4 calentadores de 2500 W cada uno	\$ 7000.00
1 calentador de 2000 W	\$ 1417.00
1 termostato como el descrito	\$ 1100.00
1 contactor magnético	<u>\$ 1900.00</u>
T O T A L	\$ 11417.00

O sea, menos de la mitad de la inversión requerida en el cal culo anterior si se desea calentar el baño en 5 horas. Por supuesto que el costo de operación sería el mismo.

## FILTRACION

Como se mencionó anteriormente, los baños de níquelado sin-corriente, son susceptibles a una descomposición repentina a causa de la formación de precipitados de ortofosfito de níquel, el cual en las condiciones de operación del baño es poco soluble, por lo que da al recubrimiento una apariencia rugosa, además estas partículas actúan como núcleos catalíticos facilitando así la descomposición incontrolada de la solución, lo mismo sucede con las partículas de polvo introducidas accidentalmente a la solución, por lo anterior resulta necesario eliminar tanto los precipitados que se forman durante la operación como las partículas de polvo o impurezas sólidas introducidas al baño.

Filtración es la operación que consiste en la separación de substancias sólidas de los líquidos, pasando estos últimos a través de un medio permeable.

Para nuestras necesidades la literatura hace las siguientes recomendaciones:

- 1.- Filtración continua durante toda la operación.
- 2.- Pasar toda la solución por el filtro cada hora.
- 3.- Volumen promedio de filtración 35 Gal/ft<sup>2</sup>/h.

De acuerdo con lo anterior debemos filtrar 1000 l/h, o sea, 264 Gal/h

$$\text{Area} = \frac{264}{35} = 7.5 \text{ ft}^2$$

El filtro que se usará, será un filtro de hojas vertical, tipo de presión, recubierto de hule y para mejorar su eficiencia se usará ayuda filtro comercial del tipo de asbesto con tierra -- diatomácea.

El filtro que se encuentra en el mercado para cubrir estas necesidades, tiene las siguientes características:

Area del filtro =  $10 \text{ ft}^2$

Espacio de la torta =  $0.21 \text{ ft}^3$

Volumen de filtración =  $350 \text{ Gal/h}$

## ENJUAGUE

El enjuague es una de las operaciones mas importantes del proceso, ya que un enjuague deficiente anulará el objeto de cada uno de los otros pasos en el ciclo de recubrimiento. Un mal enjuague, dará como resultado manchas, motas, vejigas, picaduras, desprendimiento en los depósitos y además contaminación en las soluciones.

Especialmente antes de recubrir hay que eliminar residuos de los ácidos que se emplean en el ataque químico, los cuales se adhieren a la superficie por recubrir con una tenacidad mucho mayor que la de ordinario pudiera apreciarse, si el material por recubrir es poroso, causa muchas molestias y los resultados de un mal enjuague en ocasiones no aparecen hasta bastante tiempo después de que el artículo ha sido recubierto e inclusive almacenado por algún tiempo.

Cuando el material es poroso, es aconsejable que este sea enjuagado alternativamente con agua fria y caliente, ya que el agua caliente cierra los poros del material y por compresión se eliminan los líquidos retenidos.

El enjuagado es esencialmente una operación de disolución, su objeto es diluir las substancias químicas disueltas sobre la superficie de trabajo hasta un punto tal que sean insignificantes, no solo en su efecto sobre la calidad del trabajo, sino también con respecto a la contaminación continua de una linea de recubri-

miento.

Varios investigadores han deducido ecuaciones para describir la acumulación de contaminantes en un tanque de enjuagar, todos ellos han hecho la suposición de que el mezclado de los escumientos y el agua de enjuagar es completo e instantáneo, esto se acerca a la realidad cuando se toma en cuenta lo siguiente:

- 1.- Agitación vigorosa del agua de enjuagar por medio de aire.
- 2.- Introducción de agua fresca por el fondo del tanque.
- 3.- Colocación de un vertedero en el extremo opuesto del tanque desde el punto por el que se introduce el agua.

