

# Universidad Nacional Autónoma de México

## FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



---

**PROCESOS DE RECUBRIMIENTO PARA LA PROTECCION ANODICA DE LOS METALES POR MEDIO DE CINC.**

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

**JESUS BARRERA VAZQUEZ**

**Director de Tesis: Ing. Rafael Sempere M.**

**1 9 8 3**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## INTRODUCCION

Dentro de un mundo industrial en expansión, existen dos problemas sumamente importantes: La corrosión y la protección contra la corrosión.

Desde un punto de vista técnico y económico, combatir la corrosión resulta difícil y costoso si bien el cálculo del costo varía de un país a otro, en general puede decirse que los costos ocasionados por la corrosión afectan al desarrollo económico de un país.

Dentro del cálculo económico que representa la corrosión se encuentran los costos directos ( repuestos, protección de superficies, disminución de capacidad industrial y eficiencia, uso de materiales especiales, inspección y prueba ) y los costos indirectos ( accidentes, pérdida y contaminación del producto. ).

La conservación de superficies mediante recubrimientos es una de las formas más importantes para combatir o prevenir la corrosión.

La mayoría de los materiales de construcción, como el acero, el concreto y los metales ligeros, casi siempre necesitan protección superficial para la conservación del objeto del cual forman parte. El acero es uno de los metales que más se usan en el mundo.

Como la mayoría de los demás metales usados en la construcción, la superficie del acero debe ser protegida contra la corrosión. El cinc es uno de los mejores recubrimientos de superficies para el hierro y el acero, siempre hay existencias disponibles de este metal y puede aplicarse mediante: Galvanización en caliente, metalización, sherardización, cincado electrolítico y recubrimientos ricos en cinc.

El método seleccionado en cada caso particular depende de varios factores: el tamaño y la forma de la pieza a proteger, la severidad de las condiciones de corrosión y los factores económicos.

El presente trabajo no pretende profundizar en todos los métodos, sino solamente dar un criterio general para su utilización; abordando en una forma más extensiva el galvanizado por inmersión en caliente, que es uno de los más empleados en la actualidad.

Por otro lado pretende ser una ayuda para aquellos profesionales o estudiantes que se interesen en el tema, considerando de antemano que es necesario complementar la información requerida para un problema específico; con las referencias bibliográficas que al final se citan o bien por medio del desarrollo de un método por vía de la experimentación para un problema en particular.

## GENERALIDADES DEL CINCO

CAPITULO I.

## 1.1 Breve reseña histórica.

La historia del cinc es aún obscura. A pesar de que se usó por mucho tiempo como óxido de cinc, el cual por miles de años - se obtuvo calentando minerales que contenían cinc, nadie sabe a ciencia cierta cuando apareció por primera vez en forma metálica. Tal vez hace miles de años en el Lejano Oriente, en India o China. Sin embargo, no fue sino hasta el Siglo XVII que el cinc apareció - en Europa en cantidades notables, procedente del Lejano Oriente, en donde había sido resuelto el problema de beneficiarlo, pero Europa tuvo que esperar hasta mediados del Siglo XVIII para conocer el difícil arte de obtener el cinc por destilación.

**Primeros experimentos:**

En 1742 el químico francés Melouin presentó a la Real Academia Francesa un estudio sobre la aplicación de una capa de cinc al hierro, sumergiéndolo en cinc fundido. Había efectuado varios experimentos de ese tipo y aseguraba que el recubrimiento de cinc duraría más que el estaño y resistiría temperaturas más altas sin fundirse. La industria del estaño cuyos métodos copió Melouin estaba bien establecida en Alsacia, Sajonia y Gales.

La aplicación de estaño en caliente era usada con frecuencia para cubrir vasos y vasijas de cobre y aún de hierro, para sustituir a los manufacturados de estaño o peltre que eran muy costosos.

Durante la segunda mitad del Siglo XVIII hay muchas referencias a vasijas de hierro cubiertas con cinc; Richard Watson -- Obispo de Llandaff descubrió un método usado en Rouen para aplicar una capa de cinc por inmersión: " Las vasijas se dejan primero tan brillantes que no se ve un solo punto negro en ellas, entonces se frota con una solución de sal amoniacal, y posteriormente se sumergen en una marmita conteniendo cinc derretido ".

También se refiere a una segunda inmersión para obtener una capa más gruesa.

