

101
201



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

METALIZADO DE PLASTICO, SIN CORRIENTE

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE :

I N G E N I E R O Q U I M I C O

P R E S E N T A

ALFREDO LEON TREJO PORRAS

MEXICO, D. F.

1989

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

I N D I C E

	PAG
I. INTRODUCCION. - - - - -	1
II. METALIZADO DE PIEZAS O ARTICULOS - - - - -	6
a).- galvanotecnia. - - - - -	6
b).- procesos sin corriente. - - - - -	7
III. PROCESOS PARA EL METALIZADO DE PLASTICOS, - - - - - SIN CORRIENTE.	33
IV. SELECCION DEL PROCESO MAS ADECUADO. - - - - -	46
V. CONSIDERACIONES ECONOMICAS. - - - - -	61
VI. CONCLUSIONES. - - - - -	86
VII. BIBLIOGRAFIA. - - - - -	90

I.- INTRODUCCION

Es difícil visualizar a últimas fechas nuestro mundo moderno sin la presencia de los plásticos ya que estos son imprescindibles y ahora forman una parte integral de nuestro estilo de vida, dado que los podemos encontrar en muchos artículos y son ampliamente usados en la industria automotriz, en la industria electrónica, industria farmacéutica, en las aplicaciones domésticas, en instrumentos sofisticados de tipo médico o científico y en muchas industrias del ramo de la ingeniería.

En los plásticos encontramos propiedades y ventajas con las que no cuentan otros materiales, tales como; resistencia a la corrosión, algunos con poder de regresar a su forma anterior, bajo costo de manufactura, excelente técnica de producción en masa, son ligeros y fuertes, fáciles de revestir, al moldearse tienen una superficie bien terminada, baja conductividad, aunque algunas también podrían ser desventajas o estarían limitadas, dependiendo del uso al que se someta al plástico, es por eso que tanto diseñadores como ingenie-

ros enfocan su atención en éstos.

por otra parte, los plásticos aparecieron en otros recipientes, ya que antes se obtenían de las cortezas de los árboles, las gomas y resinas que mezcladas tomaban la consistencia de un plástico.

En la actualidad el panorama de los plásticos ha tomado una gran importancia, puesto que han sustituido una variedad de materiales.

La producción de plástico en México, ha tenido un crecimiento muy acelerado, debido a que las técnicas de producción han sido dominadas por algunas industrias químicas y petroquímicas que se han propuesto producir una gran variedad de materias primas para la elaboración de éstos importantes productos, muy útiles en el desarrollo del país.

por otro lado, la industria del plástico y la industria de la galvanoplastia se han unido para procesar artículos muy usados en varias industrias más y ahora vemos como los plásticos metalizados sustituyen al acero y otros materiales por sus propiedades especiales que presentan como son; una protección contra el exceso de calor, evitar una degradación

por la luz ultravioleta (u.v.), incrementar la fuerza de tensión, de fatiga, de flexión, etc.

Es por esto, que el punto que une a estas dos grandes industrias es, que ambas tienen como finalidad evitar el desgaste del objeto debido a la corrosión y al mismo tiempo darle una apariencia decorativa. Esto se logra con la galvanoplastia que utiliza materiales relativamente baratos para mejorar su aspecto externo y su resistencia a la influencia destructiva de los agentes atmosféricos o del medio en que trabajan y por otro lado los plásticos son de por sí, resis-
tentes a la corrosión.

El metalizado de plásticos ha tomado gran importancia en nuestro país, ya que podemos obtener fácilmente propiedades y apariencia metálica.

El problema que se tiene para un depósito metálico es que, el plástico no conduce la corriente eléctrica por lo cual primeramente es necesario hacer la superficie conductora. Esto involucra una serie de sustancias químicas de un costo muy elevado, es por eso que países altamente industrializados como Japón, Alemania, Estados Unidos de Norteamérica

trabajan activamente para abaratar el costo del producto terminado.

para evitar lo anterior, en la actualidad se cuenta con el proceso para depositar cobre o níquel por el método sin corriente, denominado en el idioma inglés "electroless" lo que ha sido posible dominar debido a una serie de investigaciones en los países altamente industrializados, aunque es de un costo elevado, es el que mejor resultados a dado. En nuestro país el proceso aún no se domina y las compañías dedicadas a la galvanoplastia han tenido que hacer altos pagos por esta tecnología y aún cuando a la fecha los resultados no son muy satisfactorios, el proceso es prometedor y esto implicará una gran utilidad para nuestro país, cuando se logre dominar.

El mercado de plástico metalizado es muy vasto y promisorio y el desarrollo de nuevas y extensas investigaciones en este campo es una necesidad imperante que contribuirá a la aplicación de la tecnología más adecuada.

En esta tesis el trabajo consistirá en definir algunos conceptos básicos y necesarios para el entendimiento del

proceso de depósito en los plásticos y que son usados en electroquímica. Se explicaran los procesos de depósito de cobre y níquel sin corriente, "electroless" y los procesos para metalizar el plástico, con el fin de seleccionar el más adecuado así como establecer el cálculo del equipo, para finalmente hacer algunas consideraciones económicas del proceso, que permitan definir su viabilidad industrial.

II. METALIZADO DE PIEZAS O ARTICULOS.

En el metalizado de piezas o artículos de plásticos se siguen una serie de pasos sencillos pero fundamentales para obtener las características deseadas en el producto terminado; por consiguiente, es necesario definir ciertos conceptos básicos usados en electroquímica para entender este proceso.

Por otro lado, es fundamental explicar el proceso para obtener una película conductora en un material primitivo no conductor, como lo es el plástico.

a).- GALVANOTECNIA.

Es la parte de la electroquímica que estudia los procedimientos para depositar una película metálica sobre un material primitivo. En esta definición se engloba la galvanostégia y la galvanoplastia.

galvanostégia.

Consiste principalmente en la producción de películas metálicas muy delgadas de algún metal o metales sobre la superficie primitiva de un objeto, que debe ser conductora, por medio de una fuente externa de electrones, como puede

ser una pila o un rectificador de corriente.

La corriente debe ser directa ya que es el único tipo de corriente que permite obtener depositos de metales a lo largo del tiempo pues la polaridad del electrodo donde se deposita el metal no cambia.

Galvanoplastia.

Se define como la producción o reproducción de películas metálicas de un espesor muy delgado sobre un artículo llevado a cabo por un depósito electrolítico sobre una superficie no conductora, para lograr esto, primero debemos hacer conductora la superficie del sustrato a revestir y posteriormente utilizando una fuente externa de corriente eléctrica de tipo directa se deposita el metal deseado, a partir de una solución electrolítica.

Este proceso también encuentra aplicación en la reproducción de moldes, vaciados y matrices de estampación estereotípica, que en realidad son depósitos de una capa gruesa metálica sobre un molde.

b).- PROCESOS SIN CORRIENTE.

El metalizado sin corriente, "electroless" en un mate-

rial no conductor, es un proceso que no es familiar ni conocido en detalle para muchos profesionales en la rama ingenieril.

Este se lleva a cabo mediante la reducción autocatalítica y controlada por interacción entre un ion metálico y un agente reductor previamente disueltos en una solución para obtener una película uniforme y continua.

Las primeras soluciones sin corriente "electroless" fueron desarrolladas alrededor del año 1840, para utilizarse en el plateado de espejos de vidrio, y algunas otras aplicaciones, pero tenían poca adhesión y las piezas eran totalmente encapsuladas, sus aplicaciones fueron puramente artísticas y decorativas. Sin embargo, los progresos fueron lentos hasta después de 1944, cuando A. Brenner y G. Riddell, redescubrieron que el hipofosfito era capaz de reducir los iones níquel a metal y entonces desarrollaron y patentaron el primer baño de níquel operado sin corriente eléctrica.

Estos depósitos metálicos tienen excelentes ventajas, entre las cuales son; buena resistencia a la corrosión, excelente uniformidad, y sobre todo bajo costo de mano de

obra, pero tambien tiene desventajas como son; alto costo químico, bajo brillo metálico, velocidad de depósito lenta, comparada con los métodos electrofíticos. (1)

Los depósitos de cobre o níquel sin corriente, "Electroless" tienen tres grandes aplicaciones como son; níquelado sobre metales, cobrizado de tableros de circuitos impresos, cobrizado o níquelado de plásticos, en ésta última aplicación, el metal depositado tiene doble función, primero, proporcionar una capa inicial eléctricamente conductora, y así el plástico puede ser recubierto electrofíticamente por métodos convencionales; y segundo, proporcionar la suficiente adhesión para soportar la parte electroquímicamente depositada. por lo expuesto anteriormente a continuación se presenta en detalle el proceso de níquelado sin corriente.

NIQUEL SIN CORRIENTE, "ELECTROLESS".

La mayoría de estos baños usan como agente reductor el hipofosfito de sodio, ($\text{Na H}_2 \text{PO}_2$), ya que éste tiene ventajas sobre otros reductores como son; hidrazina, los derivados del boro, incluyendo los amino boranos, las cuales son; bajo costo, facilidad de control, buena resistencia a la co-

rosión, etc. (1)

El trabajo de Greener y Riddal, condujo a usar el primer baño para metalizado de plástico, pero había un inconveniente, que la reducción era lenta o no se presentaba abajo de 95°C por consiguiente, este proceso no sería útil para el metalizado de plásticos, ya que éstos se deforman a altas temperaturas.

No fué sino hasta 1900, cuando el primer baño de níquel sin corriente fué introducido y ayudo al rápido crecimiento del plástico comercial metalizado, debido a que éste es operado a temperatura ambiente y es de gran estabilidad, pues no hay una autodescomposición.

A partir de esta fecha hasta nuestros días se han publicado un numero grande de patentes y artículos sobre varios tipos de baños operado sin corriente.

NIQUEL "ELECTROLESS" USANDO HIPOFOSFITO.

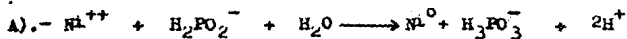
En un principio las formulaciones de un baño de níquel "electroless" fueron amoniacales y operadas a pH alto, mas tarde las soluciones ácidas fueron encontradas con varias ventajas sobre las primeras, como son; a.- alta velocidad

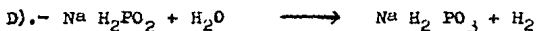
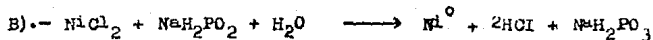
de revestido b.- mayor estabilidad c.- fáciles de controlar, es; por esto que éstas tienen mayor importancia a nivel comercial.

La composición principal del baño es, una sal de níquel, un agente reductor y una sal de algún ácido orgánico el cuál actúa doblemente, primero como amortiguador y segundo como agente complejante. Esta composición ha sido modificada radicalmente pero no ha cambiado, pues con la adición de ciertas sustancias se ha incrementado la velocidad de depósito y la estabilidad del baño.