Algunas de las ecuaciones propuestas son las siguientes:

Caso I.- Arrastre a un enjuague sin circulación.

$$c_e = c_o$$

$$c_t = c_o \left[ 1 - \left( \frac{v}{v + D} \right)^n \right]$$

Caso II.- Arrastre dentro de un enjuague con circulación:

$$c_e = \left[ \frac{D}{QM + D} \right] c_o$$

$$c_t = c_e \left[ 1 - \left( \frac{v - D}{v + D} \right)^n e^{-Qt/v} \right]$$

Caso III.- (a) Enjuagues en serie. Hay "r" enjuagues con -- abastecimientos de agua separados  $Q_1, Q_2, \dots, Q_r$ .

$$C_r = \left( \frac{D}{Q_1 M + D} \right) \left( \frac{D}{Q_2 M + D} \right) \dots \left( \frac{D}{Q_r M + D} \right) C_0$$

Caso III.- (b) Como el caso anterior pero cada tanque en abas tecido con Q galones por minuto.

$$C_r = \left( \frac{D}{QM + D} \right)^r C_0$$

Caso IV.- Enjuagues múltiples à contracorriente en cascada, - el último enjuague es abastecido con agua fresca a una velocidad Q.

$$\frac{QM}{D} = Y \quad (Y > 1) \quad C_r = \left| \frac{Y - 1}{Y(r + 1) - 1} \right| C_0$$

$$C_r = \frac{1}{1 + Y + Y^2 + \dots + Y^r} C_0$$

Explicación de las literales en las ecuaciones anteriores:

V = volumen del tanque de enjuagar en galones.

Q = velocidad del flujo de agua fresca, galones/minuto

M = minutos de intervalo entre las operaciones de enjuague

D = volumenes de los escurrimientos en el soporte y en el trabajo por operación de enjuagado.

n = número de operaciones de enjuagado en t minutos

$C_0$  = Concentración de la solución contaminante adherida, en oz/gal.

$C_t$  = Concentración de contaminante en el tanque de enjuagar después de  $t$  minutos.

$C_e$  = Concentración de equilibrio del contaminante en el tanque de enjuagar en oz/gal.

$C_r$  = Concentración de equilibrio en el último enjuague de "r" enjuagues en serie, en oz/gal.

Soderberg, ha demostrado que el volumen de solución extraída por arrastre por el tanque por unidad de área en una superficie plana disminuye por las siguientes causas:

- 1.- Colgar la superficie tan vertical como sea posible.
- 2.- Colocar en los soportes con la dimensión mas larga de trabajo en posición horizontal.
- 3.- Colocar los soportes de manera que el borde inferior este inclinado desde la horizontal y que el lugar de escurrimiento - esté sobre una esquina y no sobre todo el borde.
- 4.- Extraer las partes de la solución lentamente.
- 5.- Dejar escurrir sobre el tanque hasta 2 minutos o hasta que la pieza deje de gotear.

Es de hacer notar que el volumen del tanque de enjuagar simplemente determina la rapidez con que alcanza el equilibrio, pero no afecta en absoluto en lo que se refiere al promedio de la concentración de equilibrio, esta se ve favorecida con una agitación vigorosa, la que se logra mas facilmente en un tanque mas pequeño. Por lo anterior el volumen del tanque debe ser tal que se puedan -

alejar los soportes o piezas holgadamente, o sea de las mismas dimen  
siones que los otros tanques del proceso.

El gasto de agua para el proceso descrito será de 1 gal/minu  
to por cada tina de enjuague.

## CONSIDERACIONES ECONOMICAS

## COSTOS FIJOS

## A) Equipo

1.- Tanques.- 6 tanques de placa negra (AISI - 1010) de 4.76 mm. de espesor, de 1.15 m. de largo, 1.00 m. de ancho y 0.90 m. de fondo, con un costo de 4,500.00 pesos cada uno \$ 27,000.00

Los tanques que llevarán recubrimiento, son el de mordentado y el de activación. La superficie por recubrir es de 3.0 m<sup>2</sup> aproximadamente por tanque. El precio del recubrimiento con una capa de poliester es de 200.00 \$/m<sup>2</sup>. \$ 1,200.00

Un tanque para niquelado de acero inoxidable tipo 316 de 4.76 mm. de espesor, de 1.25 m. de largo, 1.00 m. de ancho y 0.90 m. de fondo con un costo de \$ 12,500.00

Un tanque para enjuague doble de las siguientes dimensiones: largo 2.00 m. ancho 1.15 m. fondo 0.90 m. \$ 8,000.00

Aislamiento de 2,54 cm. de espesor para los tanques de niquelado, mordentado, desengrase y activación, con un valor de 40.00 \$/m<sup>2</sup>. El area total por aislar es de 12.5 m<sup>2</sup>. \$ 500.00

\$ 49,200.00

## 2.- Serpentina.-

Un serpentín para desengrase de tubería de fierro negro ced. 40 de 2.54 cm. de diámetro por 8.5 m. de long.