M. de la Folie, quien era responsable de este proceso pensó que platos y utensilios cubiertos con cinc pronto podrían reemplazar a sus rivales estañados, pero en breve se descubrió que las sales de cinc que se formaban al contacto con la mayoría de los alimentos eran dañinas.

Los clavos cubiertos con cinc se mencionan en 1805 en una patente americana por Hobson, Sylvester y Moorhouse, que describía un método para entablar barcos, techar casa y alinear caños -- de agua con cinc laminado y recomendaba el uso de "clavos cubiertos con cinc" para adherir las hojas de cinc a los costados de los barcos u otras superficies.

Primeras patentes:

A pesar de que rumores de la galvanización habían estado en el aire por algún tiempo, no fue sino hasta 1836, cien años después de que la fundición de cinc se había introducido en Europa, -- que el químico francés Sorel patentó un sistema práctico de sumergir el hierro en cinc derretido y se convirtió así en el padre de la industria. Utilizaba una solución limpiadora de 9% de ácido sulfúrico en agua, en la cual el hierro se limpiaba lentamente ( 12 o 14 horas) : Más tarde era introducido en una solución de ácido clorhídrico y luego secado en un horno o lugar caliente.

En lugar de fundir con resina pulverizada como se hacía en la industria del estaño, usaba cloruro de amonio para cubrir el cinc y fue por lo tanto el primero en usar el método de galvanización en humedo. Después de la inmersión, los artículos eran colocados en agua fría, frotados con arena y secados en aserrín. Los métodos de Sorel abrieron el camino para el desenvolvimiento comercial del galvanizado.

En 1837, un año después de que la patente de Sorel fue introducida, H. W. Craufurd, comandante de la Armada Real inició la primera patente británica, como una comunicación del extranjero, indudablemente de Sorel. La revolución industrial se encontraba en su apogeo y consecuentemente el uso del hierro aumentaba rápidamente, y con éste la galvanización.

Desarrollo.

Hay reportes de plantas galvanizadoras instaladas en Solingen, Alemania en 1847 y en Australia, cercas de Viena en 1851, -- pero el progreso más rápido ocurrió indudablemente en Inglaterra.

En 1850 las galvanizadoras británicas utilizaban diez mil toneladas de cinc anualmente, y sus productos ocuparon un lugar prominente en la feria mundial que se llevó a cabo al año siguiente en el Palacio de Cristal de Londres, donde se exhibió un gran -- número de productos galvanizados para demostrar la innumerable cantidad de artículos a los que se puede aplicar el proceso de galvanizado.

El hierro corrugado, un nuevo producto que apareció en el año de 1844, pronto empezó a galvanizarse en cantidades considerables y sustituyó a la lámina de cinc que se utilizaba para techar.

A pesar de que la lámina galvanizada era más económica y más fuerte, una de sus mayores desventajas, entonces como ahora era la dificultad para evitar los prejuicios contra su apariencia.

Sin embargo, se desarrolló un gran comercio de exportación. Los colonizadores en América y Australia apreciaron sus -- ventajas como material de construcción y su uso aumentó rápidamente en esos países.

La " fiebre del oro " en California y Australia estimuló su expansión, pues se necesitaban construcciones móviles y utensilios para lavar las arenas.

Alambre:

El alambre estaba entre los principales productos a galvanizar en aquel tiempo.

La primera compañía telegráfica se registró en Inglaterra en 1850, y usaba alambre galvanizado que había sido sumergido en manojos o rollos. Después de que se había encontrado que el mantenimiento de los cables subterráneos era demasiado costoso, se adoptó al método de suspensión aérea. Alambres de hierro enrollados alrededor de un alma de cobre y sostenido por postes de madera. Estos alambres estaban protegidos por el nuevo método de galvanización, pues se habían desechado la pintura y el chapote por costosos y poco efectivos. También se utilizaba con algún éxito la galvanización en el telégrafo submarino y una importante firma británica instaló en 1856 una planta galvanizadora para manufacturar 10 toneladas de alambre a la semana para el primer alambre telegráfico del Atlántico.

Al año siguiente se entregaron 150 toneladas extra de alambre galvanizado, después del primer fracaso para colocar el cable. Muchas otras firmas comenzaron a galvanizar alambre por

esta época para ayudar a satisfacer la demanda. El alambre galvanizado se empezó a usar también para puentes colgantes, que estaban siendo introducidos. Un notable ejemplo es el Puente de Brooklyn en Nueva York.