La reacción de reducción níquel- hipofosfito es muy compleja, ya que no se deposita níquel puro y en su lugar se obtiene una mezcla de níquel metálico y fósforo de valencia cero lo cuál puede parecer inesperado ya que el fósforo elemental no puede ser producido por electrodeposición a partir de soluciones acuosas.

La reacción de reducción catalítica de los iones níquel por el hipofosfito se presenta por las siguientes reacciones

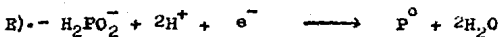




La reacción "A", indica que los iones níquel presentes son reducidos al estado metálico, mientras que los iones hipofosfito son oxidados a iones ortofosfito. Como se observa, la reacción se lleva a cabo en un baño ácido, a medida que procede la reacción, el pH del baño disminuye y esto hace a la solución ácida, por lo tanto se reduce la velocidad de reacción.

para la formación de fósforo elemental se han propuesto infinidad de mecanismos para explicarla y entenderla, pero aún es un problema que no ha quedado resuelto.

En el mecanismo actual se observa que se involucra un ión hidrógeno como el agente reductor y que su presencia puede justificarse con la reacción "A" y puede representarse así:



A temperatura ambiente, el níquelado puede dar depósitos de alrededor de 1 a 10% de fósforo, dependiendo de las condiciones específicas de la reacción.

Se ha observado que la cantidad de fósforo influye en la conductividad eléctrica, en las propiedades magnéticas, en la dureza del depósito resultante. Otras explicaciones se han propuesto y son también ampliamente aceptadas.

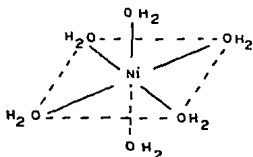
A medida que la reacción de reducción procede, la concentración de ortofosfito se incrementa, entonces hay una disminución en la velocidad de depósito y un pequeño incremento en el contenido de fósforo en dicho depósito.

La acumulación de ortofosfito en el baño, origina precipitación de fosfito de níquel debido al níquel libre que está presente en la solución, causando con esto, depósitos rugosos y descomposición espontánea del baño.

AGENTES COMPLEJANTES O QUELANTES.

La función de estos agentes complejantes es la de controlar la cantidad de níquel libre útil, para la reacción, formando un complejo con éste y así, evitar la precipitación de algún hidróxido o fosfuro de níquel.

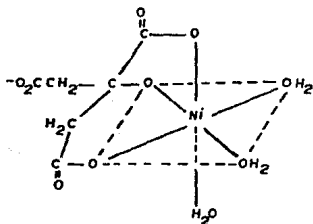
Como es sabido el níquel tiene dos números de coordinación que son 4 y 6. En una solución acuosa de una sal inorgánica de níquel se forma el ion hexa-acuoníquel, representado de la siguiente manera;



El tipo de agente complejante que utiliza un átomo para ocupar una posición de coordinación de un ion metálico se llama ligando monodentado. Aquellos que tienen dos o más átomos que pueden ocupar dos o más posiciones de coordinación son llamados ligandos polidentados. Dentro de los agentes más usados tenemos los monodentados como el ácido acético, de los bidentados el ácido aminoacético, de los tridentados el ácido aspártico y de los polidentados el ácido cítrico. Estos involucran una coordinación con el ion níquel a través

de átomos de oxígeno, nitrógeno o con ambos.

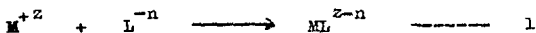
A continuación se presenta una molécula del ion hexaacuoníquel con el anión citrato, aunque éste es un ligando tetradentado, probablemente se coordina formando dos anillos quelantes de la siguiente manera:



de las muchas funciones del agente complejante, una de las más importantes es el mantenimiento y regulación de la concentración del ion metálico libre, en un rango específico de pH. Los agentes complejantes son donadores de electrones, pero también tienen una excelente afinidad con los iones hi-

drógeno tan buena como los iones metálicos libres, por lo tanto, existe una competencia entre los primeros y los segundos, para que el agente complejante actúe.

Cuando un agente complejante es adicionado a una solución que contiene iones metálicos libres, (M^{+Z}), el equilibrio se establece de la siguiente manera:



Donde ML^{Z-n} denota el complejo metálico y (L^{-n}) el agente complejante libre. La afinidad del agente complejante con el ion metálico libre se expresa por la constante de estabilidad, K_{ML} del complejo metálico.

$$K_{ML} = \frac{[M^{+Z}] [L^{-n}]}{[ML^{Z-n}]} \quad \text{-----} \quad 2$$

Despejando a M^{+Z} obtenemos:

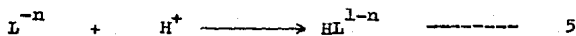
$$M^{+Z} = K_{ML} \frac{[ML^{Z-n}]}{[L^{-n}]} \quad \text{-----} \quad 3$$

En forma analoga a la definicion de pH, tomando el logaritmo negativo de la concentracion del ion metalico, pM, es definido de la siguiente manera:

$$pM = K_1 + \log \frac{[L^{-n}]}{[ML^{2-n}]} \quad \text{-----} \quad 4$$

donde $K_1 = -\log K_{ML}$

Anteriormente se dijo que el agente complejante muestra una afinidad con el ion hidrogeno, la cual puede ser representada de la siguiente manera:



con la constante de equilibrio

$$K_{HL} = \frac{[H^+][L^{-n}]}{[HL^{1-n}]} \quad \text{-----} \quad 6$$

Despejando L^{-n} obtenemos:

$$L^{-n} = \frac{[HL^{1-n}]}{[H^+]} K_{HL} \quad \text{-----} \quad 7$$

sustituyendo la ecuación # 7, en la ecuación # 4 el resultado es el siguiente;

$$pM = K_2 + \log \frac{[HL^{1-n}]}{[ML^{2-n}]} + pH \quad \text{-----} \quad 8$$

La ecuación anterior nos dice que una disminución en el pH, (un incremento en la concentración del ion hidrógeno), resulta una disminución en pM. En otras palabras, la adición del ion hidrógeno causa un incremento en la concentración del ion metálico libre, pero no se incrementa la velocidad de depósito.

La tolerancia del ion ortofosfito por la solución, se incrementa cuando los agentes complejantes están presentes, con éstos se puede trabajar a valores de pH altos entre 4.2 y 5.0 sin que ocurra una precipitación del baño, ya que ésta es función del pH y la concentración del ortofosfito,

también incrementan la velocidad de depósito como lo demuestra A. Brenner y C. H. de Minjer, en una gráfica donde relaciona la velocidad de depósito con la concentración de varios ácidos orgánicos, en baños que contienen una concentración determinada de cloruro de níquel, ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 30 g/l; hipofosfito de sodio (NaH_2PO_2), 10 g/l.

En la gráfica observamos que los agentes complejantes, más efectivos son: ácido láctico, e hidroxiaético.

El efecto de los agentes complejantes sobre algunas propiedades comunes es pronunciado como son: el color, reducción de potencial, solubilidad, etc. (2)

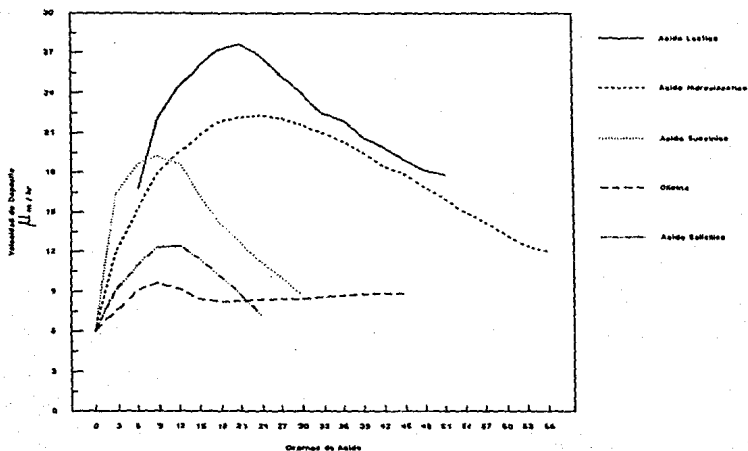
El uso de agentes complejantes tiene también un pronunciado efecto sobre la calidad del depósito, sobre todo en el contenido de fósforo, la fuerza interna y la porosidad.

Algunas veces, también son usadas como agentes complejantes soluciones de amoníaco, hidróxidos alcalinos y soluciones de carbonato, ya que además regulan el pH.

AGENTES AMORTIGUANES:

Como el volumen de hidrógeno aumenta al proceder la reacción de reducción como lo demuestra la reacción "c", el

VELOCIDAD DEL ION NIQUEL EN FUNCION DE ALGUNOS
ADITIVOS REGULADORES.



FACULTAD DE QUIMICA
Tesis Profesional: Metalizado de Plastico sin Corriente.
ALFREDO LEON TREJO PORRAS.

pH disminuye y la velocidad de depósito se detiene cuando el valor de pH es menor de 4. Así que para retardar la disminución del pH, se adicionan agentes amortiguantes a la formulación de una solución de níquel electroless. Como se dijo al principio la adición de un ácido orgánico tiene doble función, como agente amortiguante y como agente complejante, entonces los mismos que se presentaron como agentes complejantes se utilizan como agentes amortiguantes con bastante éxito.

La necesidad de controlar la variación del pH es importante por dos razones, primero, para mantener la velocidad de depósito y segundo, mantener la composición del baño tan constante como sea posible.

INHIBIDORES O ESTABILIZADORES.

Uno de los aspectos más difíciles del depósito de níquel sin corriente es, sin duda alguna, el control de la reacción de reducción, de modo que un depósito no ocurre solamente sobre un sustrato catalítico, sino también sobre partículas extrañas dentro del baño. Una solución de níquel electroless puede operarse por varias horas o días sin esta-

bilizadores, pero puede ocurrir una descomposición inesperada, que normalmente es iniciada por la presencia de núcleos sólidos coloidales como polvo o partículas extrañas que se introducen en el baño o puede ser generada en el baño como un exceso en la concentración de ortofosfito, ya que éste rebasó el límite de solubilidad.

Un depósito ocurre a la velocidad predicha y solamente sobre un sustrato a revestir, cuando se adicionan pequeñas cantidades de inhibidores catalíticos en la solución, ya que éstos son adsorbidos sobre algunas partículas coloidales que están presentes y con esto previenen la reducción de níquel sobre su superficie, suprimiendo con esto la descomposición espontánea del baño.

Los inhibidores más efectivos están clasificados dentro de los siguientes grupos: a.-Tiocompuestos, como la tiourea, $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$, el tiosulfato de sodio, $(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, b.-Oxianiones, como molibdatos, (MO_4^-) , iodatos, (IO_3^-) , c.-Metales pesados, como plomo, bismuto.

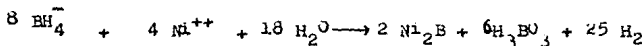
Las cantidades de estabilizador usadas son extremadamente críticas, ya que la presencia de bastante estabiliza-

dor detiene totalmente la reacción, mientras que pequeñas cantidades son efectivos.