\$ 1,150.00

Dos serpentines de tubería de acero inoxidable tipo 316 cd. 40 para los tanques de mordentado y activación de 25.4 mm. de diámetro por 6 m. de longitud c/u.

\$ 3,600.00

\$ 4,750.00

3.- Una caldera instalada como la descrita anteriormente.

\$ 50,800.00

4.- Un filtro para soluciones ácidas con capacidad para filtrar 1150 l/h.

\$ 5,000.00

5.- Un sistema de agitación que consta de una hélice y un motor eléctrico de 1/2 Hp.

\$ 5,250.00

6.- Calentadores eléctricos: Los calentadores serán de titanio para inmersión, de 70 cm. de largo y de diámetro 2.54 cm.

4 calentadores de 2500 watts a \$ 1,750.00 c/u

\$ 7,000.00

1 calentador de 2000 watts

\$ 1,400.00

1 termostato de  $\pm 1/2$  °F de exactitud

\$ 1,100.00

1 contactor magnético

\$ 1,900.00

\$ 11,400.00

\$ 126,400.00

## B) Depreciación.

1.- Para el equipo en general se considera una depreciación a 10 años, a excepción del recubrimiento. \$ 12,700.00

2.- El recubrimiento deberá cambiarse cada dos años. \$ 600.00

\$ 13,300.00

## C) Instalación del equipo.

Se considera 20 % del equipo principal. \$ 25,300.00

## D) Instalación eléctrica.

Se considera 7 % del equipo principal. \$ 8,850.00

E) Equipo y material para oficinas y laboratorio. \$ 15,000.00

## F) Terreno y construcción.

Se consideran 150 m<sup>2</sup> con valor de 700.00 \$/m<sup>2</sup>. \$ 105,000.00

## G) Seguros.

Se considera 2 % del equipo principal. \$ 2,550.00

## H) Gastos de administración y ventas.

Aunque parte de los gastos de ventas están comprendidos dentro de los costos variables se considerarán en este caso como fijos únicamente.

1 contador público \$ 4,000.00/mes \$ 48,000.00

1 agente de ventas \$ 2,000.00/mes \$ 24,000.00

1 secretaria \$ 1,500.00/mes \$ 18,000.00

\$ 90,000.00

TOTAL DE COSTOS FIJOS \$ 386,400.00

GERENCIA DE PRODUCCION	ALMACEN DE MATERIA PRIMA
------------------------------	--------------------------------

CUARTO DE CALDERA
-------------------------

RECEPCION DE MATERIAL Y MONTAJE
--

DESENGRASE	ENJUAGUE	MORDENTADO	ENJUAGUE	ACTIVACION
ENJUAGUE	NIQUELADO	ENJUAGUE DOBLE	ENJUAGUE DOBLE	

EMPAQUE Y ALMACEN DE PT.	BAÑOS	LABORATORIO
-----------------------------	-------	-------------

U. N A M		
FACULTAD DE QUIMICA		
V.M.Kuri	Distribucion	ACT:
Tesis 74	de la planta	ESC: 10m:5m m

## COSTOS VARIABLES

A) Materia prima: Se trabajan 300 días al año, 8 horas diario teniendo una producción de 1500 m<sup>2</sup>/año.

1.- Desengrase (se considera cambiarlo cada mes)

0.04 Kg/l x 1000 l/mes x 1.20 \$/kg x 12 meses      \$      600.00

2.- Mordentado

Acido sulfúrico      1112 kg/año    x    1.30 \$/kg      \$    1,450.00

Acido Crómico              20 kg/año    x    120.00 \$/kg      \$    2,400.00

3.- Activación (se considera cambiarlo cada 2 meses)

Cloruro de paladio; de acuerdo con los datos que se tienen de la importación de este producto (fracción-arancelaria # 2849C 008) el precio es de 2,115.00 -- \$/kg

0.4 g/l x 900l. x 2115.00 \$/kg      \$    761.40

Acido clorhídrico

0.6 g/l x 900 l x 10.00 \$/kg      \$      5.40

\$ 761.40 + \$ 5.40 = 766.80 x 6      \$    4,600.00

4.- Niquelado

a-) Sulfato de níquel

22 g/l x 19.40 \$/kg x 1000 l      \$    426.80

b-) Acetato de sodio

22 g/l x 7.00 \$/kg x 1000 l      \$    154.00

c-) Tiosulfato de sodio

0.025 g/l x 25.00 \$/kg x 1000 l.      \$    0.60

d-) Hipofosfito de sodio

18.75 g/l x 41.00 \$/kg x 1000 l.      \$ 769.00

\$    1,350.00

Cálculo del consumo de níquel

La velocidad de deposición es de 0.5715 micras por minuto, la carga estará en el baño durante 5 minutos, el espesor que aumenta en ese período es de - 2.8575 micras por lado.