En 1860 se inventó una máquina para recocido y galvanizado continuo del alambre, formándose así la primera rama especializada de la industria. El alambre encontró una gran variedad de aplicaciones, incluyendo el cercado, que se desarrolló rápidamente en Australia y Sud/America, principales abastecedores de alimentos para la industrializada Europa.

Expansión desde 1900.

La expansión de la industria y sus aplicaciones ha sido cada vez más rápida y la lista de sus diversos usos sería interminable. Su valor en la batalla contra la corrosión es inapreciable.

La fuerza para la industria, la luz y el calor se transporta a través de muchos países por medio de torres de acero galvanizado. El carbón es frecuentemente extraído de los yacimientos en carretas galvanizadas y a veces es transportado en furgones también galvanizados. Barreras naturales tales como los ríos son cruzadas por puentes galvanizados.

En verdad, la galvanización se utiliza actualmente para --

proteger artículos grandes y pequeños que se utilizan en la ciudad, en el campo y aún en el mar. Aún las estaciones atómicas, puntos vitales de la nueva era atómica, utilizan cinc para proteger las - estructuras de acero.

Hoy en día la galvanización es mundialmente conocida y -- consume alrededor de un millón de toneladas de cinc al año.

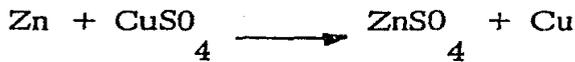
## 1.2 Propiedades químicas.

El cinc, símbolo Zn, peso atómico 65,38, número atómico - 30, es un metal de color blanco de plata y de estructura cristali - na hexagonal. El cinc se encuentra en el grupo II del sistema periódico, figurando en el subgrupo con el cadmio y el mercurio.

Forma sólo compuestos divalentes. Existen cinco isótopos estables del cinc, cuyos pesos atómicos son 64, 66, 67, 68, y 70, y cuya abundancia relativa se ha cifrado respectivamente en 48.9, 27.8, 4.1, 18.6 y 0.6%, pero la composición varía mucho entre muestras de distintas procedencias.

El cinc se presenta ordinariamente en la naturaleza en la - forma de sulfuro y probablemente la mayor parte de los otros mi - nerales de cinc se han formado como productos de oxidación del - sulfuro. Este se encuentra con frecuencia asociado a sulfuros de otros elementos, especialmente del cadmio, plomo, hierro y cobre.

El cinc, cuyo potencial normal de electrodo es de -0.762, es electronegativo con respecto a la mayor parte de los metales estructurales de uso común; son excepciones el aluminio y el magnesio. Entre los ejemplos de la facultad del cinc de reemplazar otros metales, se citan:



esta reacción es la base de la pila de Daniel, que en un tiempo fue una fuente importante de corriente continua. La sustitución



es la base del principal método industrial para recuperar el cadmio de las soluciones impuras de sulfato de cinc.

La propiedad de un alto potencial electronegativo del cinc ( -0.762 ) es la base del uso principal del cinc en la industria; esto es la galvanización del acero. En esta aplicación, el cinc, aunque sólo se ataca lentamente en un ambiente atmosférico normal si no está en contacto con otros metales, sufre, en cambio una corrosión suficiente para proteger el acero, sacrificándose el cinc por acción electroquímica.

El cinc se ataca por la mayor parte de los ácidos minerales y su velocidad de disolución aumenta del ácido sulfúrico al clorhídrico y de éste al nítrico. Entre más puro es el cinc, y más exento se encuentra de impurezas de metales más nobles, más

lentamente tendrá lugar la corrosión.

El cinc no es atacado de modo importante por el aire seco a las temperaturas ordinarias, pero el ataque comienza a aumentar rápidamente por encima de 225 °C. La presencia de humedad en el aire permite el ataque sin necesidad de calentar; el dióxido de carbono y el dióxido de azufre lo aceleran. El cinc en polvo puede inflamarse en el aire húmedo. El producto final de la corrosión atmosférica normal es un carbonato básico hidratado.

Cuando se oxida el cinc en el aire húmedo, puede formarse también peróxido de hidrógeno. La adición de un reactivo que evite la formación del peróxido de hidrógeno, impedirá la reacción.



disminuyendo así la velocidad de corrosión. El cinc muy puro sólo se corroe bajo el agua si existe aire, probablemente por la acción del dióxido de carbono disuelto.

El flúor, cloro y bromo, secos no atacan al cinc a la temperatura ambiente pero la presencia de vapor de agua hace que el cinc en hojas finas se inflame en estos elementos.