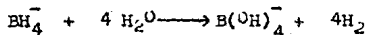
NIQUEL "ELECTROLESS" UTILIZANDO BOROHIDRUROS.

Una solución de depósito de níquel puede usar con bastante éxito un agente reductor del tipo borohidruro, ya que éstos son los más poderosos, se recomienda utilizar alguno que sea soluble en agua, aunque se prefiere el borohidruro de sodio.

Es bastante conocido, que los iones borohidruro reaccionan espontáneamente con las soluciones acuosas de las sales de níquel, para formar un precipitado negro de boruro de níquel (Ni_2B), de la siguiente manera:

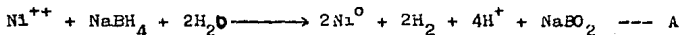


La hidrólisis de los iones borohidruros es muy rápida en soluciones ácidas o neutras, representandose así:

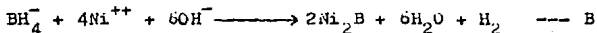


Para evitar lo anterior, el depósito deberá llevarse a cabo dentro de límites alcalinos, de tal manera que si el pH de la solución se ajusta entre valores de 12 y 14, la formación de boruro de níquel se suprime y el producto de la reacción es níquel elemental. (2)

Aunque la reacción es compleja, se puede representar de la siguiente manera:



Debido a que el depósito de níquel contiene de 1 a 3% de boro, la reacción que explica la producción de éste es la siguiente:



El hidrógeno generado reduce el pH y cuando éste decrece abajo de 12, ocurre una descomposición espontánea del baño, es por eso que, requieren la adición constante de algún hidróxido metálico alcalino, así como de algún agente complejante como son: anión tartrato, citrato y la etilendiamina que es efectiva entre los valores de 12 y 14 de pH.

bastantes investigaciones sobre los borohidruros son estudiadas a fondo para poder emplearse con mejor eficiencia, ya que teóricamente debería ser más eficaz que el hipofosfito, pero aún falta mucho por estudiar y se requieren resultados más prometedores.

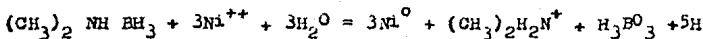
Las desventajas que presenta son: alto costo, su eficiencia es inferior al 20%, comparada con la del hipofosfito de 37%, así como dificultad de manejo y control.

NIQUEL "ELECTROLESS" UTILIZANDO AMINO-BORANOS.

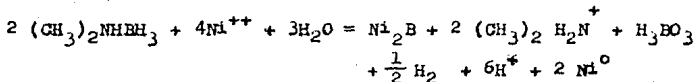
En un depósito de níquel electroless también encuentran su uso comercial los agentes reductores conocidos como amino boranos, limitándose a dos compuestos: a.- N-dimetilamino borano, b.- N-diethylamino borano, siendo el primero el más utilizado por ser soluble en agua, mientras que el segundo requiere de un alcohol de cadena corta.

Los amino boranos son usados con éxito en baños alcalinos, ácidos, o neutros, que es una ventaja sobre los otros reductores.

La reacción de reducción es representada de la siguiente manera,



La composición de níquel-boro obtenida es una función del pH de operación, el contenido de níquel aumenta cuando el pH se incrementa. El contenido de boro varía de 0.2 a 4.0 % de boro de acuerdo con la siguiente reacción:



Los constituyentes en baños basados con hipofosfito son también aplicables a baños con amino boranos, como son agentes complejantes, estabilizadores, etc.

Los baños basados con amino boranos son considerados más costosos que los anteriores, ésta es tal vez la razón por lo cual su uso a nivel comercial es restringido.

NIQUEL ELECTROLESS UTILIZANDO HIDRAZINA:

también se puede reducir iones níquel en solución acuosa con la hidrazina, aunque su depósito es 99% de níquel, éste no tiene apariencia metálica y el baño tiende a ser muy

inestable por lo que su control es difícil, los depósitos son quebradizos y muy tensionados.

La reacción de revestido es la siguiente:



por las razones anteriores, el uso de hidrazina está muy restringido a nivel comercial.

DEPOSITO DE COBRE SIN CORRIENTE, "ELECTROLESS".

El depósito de un metal diferente al níquel "electroless" en un no conductor como lo es el plástico, lo encontramos en el depósito de cobre sin corriente, "electroless". Este también es ampliamente usado en el metalizado de circuitos impresos. Existen ciertas controversias acerca de cual de los dos es mejor si cobre o níquel, pero ambos son ampliamente utilizados.

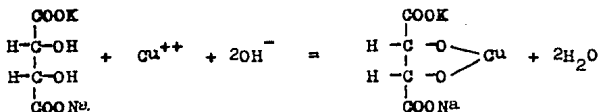
Los baños a nivel comercial de cobre "electroless" utilizan como agente reductor, el formaldehído. Estos son

operados a pH cercano a 11, debido a que el poder de reducción del formaldehído se incrementa con la alcalinidad de la solución. El baño de cobre está basado en una modificación de la reacción de Penling, cuyos componentes son: una fuente de cobre, un agente reductor, un agente complejante, y una solución alcalina.

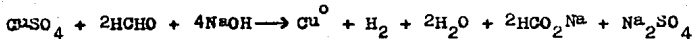
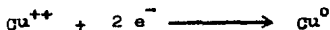
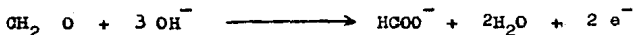
Las funciones y componentes del baño son las siguientes; la fuente de cobre es una sal inorgánica de cobre, como el sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), esta proporciona los iones cobre necesarios para el depósito. El agente reductor, es el formaldehído y es el que inicia la reacción química desarrollándose así un depósito sobre el sustrato catalítico. Algunas veces se utilizan otros tipos de agentes reductores como: hipofosfito de sodio, marazina y derivados de boro, aunque ninguno de ellos presenta las ventajas del formaldehído, entre ellas: bajo costo, excelente poder de reducción a baja temperatura, dependiente solo del pH.

El agente complejante es normalmente tartrato de sodio y potasio ($\text{NaKC}_4\text{O}_6\text{H}_4$), aunque otras sustancias han funcionado con bastante éxito, como son: EDTA, aminas y ácidos amino

poliacéticos, la función de éste, es la de formar un complejo con los iones cobre y evitar una precipitación de hidróxido de cobre. un ejemplo es la reacción siguiente entre tartrato de sodio y potasio y los iones cobre:

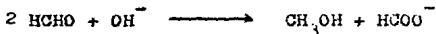


El mecanismo propuesto para la reacción total que ocurre es el siguiente:

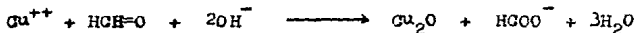


de la última reacción, se observa que por cada átomo-g

de cobre en el depósito, se necesita como mínimo dos moles de formaldehído y 4 moles de hidróxido, aunque en la práctica mucho más cantidad de éstos es consumida, debido a que hay una desproporción entre el formaldehído e hidróxido formando el metanol y el ion formato, como lo demuestra la reacción de Cannizzaro;



Otro tipo de reacción de competencia que no es catalítica y que hay una tendencia para la formación de óxido cuproso, aumentando con ésto el consumo de formaldehído e hidróxido, es representada con la siguiente reacción:



Las partículas desproporcionadas, pueden ser activas catalíticamente y fundamentales, para una descomposición del baio, con una formación de polvo de cobre. Este fenómeno indeseable puede ser controlado burbujeando aire u oxígeno a

través del baño. Probablemente hay una redisolución de las partículas de óxido cuproso, tan rápidamente como se forman.

Una agitación vigorosa de la solución también tiende a estabilizar el baño, por mantenimiento de un alto grado de saturación de aire, mientras que el burbujeo de un gas inerte a través del baño no tiene ningún efecto estabilizador.

También se han utilizado una serie de sustancias que dan estabilidad a los baños y los más efectivos son: tio-urea, mercaptobenzotiazol, metil glutimil, compuestos de selenio, éstos actúan con bastante éxito en pequeñas concentraciones, probablemente la función de éstos compuestos es la adsorción preferencial sobre diminutas partículas, desactivando su núcleo, permitiendo con esto que no exista una reducción de cobre sobre su superficie.

para aumentar la vida útil del baño y tener un buen funcionamiento de éste, es necesario controlar las siguientes variables,

a).- pH:

Este parámetro debe controlarse, debido a que el formaldehído trabaja solamente a valores de pH altos, así que

para evitar una descomposición del baño, al terminar la jornada laboral el pH debe abatirse con ácido sulfúrico a valores inferiores de 7, ya que a este valor, el reductor no podrá actuar. para volver a trabajar, el pH se elevará con hidróxido de sodio.

b).- Temperatura;

este tipo de baño opera a temperatura ambiente, porque a temperaturas altas la descomposición del mismo se facilita y acelera. Se ha observado que al aumentar la temperatura, la velocidad de depósito asciende, pero la velocidad de descomposición se acelera.

c).- Volumen/Área;

Cuando una mayor área superficial catalítica es expuesta por unidad de volumen de solución, la descomposición del baño aumenta. Esto es debido a la cantidad de hidrógeno que produce.

Aproximadamente $250 \text{ cm}^2/\text{l}$ es la máxima área que puede ser usada con seguridad. (16)

Recientemente, se han utilizado baños con una densidad de carga recomendada del orden de $300 \text{ cm}^2/\text{l}$. (17)

El control analítico, se recomienda hacerlo en forma continua y evitar que se introduzcan partículas y materia extraña en el baño, ya que éstas favorecen y facilitan la descomposición, es recomendable también una filtración continua.

También se recomienda adicionar pequeñas cantidades de agentes humectantes para reducir la tensión superficial y mejorar la calidad de los depósitos, tales como: sales sódicas de sulfatos o sulfonatos ácidos de alcoholes orgánicos superiores, los preferidos son: lauril sulfonato de sodio y lauril sulfoacetato de sodio. (16)

III).-PROCESOS PARA EL METALIZADO DE PLÁSTICOS,

SIN CORRIENTE.

Hasta la fecha se han divulgado una amplia variedad de métodos para el metalizado de plásticos y materiales no conductores, el problema empieza cuando se aplica una película conductora o semiconductor sobre su superficie debido a que ésta es la base para una subsecuente capa de metal. Dependiendo del material y el tipo de película aplicada, el depósito tendrá una excelente adhesión o nula adhesión. Cuando presenta la segunda cualidad, y se electrodeposita otro metal, la pieza es totalmente encapsulada, es por eso que algunos de estos métodos no han resultado satisfactorios o son de aplicación limitada a causa de su elevado costo, adherencia mediocre, porosidad elevada, propiedades mecánicas insuficientes y por otras muchas razones.

El plástico es primeramente preconicionauo por varios medios para obtener una superficie enlazable entre el plástico y metal, uno de éstos es el de los condacionadores químicos que es el más apropiado y el que ofrece un futuro más promisorio, aunque es posible el uso de adhesivos. Este mé-

todo fue el más popular y exitoso en el pasado y podría ofrecer mejores perspectivas cuando la tecnología de los adhesivos progrese en un futuro no muy lejano.