$2.8575 \text{ micras} \times 3.937 \times 10^{-5} \text{ pulg/micra} = 11.25 \times 10^{-5} \text{ pulg/lado}$  por los dos lados es de  $22.5 \times 10^{-5}$  pulgadas

El área que se recubre por día es:

$0.625 \text{ m}^2/\text{hora} \times 8 \text{ h/día} \times (3.28)^2 \text{ ft}^2/\text{m}^2 = 53.79 \text{ ft}^2/\text{día}$

Sabemos que por cada pie cuadrado por recubrir se necesitan 4 gramos de níquel.

$4 \text{ g/ft}^2 \times 53.79 \text{ ft}^2/\text{día} = 215.16 \text{ g/día de níquel}$

El sulfato de níquel hexahidratado contiene 22.3 % de níquel.

$$\frac{215.16 \times 100}{22.3} = 964.84 \text{ g/día de sulfato de níquel}$$

$964.84 \text{ g/día} \times 300 \text{ días/año} \times 19.45 \text{ $/kg}$

\$    5,615.33

Cálculo del consumo de hipofosfito de sodio

Por cada ion níquel utilizado se necesitan 2.12 - -  
iones de hipofosfito.

$$\frac{215.16 \text{ g/día de ion níquel}}{58.69 \text{ g/g mol}} = 3.66 \text{ moles de níquel}$$

$$3.66 \times 2.12 = 7.76 \text{ moles de hipofosfito} \times 65 = 504.4 \text{ g.}$$

$$504.4 \times 1.35 = 681 \text{ g de hipofosfito de sodio al -}$$

día

$$681 \text{ g/día} \times 300 \text{ días/año} \times 41.00 \text{ \$/kg} \quad \text{\$ } 8,376.30$$

Acetato de sodio:

$$289 \text{ kg/año} \times 7.00 \text{ \$/kg} \quad \text{\$ } 2,023.00$$

Tiosulfato de sodio:

$$3.5 \text{ kg/año} \times 25.00 \text{ \$/kg} \quad \text{\$ } 87.50$$

$$\text{TOTAL DE LA TINA DE NIQUEL} \quad \underline{\text{\$ } 16,102.13}$$

$$\text{TOTAL DE LAS SOLUCIONES} \quad \text{\$ } 26,500.00$$

B) Mano de obra

1 Ingeniero químico	\\$ 6,000.00/mes	\\$ 72,000.00
1 laboratorista	\\$ 3,000.00/mes	\\$ 36,000.00
6 obreros	\\$ 1,650.00/mes c/u	<u>\\$ 118,800.00</u>
		\\$ 226,800.00

C) mantenimiento

$$\text{Se considera 6\% del equipo principal} \quad \text{\$ } 7,500.00$$

## D) Servicios

## 1.- Agua

El consumo del agua esta dado principalmente por las -  
tinas de enjuague:

$$V = 1 \text{ gal/min} \times 3.78 \text{ l/gal} \times 480 \text{ min/día} \times 300 \text{ días/año}$$

$$V = 544,320 \text{ l/tina} \times 4 \text{ tinas} = 2,177.28 \text{ m}^3 \times 0.70 \text{ \$/m}^3 \quad \$ \quad 1,524.00$$

## 2.- Energía eléctrica (Base: 1 KWH \$ 0.20 tarifa 8 N)

Como se tiene muy poco equipo eléctrico, se considera -  
que el consumo de energía eléctrica es de 35 Hp/h.

$$35 \times 0.746 \times 2400 \text{ h/año} \times 0.20 \text{ \$/KWH} \quad \$ \quad 12,532.80$$