El proceso para metalizar plásticos más usado hoy en día es sin duda alguna, el depósito sin corriente "Electroless" y es un proceso muy complejo; y su uso depende de la interacción optimizada de cinco soluciones que operan en las siguientes etapas o pasos:

- 1).- Ataque
- 2).- Neutralización
- 3).- Catalisis
- 4).- Aceleración
- 5).- Metalizado sin corriente

Cada solución es una parte fundamental de la operación y cada una tiene su propia complejidad. Estas etapas serán explicadas y discutidas por separado.

1).- Ataque:

La solución utilizada como ataque es una mezcla caliente, balanceada de ácido crómico, ácido sulfúrico, ácido fos-

fórico y agua, el ácido fosfórico actúa como regulador del pH. Este ataque es operado cerca del punto de saturación y es altamente oxidante.

El ataque, es de vital importancia para dar una buena adhesión entre el plástico y el metal, existen dos teorías para explicar esta adhesión y son: la unión química y la del mecanismo de anclaje.

Aunque existe cierta controversia en estas dos teorías, se puede decir que, cuando el plástico es atacado, se produce una microrugosidad en la superficie, por lo tanto, hay un evidente incremento en el área superficial y entonces da soporte a la teoría del mecanismo de anclaje.

Por otro lado, el ataque disuelve parte del polímero por oxidación y modifica químicamente la superficie del plástico. La superficie original es hidrofóbica y después del ataque, es una superficie hidrofílica.

Ciertos compuestos también son formados por oxidación parcial durante el ataque y son identificados en la superficie como: alcoholes, ácidos carboxílicos y probablemente compuestos sulfonados. La presencia de dichos compuestos se-

presta para soportar la teoría de la adhesión por unión química.

Los enlaces entre metal-plástico que se obtienen por este medio son superiores a los obtenidos por otros medios, es por eso que, se prefiere utilizar éste, y el tiempo de tratado es de 1 a 10 minutos, dependiendo del tipo de plástico.

Otra forma de hacer una microrugosidad sobre el plástico es por el medio mecánico, que utiliza cierto tipo de abrasivos para este fin, pero tiene ciertas desventajas como son: el tiempo de tratado es de 1 a 5 horas, no presenta buena adhesión entre metal y plástico.

2).- Neutralización:

El plástico atacado, es enjuagado con agua limpia para remover la solución viscosa de ácido crómico-sulfúrico. Aun con esto bastante cromo esta presente en la superficie y podría interferir con el catalizador y en la solución electroless, en esta última solamente 5 a 15 ppm es suficiente para inhibir completamente la reacción. El cromo hexavalente podría oxidar los iones estanosos de la solución catalítica y

acortar la vida útil de la solución.

La función de este baño es para que el exceso de cromo hexavalente se remueva de la superficie plástica y se reduzca a cromo trivalente, que es inofensivo. Una gran variedad de agentes reductores ligeramente ácidos o básicos son usados para este propósito.

3).- Catálisis:

Consiste básicamente en depositar pequeñas cantidades de un material catalítico, sobre una superficie no conductora, que actúan como iniciadores de un depósito electroless, en un principio fue utilizado un procedimiento llamado de dos pasos, sensitización y activación.

La sensitización consiste en la adsorción de un agente reductor sobre la superficie. Esta solución se basa en compuestos de estaño, particularmente el cloruro estannoso con un exceso de ácido clorhídrico para prevenir una hidrólisis y puede aplicarse antes o después de la activación para dar una mejor actividad y cobertura catalítica. La solución es utilizada de 20 a 25°C con un tiempo de inmersión de 1 a 3

minutos.

La activación consiste en depositar un material catalítico sobre la superficie, básicamente son sales de metales preciosos. Debido a que todas las reducciones a metal sin corriente son deshidrógenaciones, el metal catalizador más eficiente para éstas es el cloruro de paladio.

Los iones estaño adsorbidos reaccionan con los iones paladio para formar paladio metálico de la siguiente manera:



La solución es utilizada de 20 a 40°C, con un tiempo de inmersión de 30 a 60 segundos.

Muchos investigadores han examinado y reportado los factores que influyen en la eficiencia del cloruro de paladio como material catalítico. Estos factores son:

- a).- Temperatura
- b).- Concentración
- c).- pH
- d).- Tiempo de inmersión
- e).- Estado de la superficie

A valores bajos de pH y temperatura la eficiencia de cobertura catalítica es nula, ya que la reacción no se lleva a cabo. A medida que el valor de pH y temperatura aumente, el área de depósito es mayor, pero también existe un valor máximo en el cual la cobertura catalítica disminuye.

En concentraciones altas de cloruro de paladio el valor de pH casi no influye, pero a concentraciones bajas el pH es crítico. El pH óptimo se tiene entre 4 y 4.6 y a concentraciones de 0.01 g/l de cloruro de paladio a temperatura ambiente.

El tiempo de inmersión influye en la cobertura catalítica, ya que a mayor tiempo, mayor será la cobertura, pero se debe dar el tiempo óptimo, ya que podría resultar bastante costoso.

El estado de la superficie toma un papel importante debido a que, si la superficie no presenta la debida rugosidad proporcionada por los ataques, no habrá sitios en los cuales se deposite el metal catalítico, obteniendo una insuficiente cobertura catalítica.

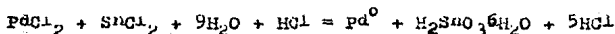
Otros tipos de metales catalíticos son el platino que

es muy poco usado, debido a que es más costoso. La plata también se puede utilizar y una ventaja podría ser el precio, se usa como nitrato de plata en solución amoniacal, pero se obtiene una pésima uniformidad y la solución es utilizada a una alta concentración, entonces la ventaja del precio no es muy efectiva. El oro también es usado aunque hay una discrepancia entre éste y el paladio, se podría decir que los dos son efectivos y se pueden usar indistintamente, aunque se prefiere utilizar el paladio.

Una modificación significativa del modelo de sensitización y catalización, es el desarrollo del sistema catalítico entre cloruro de paladio y cloruro de estano, combinados en una sola solución, usada hoy en día debido a sus ventajas de actividad y estabilidad.

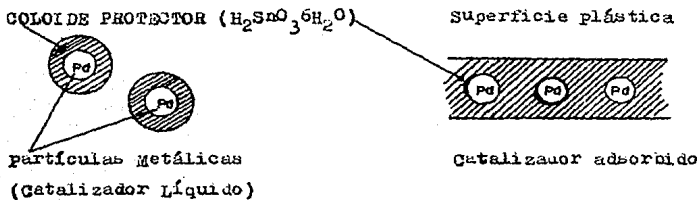
La mezcla catalítica es formada cuando el cloruro de paladio ($PdCl_2$), es reducido por el cloruro estanoso ($SnCl_2$), a paladio coloidal. Las partículas del metal paladio tienen un coloide protector liofílico llamado ácido alfa estánico ($H_2SnO_3 \cdot 6H_2O$), que previene una aglomeración y precipitación del metal paladio.

La reacción total se puede representar así:



El ácido clorhídrico es necesario que este presente en exceso para prevenir que el ácido alfa estánico, no se precipite como ácido meta estánico ($\text{H}_2\text{Sn}_5\text{O}_{11}$) u óxido estánico (SnO_2).

La adsorción de las partículas metálicas de paladio es de la siguiente manera:



Al remover el medio protector, que es el coloide, se produce el verdadero catalizador, (aceleración).



Existe una controversia con respecto a la mezcla catalítica, algunos investigadores opinan que existen partículas coloidales uniformes que poseen gran estabilidad, y otros opinan que existen soluciones complejas. Lo importante de esta modificación es que, ha dado resultados prometedores y hoy en día se está utilizando con excelentes resultados.

Esta modificación de un solo paso tiene sus ventajas como son: menor número de pasos, no existe arrastre de soluciones, y es menos sensitivo por los lavados insuficientes.

4).- Aceleración:

Después de absorber los compuestos de estado y paladio en la superficie, existe un paso de lavado donde ocurren una serie de reacciones complejas, (redox, hidrólisis, precipitación, disolución) las cuales dan una capa de estado e

hidróxido estánico y oxícloruro, con paladio.

La solución de aceleración puede ser ácida o básica en la cual las sales de estado deben ser apreciablemente solubles. Esta solución permite que algunos iones de Pd^{2+} reaccionen y se reduzcan a Pd^0 , y remover el exceso de sales de estado de la superficie, debido a que si algo de estano esta presente podría inactivar el depósito "electroless".

5).- Metalizado sin corriente "electroless".

(Este paso ya se explicó en el capítulo anterior)

PROCESO DE EVAPORACION A VACIO.

Este proceso también es para producir depósitos metálicos sobre plásticos, y es principalmente un sistema de evaporación y condensación.

El proceso se lleva a cabo de la siguiente manera, el metal seleccionado es calentado en un recipiente con alto vacío a una temperatura, la cuál excede el punto de ebullición del metal.

Aunque este proceso se utiliza para una variedad de plásticos tales como: acetales, ABS, acrílicos, etc. tiene numerosas desventajas como son: pobre adhesión entre metal y el plástico, el tiempo de metalizado es bastante grande, de 3 hasta 14 horas, dependiendo de un alto y eficiente vacío. El costo inicial del equipo es muy elevado y generalmente no se depositan películas gruesas debido a que el proceso no es económico y además porque el depósito resultante es extramedidamente quebradizo.

Debido a las desventajas que presenta este proceso su aplicación es limitada, pero la investigación no se ha detenido y tal vez en un futuro no muy lejano se pueda emplear con mayor eficacia y menos desventajas.

En la literatura existen varios procesos para metalizar plásticos como son: depósito químico a vapor, rociado metálico, empleo de disolventes orgánicos, pinturas conductoras, etc. pero todos presentan una serie de limitaciones, que hacen su utilización muy escasa. Sin embargo, la investigación en estos campos también continúa y es probable que en un futuro podremos obtener con estas técnicas, plásticos meta-

lizados con una excelente adhesión y con un menor número de limitaciones y sobre todo a bajo costo, ya que hasta ahora todos los procesos conocidos son muy costosos, aunque la ventaja de algunos es que presentan una mejor adhesión.

IV.- SELECCION DEL PROCESO MAS ADECUADO.

Existen en la literatura varios métodos para aplicar un depósito metálico sobre plástico, los cuales no requieren de la aplicación de una fuente externa de corriente eléctrica, pero la mayoría ha sido de aplicación limitada, muy costosos o no presentan buena adhesión entre metal y el plástico.

El proceso para un depósito metálico en un plástico, que ha dado resultados más prometedores es el depósito sin corriente, "Electroless", que hasta hace poco se desarrolló rápidamente y se ha establecido como proceso industrial para varios plásticos como: ABS, PPO, acetales, acrílicos, etc.

Para la selección del proceso se debe tomar en cuenta - los siguientes factores; que la producción pueda llevarse a nivel industrial, que el tiempo de tratado sea lo mínimo posible, buena adhesión y sobre todo económico.

El principal problema en el proceso de electrodeposición sobre plásticos es, hacer conductora la superficie, el procedimiento más común es formarla a partir de una reacción química catalizada. Esta técnica es conocida con el nom-

bre de depósito sin corriente, "Electroless", es un proceso químico por medio del cual se deposita una película metálica sobre la superficie catalizada. Este proceso en un principio es de un alto costo debido al precio de algunas soluciones pero con una operación óptima las cantidades que se consumen son mínimas, por lo tanto, el proceso resulta barato, además da una excelente uniformidad para posteriormente soportar otra película metálica por electrodepositación.

En general todos los procesos "Electroless" que se han desarrollado para el depósito sobre plásticos son básicamente los mismos, excepto en el tipo de metal que se va a depositar, los pasos que se deben de seguir son los siguientes:

- 1).- Desengrase
- 2).- Enjuague
- 3).- Neutralizado
- 4).- Enjuague
- 5).- Ataque
- 6).- Enjuague
- 7).- Neutralizador alcalino
- 8).- Enjuague

- 9).- Neutralizador ácido
- 10).- enjuague
- 11).- sensitización y catalización
- 12).- enjuague
- 13).- Acelerador
- 14).- depósito electroless
- 15).- enjuague
- 16).- depósito electrolítico
- 17).- enjuague recuperador

A continuación se explicará cada paso y cuál es el objetivo de cada uno.

1).- Desengrase.

La función de esta operación es eliminar grasa, aceite, y suciedad impregnada en la superficie, para así evitar una pobre adherencia del depósito. La pieza se sumerge de 2 a 3 minutos en una solución ligeramente alcalina, que generalmente contiene 25 g/l de carbonato de sodio, (Na_2CO_3) y la misma cantidad de fosfato trisódico, (Na_3PO_4) operada de 50 a 70°C. En este caso se podría utilizar un producto denominado "Inaertec", en una concentración de 50 g/l y a una tem-

peratura de 60° C. El desengrase algunas veces no es requerido, si el plástico es manejado con cuidado después del moldeo. La suciedad es normalmente removida con la solución del ataque.

2).- Enjuague:

Su finalidad es eliminar los residuos de la solución limpiadora. Esta es llevada a cabo por inmersión de la pieza en un recipiente con agua pura a temperatura ambiente.

3).- Neutralizado:

La finalidad es neutralizar los residuos alcalinos del desengrase, para que no afecten en la etapa posterior que es el ataque. Esta operación se realiza por inmersión de la pieza en una solución al 5% de ácido sulfúrico operada a temperatura ambiente.

4).- Enjuague:

Su función es eliminar los residuos de la solución de neutralizado. Esta operación es similar a la indicada en el

punto número 2.

5).- Ataque:

Su objetivo es atacar la superficie plástica. Esta operación también se realiza por inmersión en la solución atacante apropiada. Una formulación bastante utilizada es la siguiente:

H_2SO_4	- - -	150 g/l
CrO_3	- - -	100 g/l
H_3PO_4	- - -	100 ml/l
Agua	- - -	1000 ml
Temperatura		60° C

6).- Enjuague:

Su función es eliminar los residuos de la solución del ataque. Esta operación es similar a la de los puntos 2 y 4 - antes mencionados.

7).- Neutralizador alcalino:

Su función es neutralizar los residuos de la solución ácida del ataque, un neutralizador típico podría ser de 10 a 20 g/l de NaOH a una temperatura de 40 a 50°C.

8).- Enjuague:

Su objetivo es eliminar los residuos de la solución de neutralizado alcalino. Esta operación es similar a la de los puntos 2 y 4 antes mencionados.

9).- Neutralizador ácido:

Su finalidad es neutralizar los residuos de la solución alcalina. Un neutralizador ácido sería de 20 a 25 g/l de HCl a temperatura de 20°C.

10).- Enjuague:

Tiene como finalidad eliminar los residuos de la solución de neutralizado y así evitar un depósito manchado. Operación similar a los puntos 2 y 4.

11).- Sensitización y catalización:

Su finalidad es depositar el metal catalítico en la superficie plástica, la cual podría ser: (10)

SnCl_2 - - - 2 g/l

PdCl_2 - - - 0.2 g/l

HCl - - - 10 ml/l

temperatura de 20 a 40°C

tiempo de inmersión; 1 min.

12).- Enjuague:

La función es de eliminar algunos residuos de los compuestos de estaño y también producir algunos compuestos de estaño, debido a las reacciones que se llevan a cabo en esta etapa.

13).- Aceleración:

Su función es la de remover de la superficie los compu-

estos de estado formados en el paso anterior, antes de que el palacio actúe como un catalizador en el depósito metálico, una solución de 3 g/l de NaOH es suficiente para realizar esta operación con bastante éxito.

14).- depósito "electroless"

Aquí tenemos dos alternativas de los metales para depositar, cobre o níquel electroless.

La selección del metal está en función de la aplicación que tendrá el artículo con el depósito final. Para esto limitaremos a dos, los campos principales de aplicación del artículo: la electrónica y la ingeniería.

Si la aplicación del artículo, está en el campo de la electrónica, el metal seleccionado es cobre, por su alta conductividad eléctrica.

Cuando la aplicación del artículo, está en el campo de la ingeniería, el aspecto económico es el más importante y por lo tanto al seleccionar la solución de cobre electroless, recordemos que ésta se descompone en función del área por depositar, haciendo el proceso más costoso, por lo tanto no

es conveniente seleccionar este metal.

para una producción a escala industrial el níquel electroless es el más conveniente, ya que es más estable y resulta más económico; ya que puede recibir directamente el depósito de níquel electrofítico.

una formulación típica de níquel electroless es la siguiente:

$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	- - - - -	30 g/l
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	- - - - -	30 g/l
Na_2SO_4	- - - - -	1 g/l
NaH_2PO_2	- - - - -	10 - 15 g/l
temperatura		20°C

15).- Enjuague:

su finalidad es eliminar residuos de la solución electroless. esta operación es similar a las etapas anteriores de

enjuague.

16).- Depósito electrofítico:

El depósito electrofítico es de níquel, ya que el seleccionado por vía electrolisis también es níquel debido a las ventajas que presenta a escala industrial.

La formulación típica del baño de níquel electrofítico se basa en la composición de watts y está constituida de la siguiente manera:

$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	- - -	340 g/l
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	- - -	60 g/l
H_3BO_3	- - -	45 g/l
Abrillantador ZD 100	- - -	40 ml/l
Abrillantador ZD 220	- - -	0.75 ml/l
Agente tensoactivo		
Antipit 62 NA	- - -	3.0 ml/l

A una temperatura de 60°C y un valor de pH de 4.0

Los límites de densidad de corriente deben estar de 4 a 6 A/dm^2

La función de cada uno de los componentes del baño se explicará a continuación:

Sulfato de Níquel, ($NiSO_4 \cdot 6H_2O$).

Esta sal proporciona los iones metálicos de níquel necesarios para el depósito, además de que es la más barata, con un anión que no se reduce sobre el cátodo, ni se oxida en el ánodo y no es volátil. Uno de los pocos cambios hechos en la fórmula original de Watts fue el de incrementar la concentración de esta sal, permitiendo el uso de una densidad de corriente alta y una mejor distribución de depósito.

Cloruro de Níquel, ($NiCl_2 \cdot 6H_2O$).

La finalidad es de tener una fuente del ion cloruro, que es el encargado de promover la corrosión de los ánodos evitando con esto la pasivación de los mismos, su concentración debe ser controlada y ajustada lo más cercana posible a la especificada, debido a que un exceso en la misma provo-

ca esfuerzos internos en el depósito y lo hace quebradizo, mientras que la falta, provoca desprendimiento de cloro en los ánodos, oxidándose así los abrillantadores. El ion cloruro también incrementa la conductividad del baño.

Acido Bórico, (H_3BO_3).

Su finalidad es la de regular el pH de la solución para que éste opere lo más cercano posible al valor de 4. Aunque depósitos buenos se pueden obtener sin él, algunas veces tiende a dar depósitos deslucidos y además es compatible con los otros aditivos del baño, es relativamente barato, estable y no volátil.

Abrrillantadores:

Son productos conocidos como agentes de adición del baño de níquel y se clasifican dentro de dos clases. Aquellos abrillantadores designados como clase I, que incluyen ácidos sulfónicos aromáticos ($R-SO_3H$), sulfonamidas ($R-SO_2NH_2$), y ácidos sulfínicos ($R-SO_2H$).

Los grupos aromáticos (R), normalmente son benzeno o

naftaleno, pero tambien pueden ser grupos alifáticos insaturados como vinílico o alílico.

Las concentraciones de estos aditivos no es muy critica, ya que si son usados en concentraciones relativamente altas, no tienen efecto marcado en la adhesión, ni en la densidad de corriente.

Los abrillantadores de la clase II, son normalmente compuestos orgánicos insaturados de muchos tipos, tales como: aldenido ($\text{H}-\overset{\text{I}}{\text{C}}=\text{O}$); olefínico ($-\text{C}=\text{C}-$), o cadena con triple ligadura ($-\text{C}\equiv\text{C}-$), etc. ellos introducen átomos de carbón o un material que contiene a éste, dentro del depósito.

Los abrillantadores de la clase I, tienen dos funciones, primero, producir un depósito sin tensiones y segundo, permitir que los abrillantadores de la clase II funcionen en amplios límites de concentraciones.

La segunda clase de abrillantadores, son utilizados en combinación con los abrillantadores de la clase I, para producir un brillo completo y una nivelación en el depósito. Si cualquiera de las dos clases de abrillantadores es usada sola, producen depósitos quebradizos y muy tensionados.

En el baño de níquel brillante se tienen abrillantadores denominados comercialmente ZD-100 y ZD-220, siendo el primero el agente de control y que produce las características del depósito deseado, éste es de la clase I y nos dará depósitos sin tensiones. Altas concentraciones de este agente mejorará la tolerancia de muchos contaminantes presentes en el baño.

El agente de control ZD-220, es el del abrillantado y funciona con el agente de adición ZD-100 para el control del grado del brillo y nivelación del depósito, éste por lo tanto, pertenece a la clase II de abrillantadores.

Agente Antipit:

para evitar el picado sobre el depósito, se han empleado una serie de compuestos. En general son utilizadas pequeñas cantidades, si la solución es agitada con aire.

La mayoría de estas son sales sódicas de sulfatos o sulfonatos ácidos de alcoholes orgánicos superiores. Los preferidos son: el laurilsulfonato de sodio y el laurilsulfacetato de sodio.

17).- Wajuague recuperador;

Su finalidad es de recuperar la solución de níquel brillante debido al arrastre y así evitar pérdidas. Esta etapa es igual a las descritas anteriormente.