## 3.- Combustible (Base: 0.35 \$/l de diesel)

El consumo de combustible en la caldera es de 25 l/h

$$25 \text{ l/h} \times 2400 \text{ h/año} \times 0.35 \text{ \$/l} \quad \underline{\underline{\$ \quad 21,000.00}}$$

$$\$ \quad 35,057.00$$

## e) Varios

$$\text{Se considera el 1 \% del costo del equipo principal.} \quad \$ \quad 1,250.00$$

$$\text{TOTAL DE COSTOS VARIABLES} \quad \$ \quad 300,000.00$$

Costo de venta = Costos fijos + Costos variables

$$\text{C.V.} = 400,000.00 + 300,000.00 = \$ \quad 700,000.00$$

Costo del Producto = Costo de venta/m<sup>2</sup> niquelados

$$C. P. = \$ 700,000.00/1500 \text{ m}^2 = \$ 466.66/\text{m}^2$$

Precio de Venta = Costo del Producto + Ganancia Bruta

De acuerdo con el Vilbrandt, se considera una ganancia --bruta del 30%.

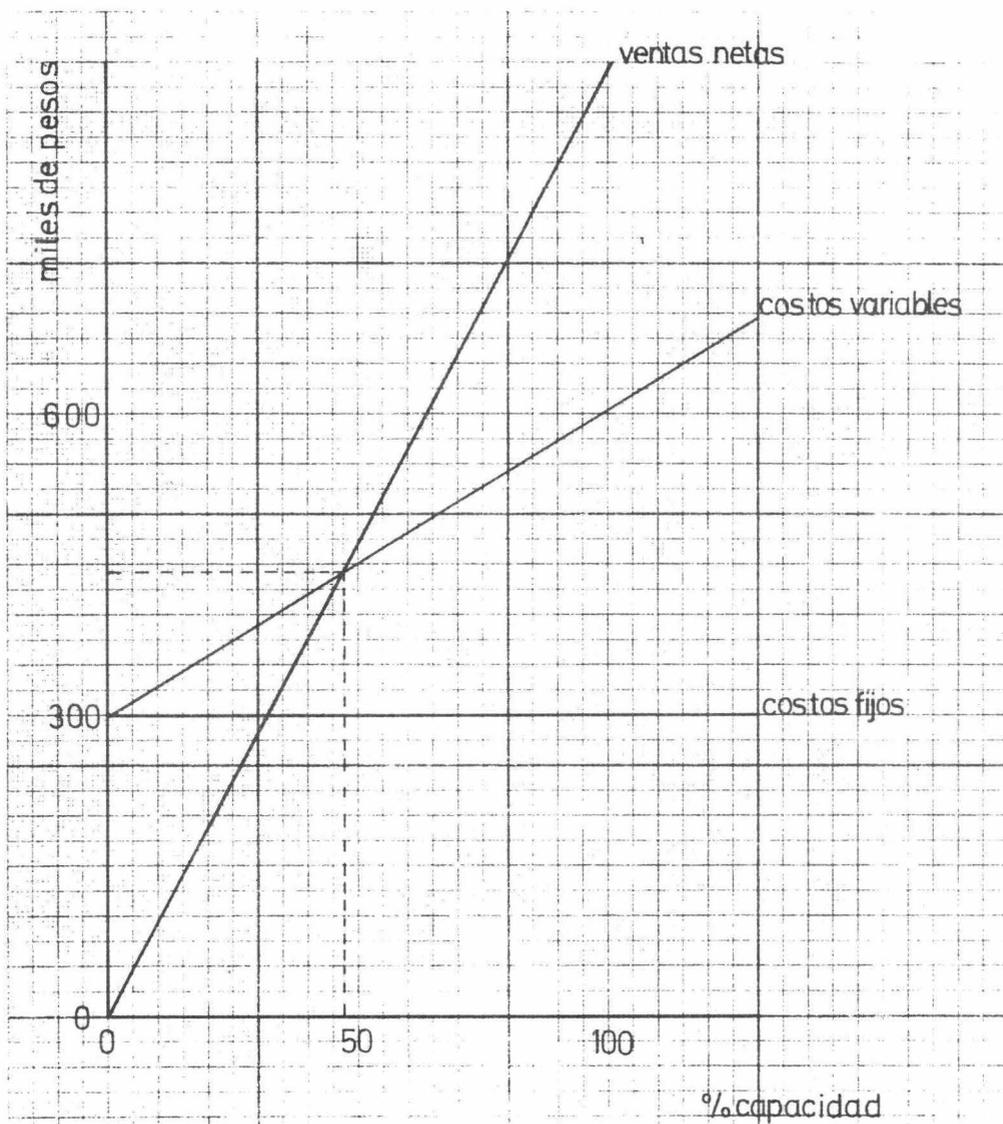
$$P. V. = 466.66 + (466.66 \times 0.3) = 606.66 \text{ \$/m}^2$$

$$\text{Ganancia bruta} = 1500 \text{ m}^2 \times 140 \text{ \$/m}^2 = \$ 210,000.00$$