V.- CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

para poder realizar las consideraciones económicas, es necesario primeramente calcular el diseño del equipo del proceso descrito anteriormente, así que partimos de la siguiente base de cálculo que nos permite desarrollar los cálculos apropiados.

Capacidad de la planta: 30 m²/ turno.

Turno de trabajo: 8 horas.

Tiempo de residencia de las piezas es de 10 minutos tomando en cuenta los tiempos perdidos.

De esta manera tenemos lo siguiente:

$$8 \frac{\text{Hrs.}}{\text{turno}} \times 60 \frac{\text{min.}}{\text{Hr.}} \times \frac{1 \text{ ciclo}}{10 \text{ min.}} = 48 \frac{\text{ciclos}}{\text{turno}}$$

$$30 \frac{\text{m}^2}{\text{turno}} \times \frac{1 \text{ turno}}{48 \text{ ciclos}} = 0.625 \text{ m}^2 / \text{ ciclo.}$$

Supongamos que el área promedio de cada pieza es de 30 cm² tenemos lo siguiente:

$$\frac{0.025 \text{ m}^2 / \text{ ciclo}}{0.003 \text{ m}^2 / \text{ pieza}} = 208 \frac{\text{piezas}}{\text{ciclo}}$$

por otra parte se considera que cada rack soportara 20 piezas, entonces:

$$208 \frac{\text{piezas}}{\text{ciclo}} \times \frac{1 \text{ ciclo}}{20 \text{ piezas/rack}} = 10.4 \text{ racks}$$

por lo tanto requerimos de 11 racks, éstos deben de estar recubiertos para evitar posibles contaminaciones de las soluciones, al corroerse ellos mismos. en nuestro caso para recubrir los racks se recomienda usar un producto de plástico denominado "plastisol".

Ahora suponiendo un volumen de cada rack de 5 dm^3 para calcular el volumen de los tanques, tenemos:

$$V_{\text{rack}} = 5 \frac{\text{dm}^3}{\text{rack}} \times 11 \text{ racks} = 55 \text{ dm}^3$$

Tomando en cuenta un factor de seguridad de 30 % tenemos lo siguiente:

$$V_{\text{total}} = 55 \text{ dm}^3 + 16.5 \text{ dm}^3 = 71.5 \text{ dm}^3$$

Sin embargo haciendo ciertas consideraciones prácticas con respecto a la solución "electroless" para no tener que reforzarla a cada momento, consideremos lo siguiente:

Espesor del depósito 0.001 mm.	=	1×10^{-6} m.
Densidad relativa del níquel	=	8.9×10^6 g/m ³
Área de depósito	=	0.625 m ² / ciclo
Consumo de níquel = 8.9×10^6 g/m ³	X	0.625 m ² / ciclo
X 1×10^{-6} m.	=	<u>5.56 g de níquel / ciclo</u>

De la solución "electroless" tenemos lo siguiente:

C_1 = Concentración de NiSO₄ 6 H₂O
 C_2 = Gramos totales de NiSO₄ 6 H₂O
 C_3 = Gramos totales de níquel metálico.
 C_4 = Gramos totales de níquel metálico útiles.

$$C_1 = \frac{30 \text{ g.}}{5 \text{ l.}} = 6 \text{ g/l.}$$

$$C_2 = 6 \text{ g/l.} \quad X \quad 71.5 \text{ l.} \quad = 429 \text{ g/ ciclo.}$$

$$G_3 = G_2 \times \frac{\text{P.A. Níquel}}{\text{P.M. de NiSO}_4 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}}$$

$$G_3 = 429 \text{ g/ciclo} \times \frac{58.7 \text{ g/gmol}}{262.77 \text{ g/gmol}} = 95.83 \text{ g de níquel/ciclo}$$

Tomando en cuenta la eficiencia de la solución "electroless" del 37 % (11). Tenemos lo siguiente:

$$G_4 = 95.83 \text{ g/ciclo} \times 0.37 \% = 35.44 \text{ g. de níquel/ciclo}$$

$$\begin{aligned} \# \text{ de ciclos} &= \frac{35.44 \text{ g. de níquel útiles / ciclo}}{5.56 \text{ g. de consumo de níquel / ciclo}} \\ &= 6.37 \text{ ciclos.} \end{aligned}$$

con esto reforzaremos la solución "electroless" cada hora, sin embargo podemos calcularla para 12 ciclos con refuerzo de cada 2 horas entonces tenemos:

$$5.56 \text{ g/ciclo} \times 12 \text{ ciclos} = 66.72 \text{ g.} = G_4$$

$$G_3 = \frac{66.72 \text{ g}}{0.37 \%} = 180.32 \text{ g. de níquel metálico.}$$

$$C_2 = C_3 \times \frac{\text{P.M. NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{P.A. Níquel}}$$

$$C_2 = 100.32 \text{ g. de Ni} \times \frac{262.77 \text{ g/gmol}}{58.7 \text{ g/gmol}} = 807.22 \text{ g. totales de NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$$

Obteniendo el volumen a partir de la concentración de 6 g/l de la solución (C_1), tenemos lo siguiente:

$$V = \frac{807.22 \text{ g. de NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{6 \text{ g/l}} = 135 \text{ l.}$$

Para obtener el volumen real, daremos un margen de seguridad de 20% del volumen anterior, entonces tenemos:

$$V_R = 135 \text{ l.} \times 1.2\% = 162 \text{ l.}$$

A partir de este volumen podemos dimensionar los tanques del proceso.

$$\text{Largo} = 5.5 \text{ dm.}$$

$$\text{Ancho} = 5.5 \text{ dm.}$$

La altura la determinamos de la siguiente forma:

$$H = \frac{V_R}{L \times A} = \frac{162 \text{ dm}^3}{5.5 \text{ dm.} \times 5.5 \text{ dm.}} = 5.3 \text{ dm.}$$

Ahora las dimensiones de los tanques que por comodidad serán homogéneos, son las siguientes; 5.5 dm. de largo, 5.5 dm. de ancho, y 5.5 dm. de altura.

Como se observa en el proceso, algunas soluciones requieren de algún calentamiento, para esto se recomienda que para cantidades pequeñas de soluciones, como en nuestro caso, calentar con resistencias eléctricas, por lo tanto, procedemos de la siguiente manera;

Tanque # 1 solución alcalina.

Esta solución es diluida, por lo que, podemos utilizar las propiedades del agua.

$$V = 135 \text{ l.} \qquad C_p = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

$$M_d = \text{Masa del desengrase} = 50 \text{ g/l} \times 135 \text{ l.} = 6750 \text{ g.}$$

$$M_a = \text{Masa del agua} = 1 \text{ g/ml.} \times 135,000 \text{ ml.} = 135,000 \text{ g.}$$

$$M_t = \text{Masa total} = M_d + M_a = 6750 \text{ g.} + 135,000 \text{ g.} \\ = 141,750 \text{ g.}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C}$$

Calculando el calor necesario para elevar la temperatura con la ecuación siguiente:

$$Q = M_t C_p \Delta T$$

Donde: Q = Calor necesario en calorías.

M_t = Masa total en gramos.

T = Incremento de temperatura en $^{\circ}\text{C}$

C_p = Calor específico en $\text{Cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$

$$Q = 141,750 \text{ g.} \times 1 \text{ Cal}/\text{g}^{\circ}\text{C} \times 40^{\circ}\text{C} = 5.67 \times 10^6 \text{ Cal.}$$

Se debe tomar en cuenta las pérdidas de calor, para tal efecto consideremos un 10% del calor anterior, entonces tenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned} Q_r = \text{Calor requerido} &= 5.67 \times 10^6 \text{ Cal.} \times 1.1\% \\ &= 6,237,000 \text{ Cal.} \end{aligned}$$

Para transformar el calor a calentamiento eléctrico se logra por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Kw necesarios} = \frac{Q_r}{T \times F}$$

donde: T = tiempo de calentamiento en hrs.

F = factor de transformación = $890,000 \frac{\text{cal}}{\text{kwh}}$

Q_r = calor requerido en calorías.

$$\text{KW necesarios} = \frac{6,237,000 \text{ cal.}}{6 \text{ hrs.} \times 890,000 \frac{\text{Cal}}{\text{kwh}}} = 1.16 \text{ kw.}$$

Esta solución tiene elevada alcalinidad ya que contiene fosfato trisodico e hidróxido de sodio, por lo que se recomienda que el material de construcción del calentador sea de acero inoxidable.

por otra parte en el mercado no existen calentadores de 1.16 kw. , por lo que se usará el más cercano que es de 2 kw.

tanque # 5 solución de ataque.

Las características de esta solución son las siguientes

0.1 KG./ l.	Ac. crómico	T = 60 °C = 20 °C = 40 °C
0.15 KG./ l.	Ac. sulfúrico	Q = 30 °B = 1.263 KG/l.
1.0 KG./l.	AGUA	V = 135 l.

M_t = Masa total de la solución.

M₁ = Masa del ac. crómico.

M_2 = Masa del ac. sulfúrico.

M_3 = Masa del agua.

$$M_t = Q \times V = 1.263 \text{ kg/l} \times 135 \text{ l.} = 170.5 \text{ kg.}$$

$$M_1 = 0.1 \text{ kg/l} \times 135 \text{ l.} = 13.5 \text{ kg.}$$

$$M_2 = 0.15 \text{ kg/l} \times 135 \text{ l.} = 20.25 \text{ kg.}$$

$$M_3 = 1.0 \text{ kg/l} \times 135 \text{ l.} = 135.0 \text{ kg.}$$

Como aquí tenemos tres componentes, calcularemos un C_p promedio, a partir de los C_p individuales.

C_{p_t} = Capacidad calorífica promedio de la mezcla.

C_{p_1} = Capacidad calorífica del CrO_3 = $0.7116 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$

C_{p_2} = Capacidad calorífica del H_2SO_4 = $0.34 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$

C_{p_3} = Capacidad calorífica del H_2O = $1.0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$

$$C_{p_t} = \frac{M_1}{M_t} C_{p_1} + \frac{M_2}{M_t} C_{p_2} + \frac{M_3}{M_t} C_{p_3}$$

$$C_{p_t} = \frac{13.5 \text{ kg.}}{170.5 \text{ kg.}} \times 0.7116 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}} + \frac{20.25 \text{ kg.}}{170.5 \text{ kg.}} \times 0.34 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}} +$$

$$CP_t = + \frac{136.7 \text{ KG}}{170.5 \text{ KG}} \times 1 \text{ Cal/ g } ^\circ\text{C} =$$

$$CP_t = 0.563 \text{ Cal/g } ^\circ\text{C} + 0.04 \text{ Cal/g } ^\circ\text{C} + 0.8 \text{ Cal/g } ^\circ\text{C}$$

$$CP_t = \underline{0.8987 \text{ Cal/ g } ^\circ\text{C}}$$

Calculando el calor con la siguiente ecuación:

$$Q = M_t \quad CP_t \quad \Delta T$$

$$Q = 170,500 \text{ g.} \times 0.8987 \text{ Cal/ g } ^\circ\text{C} \times 40^\circ\text{C}$$

$$= 6,129,134 \text{ Cal.}$$

considerando un 10% de pérdidas del calor anterior tenemos lo siguiente:

$$Q_r = 6,129,134 \text{ Cal.} \times 1.1 \% = 6,742,630 \text{ Cal.}$$

transformando éste calor en calentamiento eléctrico tenemos lo siguiente:

$$\text{KW necesarios} = \frac{6,742,630 \text{ Cal}}{6 \text{ h} \times 890,000 \text{ Cal/kwh}} = 1.38 \text{ kw.}$$

En este caso, la solución presenta un alto grado de acidez, entonces, el calentador deberá estar construido de

titanio.

por otro lado en la industria no existen calentadores eléctricos de 1.38 Kw. así que el más recomendable es el de 2.0 Kw.

Tanque # 7 Neutralizador.

En este caso es una solución diluida, por lo tanto es posible tomar condiciones parecidas a el agua, entonces tenemos lo siguiente:

$$M_t = 135 \text{ Kg.} \quad C_p = 1 \text{ cal/ g } ^\circ\text{C} \quad \Delta T = 50^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C}$$

$$Q = M_t C_p \Delta T = 135,000 \text{ g.} \times 1 \text{ cal/ g } ^\circ\text{C} \times 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 4,000,000 \text{ cal.}$$

Considerando las pérdidas de calor de un 10% del calor anterior, obtenemos:

$$Q_r = 4,000,000 \text{ cal.} \times 1.1\% = 4,400,000 \text{ cal.}$$

Calculando la resistencia eléctrica a partir de este calor, tenemos lo siguiente:

$$\text{kw. necesarios} = \frac{4,400,000 \text{ cal}}{6 \text{ h.} \times 890,000 \text{ cal/kwh}} = 0.83 \text{ kw.}$$

En éste caso, la solución es de baja alcalinidad ya que contiene hidróxido de sodio, por lo que entonces se recomienda usar un calentador fabricado con acero inoxidable.

por otra parte, en el mercado no existen calentadores de 0.83 kw. , siendo el más cercano de 1 kw.

Tanque # 16 depósito electrofítico.

En ésta solución, el sulfato de níquel y el agua estan en mayor proporción, siendo así, se tomaran éstos como base para los cálculos apropiados:

$$= 1.23 \text{ kg/l.} \qquad \qquad \qquad v = 135 \text{ l.}$$

Calculando la masa total de la solución:

$$M_t = v \times \rho = 1.23 \text{ kg/l.} \times 135 \text{ l.} = 166.0 \text{ kg.}$$

$$M_1 = \text{masa de sulfato de níquel} = 0.3 \text{ kg/l.} \times 135 \text{ l.} \\ = 40.5 \text{ kg.}$$

$$M_2 = \text{masa del agua} = 125.5 \text{ kg.}$$

$$Cp_1 = \text{Calor específico de } \text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 0.31 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$$

$$Cp_2 = \text{Calor específico del agua} = 1.0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$$

Calculando un Cp promedio a partir de los Cp individuales tenemos,

$$Cp_t = \frac{M_1}{M_t} Cp_1 + \frac{M_2}{M_t} Cp_2$$

$$Cp_t = \frac{40.5 \text{ Kg.}}{166 \text{ Kg.}} \times 0.31 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} + \frac{125.5 \text{ Kg.}}{166.0 \text{ Kg.}} \times 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$$

$$Cp_t = 0.076 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} + 0.756 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} = 0.8316 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$$

calculando el calor con la ecuación siguiente:

$$Q = M_t Cp_t \Delta T$$

$$Q = 166,000 \text{ g.} \times 0.8316 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} \times (60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) =$$

$$Q = 5,521,824 \text{ cal.}$$

considerando las pérdidas de calor como un 10% del calor anterior, tenemos lo siguiente;

$$Q_r = 5,521,824 \text{ cal.} \times 1.1\% = 6,074,064 \text{ cal.}$$

Calculando la resistencia eléctrica se obtiene;

$$\text{Kw. necesarios} = \frac{0,074,004 \text{ cal.}}{6 \text{ h.} \times 890,000 \text{ Cal/Kwh}} = 1.13 \text{ Kw.}$$

En este caso, en el mercado no existen calentadores de 1.13 kw. , por lo tanto, usaremos el más cercano que es de 2.0 kw. y su construcción debe ser de titanio, debido a que la solución presenta una acidez de 4 a 4.5 de pH.

por otra parte, sabemos que en la solución de níquel electrolítica debemos suministrar bajos voltajes de operación en corriente directa ya que, estas soluciones son operadas de 3.0 a 0.5 Amp/dm (30 - 50 Amp/ft²), y un suministro de 6 volts es generalmente el más recomendado. De esta manera, utilizando la máxima densidad de corriente, procedemos a realizar los cálculos correspondientes,

$$D_c = 00 \text{ Amp/ft}^2 \quad A = \text{Cantidad de Amperios.}$$

S = Superficie catódica por ciclo.

$$S = 0.025 \text{ m}^2 / \text{ciclo} = 0.725 \text{ ft}^2 / \text{ciclo.}$$

$$A = S \times D_c = 0.25 \text{ ft}^2 / \text{ciclo} \times 00 \text{ Amp/ft}^2 = 403.5 \text{ Amp/ciclo.}$$

En consecuencia, requerimos de un rectificador que nos proporcione la intensidad de corriente necesaria y como en el mercado no existen rectificadores con estas características, se tendrá que escoger el más cercano que es de 500 amp. y 8 volts. de salida en términos de corriente directa.

En galvanotecnia, el rectificador más usado y recomendado es el que está construido con diodos de silicio, en lugar de los fabricados con diodos de selenio, debido a que, los primeros, tienen mayor eficiencia de conversión de corriente alterna en directa, además de no envejecer como otros tipos de semiconductores. Estos trabajan con una eficiencia máxima del 95% teniendo con esto un mínimo de pérdidas, puesto que tienen aislamientos para temperaturas hasta de 200°C. a pesar de que normalmente trabajan a 130°C. Los segundos, trabajan con una eficiencia menor, incrementándose con esto las pérdidas de transformación y aún cuando estos no requieren de controles y circuitos complicados, ya no son muy usados.

por otro lado, es necesario calcular el número de ánodos que se introducirán en el baño de níquel electrolítico.

para esto consideramos que la superficie anódica es igual a la superficie catódica tomando en cuenta que lo recomendable es poner los ánodos de níquel dentro de canastas construídas de titanio que no contaminan la solución, aún cuando su costo es elevado.

Las medidas de las canastas son; 18 pulg. de largo y 6 pulg. de ancho, de esta manera tenemos:

$$\text{Area del ánodo} = 45.72 \text{ cm.} \times 15.24 \text{ cm.} = 696.7 \text{ cm}^2$$

Tomando en cuenta que el ánodo tiene dos caras.

$$A \text{ total} = 696.7 \text{ cm}^2 + 696.7 \text{ cm}^2 = 1393.5 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ ánodos} = \frac{\text{Superficie anódica total}}{\text{Superficie ánodo total}}$$

$$\# \text{ ánodos} = \frac{0.625 \text{ m}^2}{0.13935 \text{ m}^2} = 5 \text{ ánodos.}$$

Se recomienda usar bolsas para cubrir las canastillas de los ánodos y generalmente éstas son de algodón y su función es, retener el lodo anódico evitando con éste depósitos

rugosos.

La bolsa debe ser más grande que la canastilla para tener espacio dode almacenar el lodo.

FILTRACION

una filtración continua es necesaria para eliminar mugre suspendida y/o partículas extrañas dentro de la solución y así mantenerla libre de impurezas.

Las técnicas modernas de depósito y en particular el uso de soluciones de níquel brillante requieren para producir depósitos de buena calidad, de un equipo de filtración eficiente.

La consideración que se tiene para la elección del filtro, es la capacidad de éste, para filtrar cuando menos dos veces el volumen de la solución por cada hora.

El tipo de filtro más usado es de 500 l/h y consiste principalmente de dos partes; cámara filtrante y bomba, la primera, es un tanque de fierro recubierto con un producto de plástico llamado "plastisol", dentro de éste tiene acomodados los discos filtrantes que normalmente son de acrílico

cubiertos cada uno de éstos por una bolsa de polipropileno, éstos tienen dos capas, una es llamada ayuda filtro normalmente "Hy flow" y su función es asegurar una máxima eficiencia de filtración y reducir la presión producida por la bomba, la segunda, es una capa de carbón activado, éste elimina las partículas coloidales.

Estos discos son lavados y limpiados varias veces para volverse a usar.

La bomba del filtro es centrífuga epóxica con un impulsor de neopreno.

AGITACION:

La agitación es necesaria para mantener la solución bien mezclada y así prevenir la variación local de la concentración.

Normalmente hay dos tipos de agitación: movimiento catódico y burbujeo con aire, aunque éstos pueden emplearse en forma combinada.

La agitación con movimiento catódico consiste principalmente en un vaivén de las piezas catódicas. Este movimiento

es generado por una biela, movida ésta a su vez, por un motor, el movimiento puede ser vertical u horizontal, dependiendo de la velocidad del movimiento requerido.

La agitación con aire, provoca un movimiento de la solución y una eliminación de burbujas al enviarlas al exterior, evitando depósitos picados.

Es más recomendable usar la agitación con aire en lugar de la catódica, porque la primera permite trabajar a mayor densidad de corriente y a una menor concentración de abri-llantadores.

Es importante hacer notar que el aire utilizado para esta agitación, debe estar libre de aceites o partículas sólidas. por lo que el aire de una compresora no es recomendable ya que viene cargado de éstas.

para suministrar el aire para esta agitación lo más recomendable es un ventilador con desplazamiento positivo de suficiente capacidad.

Las consideraciones generales que se tienen para calcular un ventilador son: proporcionar aire a una presión de 1 lb/in^2 por cada 10 pulg. de profundidad de la solución y a

una capacidad de 1 ft³/min. por cada pie lineal de tubería.

La tubería normalmente es de plástico PVC con perforaciones de 2.4 mm. de diámetro, separadas 100 mm. cada una.

En nuestro caso, un ventilador de 500 l/min. y una presión de 0.20 kg/cm² con un motor de 0.75 Hp cumple con los requisitos deseados.

por otro lado, debemos mencionar el problema de los tanques y de las barras usadas en el proceso. Así los primeros necesitan algunos de ellos un recubrimiento, dependiendo del tipo de solución que contienen cada uno de estos. de esta manera se han desarrollado una serie de compuestos plásticos para una mejor eficacia, entre éstos podemos mencionar sus nombres comerciales como "Koroseal", "Gallyte", entre otros. el más recomendable es el Gallyte, por ser más durable, aunque su costo es elevado.