Consultando la Ley del Impuesto Sobre la Renta, se tiene que reducir el 32 % del impuesto sobre el ingreso Global Gravable (Ganancia Bruta)

$$\text{Ganancia Neta} = 210,000.00 - (210,000.00 \times 0.32) = \$ 142,800.00$$

$$\text{RENTABILIDAD} = 142,800.00/700,000.00 \times 100 = 20.4 \%$$



GRAFICA DE PUNTO DE EQUILIBRIO

## C O N C L U S I O N E S

Se propone formar una sociedad de 10 socios con una aportación de \$ 100,000.00 cada uno.

El proyecto es aceptable económicamente ya que la ganancia-después del impuesto es bastante atractiva.

Si se toma en consideración que el método del proceso es altamente especializado y debido a la diversidad de artículos que se pueden procesar el precio de venta es aceptable.

De la gráfica de punto de equilibrio, se deduce que para comenzar a tener ganancias, deben niquelarse como mínimo 705 metros-cuadrados al año.

Aunque la técnica de este proceso en México todavía no está lo suficientemente perfeccionada se considera que en un término de tres a cinco años pueda automatizarse el proceso, lo que nos obliga a pensar en instalar un tablero de control eléctrico por medio-del cual se pueda controlar el tiempo de residencia del material - en cada tina, lo cual se traduciría en un aumento de material ni--quelado ya que los tiempos muertos se reducirían al mínimo.

En lo que se refiere a materiales que son buenos conducto--res de la electricidad y aquellos que se niquelan únicamente con - fines decorativos, aún no se puede competir en precio con el méto--do electrolítico.

## B I B L I O G R A F I A

Graham, Kenneth A.  
Manual de Ingeniería de los recubrimientos electrolíticos.  
Editorial CECSA  
México 1967.

Burns, R.M. & Bradlel W.W.  
Protective Coatings for Metals  
Reinhold Publishing Corporation  
New York 1955.

Narcus, Harold  
Metalizing of Plastics  
Reinhold Publishing Corporation  
New York 1960.

Begeman M. L. & Amstead B.H.  
Manufacturing Processes  
John Wiley & Sons, Inc.  
6a. Edición 1969.

Rodgers, Thomas M.  
Handbook of Practical Electroplating  
The Mac Millan Company. 2a. Edición  
New York 1960.

Field, Samuel y A. Dudley Weill  
Recubrimientos Electrolíticos  
Editorial Gili Gustavo  
Barcelona 1955.

Perry, J.H.  
Manual del Ingeniero Químico  
Editorial UTEHA 3a. Edición  
México 1966.

Kern, Donald Q.  
Procesos de transferencia de calor  
Editorial CECSA 3a. Edición  
México 1960.

Chilton Cecil H.  
 Cost Enginnering in the process industries  
 Mc. Graw Hill Bock inc.  
 New York 1960.

REVISTAS Y FOLLETOS.

Sodium hypophosphite its use in electroless nickel plating  
 Stauffer Chemicals Company  
 Industrial Chemical

Filtration of electroplating solutions  
 Jack H. Berg  
 Serfilco División, Service Filtration Corp.

Metal Cleaning and Surface Tretments  
 Oakite Products, Inc. 1959

Metal Finishing  
 Agosto 1955  
 Junio 1962  
 Julio 1962  
 Octubre 1962

PATENTES U.S.  
 2,658,841 10 de Noviembre 1953  
 2,658,842 10 de Noviembre 1953  
 Process of Chemical Nickel Plating and Bath therefor

2,916,401 8 de Diciembre 1959  
 Chemical Reduction Nickel Plating Bath

2,955,944 11 de Octubre 1960  
 Electroless Nickel Plating Bath Control

2,975,073 14 de Marzo 1961  
 Corrosion Resistance of Electroless Nickel Plate

3,148,072 8 de Septiembre 1964  
 Electroless Deposition of Nickel

3,158,500 24 de Noviembre 1964  
 Process for Electroless Deposition

3,370,974 27 de Febrero 1968  
Electroless Plating on non-conductive materials

3,420,680 7 de Enero 1969  
Compositions and Process for Electroless Nickel Plating.