Los tanques recubiertos son usados en los pasos 3, 5, 6, 9, 11, 14, 16, 17 y los tanques sin recubrimiento en los pasos 1, 2, 4, 7, 8, 10, 12, 13, 15, que fueron mencionados en el capítulo anterior.

El segundo problema es el de las barras, que son usadas

para soportar y transportar los racks, diremos que la mayoría son tubos de fierro comercial, ya que no se suministra corriente directa por éstas, en la mayor parte del proceso. Solo en el depósito de níquel electrolítico son necesarias barras de cobre.

En consecuencia, teniendo todos los datos precisos, procederemos con la estimación de costos de producción, la primera parte es la cotización del equipo y la segunda parte los costos de materia prima directa.

EQUIPO:

a).- Costo de los tanques: (*)

Tanques recubiertos = 8

\$521,532.00/tanque x 8 = \$ 4,172,259.00

Tanques sin recubrimiento = 9

\$ 127,701.00/tanque x 9 = \$ 1,149,312.00

Costo Total = \$ 5,321,571.00

b).- Costo del rectificador:

Rectificador = 1

\$ 2,681,728.00/rectificador x 1 = \$ 2,681,728.00

c).- Costo del sistema de filtración:

filtros = 2

\$ 1,640.070.00/filtro x 2 = \$ 3,292.140.00

d).- Costos de los calentadores:

\$ 140.471.00/calentador AI 304 2kw. x 1 = \$ 140.471.00

\$ 158.349.00/calentador titanio 2kw. x 2 = \$ 316.699.00

\$ 95.770.00/calentador AI 304 1kw. x 1 = \$ 95.770.00

Costo total = \$ 552.940.00

e).- Costo de los racks:

\$ 38.310.00/rack x 44 racks = \$ 1,705.640.00

f).- Costo del sistema de agitación:

Sistema de agitación = 1

\$ 1,702.270.00/sistema de agitación x 1 = \$ 1,702.270.00

g).- Costo de accesorios:

\$ 5.490.00/barra de fierro x 10 = \$ 54.900.00

\$ 9.705.00/barra de cobre x 4 = \$ 38.820.00

\$ 10.210.00/barra soporte áncoras x 2 = \$ 20.420.00

Canastas de titanio;

\$ 145.753.00/canasta de titanio x 5 = \$ 728.765.00

Bolsas;

\$ 3,831.00/doble afelpado x 5 = \$ 19.155.00

§ 12.770.00/polipropileno x 5 = § 63.850.00

Costo total de accesorios = § 925.924.00

Costo total del equipo § 10.222.220.00 + 10%
instalación = §17.844.450.00

Gastos de materia prima directa:

a).- Desengrase:

§ 1.500/l x 135 l. = § 202.500.00

b).- Neutralizador: (H_2SO_4)

§ 350.00/l x 135 l. = § 47.250.00

c).- Ataque:

§ 834.00/l x 135 l. = § 112.590.00

d).- Neutralizador: (NaOH)

§ 25.00/l x 135 l. = § 3.375.00

e).- Neutralizador: (HCl)

§ 10.00/l x 135 l. = § 1.350.00

f).- Sensibilización y catalización:

§ 10.428.00/l x 135 l. = § 1.407.780.00

g).- Aceleración: (NaOH)

§ 10.00/l x 135 l. = § 1.350.00

h).- depósito electroless:

$$\$ 636.00/l. \times 135 l. = \$ 85,860.00$$

i).- Depósito electrolítico:

$$\$ 2,423.00/l \times 135 l. = \$ 327,100.00$$

j).- Costo de ánodos de níquel:

18 kg. de níquel en cada canasta.

$$\$ 17,083.00/kg. \times 18 \text{ kg.} = \$ 307,494.00$$

$$\$ 307,494.00 \times 5 \text{ ánodos} = \$ 1,537,470.00$$

$$\text{Costo total de materia prima} = \$ 3,726,625.00$$

Inversión total = Costo del equipo + Costo de materia prima

$$\text{Inversión total} = \$ 17,844,450.00 + \$ 3,726,625.00$$

$$\text{Inversión total} = \$ 21,571,075.00$$

El precio actual del m^2 niquelado de plástico es de
 $\$ 115,000.00$

$$30 m^2/día \times 300 \text{ días/año} = 9,000.00 m^2/\text{anuales.}$$

Suponiendo que el reproceso es del 5%.

$$9,000.00 m^2 \times 0.05 = 450.00 m^2 \text{ anuales de reproceso.}$$

$$\text{Área niquelada efectiva} = 8,550.00 m^2 \text{ anuales.}$$

Utilidad Bruta = producción anual \times precio del producto.

$$\text{Utilidad Bruta} = 8,550.00 m^2/\text{anuales} \times \$ 115,000.00 m^2$$

utilidad Bruta = \$ 983,250,000.00 anuales.

considerando que los gastos de fabricación, costos de empaques, embarques, materia prima, salarios de empleados, obreros, energía eléctrica, papelería, impuestos, teléfono, investigación, etc. es del 70% de las ventas anuales.

Gastos Anuales = \$ 983,250,000.00 x 0.7% (+)

Gastos Anuales = \$ 688,275,000.00

Utilidad Neta = Utilidad Bruta - Gastos Anuales

Utilidad Neta = \$ 983,250,000.00 - \$ 688,275,000.00

Utilidad Neta = \$ 294,975,000.00

(*) precios investigados en Julio-Agosto de 1989.

(+) dato tomado de la industria de la galvanoplastia.

VI.- CONCLUSIONES

En un intento por describir detalladamente el trabajo de metalizado de plástico, sin corriente, podemos una vez descrito éste, manifestar nuestras opiniones y recomendaciones tomando en cuenta los siguientes puntos:

- a).- La calidad de la materia prima.
- b).- Las dificultades del proceso.
- c).- Control de calidad.
- d).- El aspecto económico.

Con respecto al primer punto tenemos:

-- La producción de diferentes plásticos a nivel nacional es suficiente, como para satisfacer el consumo interno tanto en calidad como en cantidad, es por esto que no se tendrá problema para su adquisición.

-- Los plásticos una vez moldeados algunos presentan deficiencias, las cuales podrían afectar seriamente en el metalizado de éstos, ya que los plásticos una vez metalizados no pueden pulirse ni corregir cualquier defecto o bordo de los

mismos, por lo que se recomienda tener personal que seleccione cuidadosamente las piezas antes de metalizarse.

-- Las industrias que se dedican al metalizado de plástico han hecho un serio esfuerzo para producir piezas con terminado de superficie de buena calidad y se puede decir que hasta el momento proporcionan el suministro requerido para el consumo interno del país, aun cuando la gran aceptación del plástico metalizado nos permite afirmar que es necesario instalar nuevas y mejores industrias.

-- La calidad de los productos químicos utilizados en el proceso, es muy buena y en el mercado nacional se pueden adquirir fácilmente, aún cuando algunos de ellos son de importación.

Con respecto al segundo punto tenemos:

-- Para lograr una excelente calidad del producto terminado, es necesario tener un control analítico en todos los pasos del proceso, pero con una atención especial en el depó-

sito "electroless", debido a que es muy inestable y demasiado costosa, es por eso que se recomienda que en ningún momento se deje de filtrar.

-- El tiempo en que es tratado el plástico en el paso de acondicionamiento de la superficie, es de vital importancia debido a que puede presentar poca adherencia el depósito "electroless".

-- Se debe tener especial cuidado en la operación de sensibilización y activación, debido a que es muy costosa y cualquier contaminación puede ocasionar fuertes pérdidas económicas.

-- Las dificultades enumeradas anteriormente pueden reducirse, si el proceso es llevado a cabo con personal debidamente capacitado.

Con respecto al tercer punto tenemos:

-- El producto terminado debe tener una excelente calidad

combinando características de ingeniería y manufactura, asegurándonos que presenta buena apariencia y duración.

-- Se debe instalar un departamento técnico de control de calidad, ya que esto nos reducirá los costos de producción debido a que un producto de buena calidad cuesta lo mismo que uno de mala calidad.

con respecto al cuarto punto tenemos:

-- La producción de plásticos metalizados es relativamente barata, debido a que el consumo de las sustancias químicas en los baños es mínimo.

-- Es recomendable que para instalar una planta de este tipo se hiciera un estudio económico más amplio, debido a que en este trabajo solo se hicieron algunas consideraciones económicas que no son suficientes para decidir su instalación industrial.

VII.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- William D. fields. Electroless Niquel Plating. E.L.N.C. Inc. "plating and Electropolishing", pag. 219 1964.
- 2.- G.O. Mallory, The Electroless Niquel plating Bath, electroless Niquel Conference, Cincinnati, Nov. 1979.
- 3.- G.O. Mallory, plating, ol 1005 (1974).
- 4.- G.A. Krulik "Electroless plating", vol. 8 1960. Berg Warner Corporation.
- 5.- G.A. Krulik, "Electroless plating of plastics". Journal of Chemical Education, vol. 55, Number 6, Jun. 1978.
- 6.- A. Rantell, A. Holtzman, Trans. Inst. Met. Finish. 51, 62 (1973).
- 7.- J. Wynschenk, "Chemistry and Maintenance". plating and Surface finishing, January 1963.
- 8.- S. John and N.V. Shanagan, "Electroless plating". Metal finishing, March 1966.
- 9.- Luke, D.A.- Through-hole. plating without a paladium Catalys, Trans. of Inst. of Metal finishing. 1962.

- 10.- Matejivic, E - Poskanzer, A.M. - The characterization of the Stannous Chloride/palladium Chloride Catalyst for Electroless plating. Plating and Surface Finishing October 1975.
- 11.- Rantell, A. - Holtzman A. Mixed Stannous Chloride- palladium Chloride Activators a study of their formation and nature, plating, April 1974.
- 12.- F.J. Nuzzi. "Accelerating the rate of Electroless Copper plating". plating and surface finishing, January 1983.
- 13.- R.L. Cohen, R.L. Meek, K.W. Nest. "sensitization with palladium-tin colloids; I. role of Rise and Accelerator Steps".
- 14.- Fred Pearlstein "Electroless plating" pag. 710, 1974.
- 15.- G.G. Gawrilov, Chemical (Electroless) Nickel plating Redhill, England, Portcullis Press 1979.
- 16.- W. Goldie, Metallic Coating of plastics, 2 vols. Electrochemical publications Ltd. , 1968.
- 17.- Coombes Robert. "Electroless Copper preplating on ABS plastics" plating, Julio 1970.

- 18.- Guidebook directory Metal and plastics, "Metal finishing". publications Inc. 1962.
- 19.- Mantell A.L. "Ingenieria electroquimica" Ed. Reverte 1970.
- 20.- The Canning Hand Book on electroplating. W. Canning Limited, Birmingham, 1973.
- 21.- F.A. Lowenheim, "electroplating", McGraw Hill book Co. New York. 1973.
- 22.- Peter's and timmerhaus "plant's design and economics for chem. engg". 1960
- 23.- Base P. Howard y M.H Barrow "Ingenieria de proyecto" 1962.