### 1.3 Propiedades físicas.

Las propiedades físicas más importantes del cinc se indican en la tabla I.

El cinc es un metal de color blanco argentino; por su dureza se encuentra entre los metales blandos y los intermedios. La dureza en el esclerómetro del cinc laminado con 99.94% de pureza está en el intervalo de 13-15; el cinc colado con el mismo contenido de impurezas es más blando. En la escala de Mohs al cinc le -- corresponde 2.5; es decir: entre el yeso y la calcita. El efecto de pequeñas cantidades de impurezas sobre la dureza es muy pronunciado; todas ellas, con excepción del plomo aumentan la dureza a temperatura ambiente.

El cinc es estimado como retardador de la corrosión para metales más vulnerables, por que se corroe con preferencia a -- ellos en las condiciones normales. Por esta razón, se prefiere al cinc para recubrir el acero, excepto cuando los productos de la -- corrosión del recubrimiento pueden ser absorbidos por los alimentos.

El cinc comercial es demasiado frágil para poder laminarse a la temperatura ambiente, pero adquiere ductilidad a las temperaturas ligeramente altas, que dependen mucho de su contenido de -- hierro. El cinc puro es dúctil incluso a las temperaturas ordinarias. Cuando la ductilidad no es un factor de primera importancia, se suele alear el cinc para aumentar su resistencia mecánica. El cinc -- puro no tiene punto de fluencia definido como la mayor parte de los metales estructurales de uso común, y bajo una carga constante -- suficiente sufre deslizamiento interno, incluso a las temperaturas ordinarias.

TABLA I. Propiedades físicas del cinc.

Densidad ( a 25 °C ), g/c.c. . . . .	.7.133
P. f., °C. . . . .	.419.5
P. eb., °C. . . . .	.906 <sup>±</sup> 1
Calor de fusión, cal/g. . . . .	.24.09
Calor de vaporización( en el p. eb. ), cal/g. . . . .	.423 <sup>±</sup> 4
Capacidad calorífica	
Sólido, 298.16-692.7°K., (cal/mol/°K.). . . . .	Cp=5.35+2.40x10 <sup>-3</sup> T
Líquido, 692.7-1200°K., (cal/mol/°K.). . . . .	Cp=7.50
Presión de vapor (del líquido) en atm. . . . .	logp=9.1373- (6789.5/T) -1.051 log T-1.255X10 <sup>-4</sup> T
Conductividad térmica ( a 25 °C), cal/cm <sup>2</sup> / cm/°C. / seg. . . . .	
	.0.265
Coeficiente de dilatación lineal	
(20-250°C), por °C. . . . .	.39.7X10 <sup>-6</sup>
Resistividad eléctrica, microhm/cm <sup>3</sup> , a	
25°C. . . . .	.5.916
Sobretensión de hidrógeno, a 10 amp/pie <sup>2</sup> ,	
para metal bruñido con esmeril fino. . . . .	.0.75
Susceptibilidad magnética, c.g.s. . . . .	-.0.15X10 <sup>-6</sup>
Estructura cristalina. . . . .	Hexagonal compacta
	(a=2.6594, c=4.937 kX unidades )
Resistencia a la tracción de cinc	
comercial Kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	.1125-3515 según las impurezas y el grado de trabajo en frío.

## INTRODUCCION A LA CORROSION

### CAPITULO II.

#### 2.1 Generalidades.

El término corrosión se aplica a la alteración destructiva de materiales por reacción química con una sustancia cualquiera, sólida, líquida o gaseosa. El metal puede corroerse uniformemente por toda su superficie, como ocurre en el enmohecimiento del acero en la atmósfera. La corrosión puede desarrollarse en zonas localizadas sobre una superficie, originando posteriormente el picado que puede, en algunos casos producir una pronta rotura por perforación. Una aleación puede ser atacada de manera que se elimine uno ó varios de sus constituyentes, dejando un residuo débil de elementos no atacados con propiedades metálicas más pobres. Puede producirse una corrosión excesiva en zonas localizadas en que la forma dada al objeto tiende a agravar las condiciones de corrosión, como ocurre en las grietas bajo remaches, pernos y superficies unidas. Cuando se unen dos metales diferentes, puede ocurrir que el más activo ataque fuertemente al otro en la unión.

Los productos de la corrosión pueden ser solubles en el medio corrosivo, observándose un ataque muy rápido. En la mayoría de los casos, los productos de corrosión son insolubles y forman escamas poco adherentes sobre la superficie del metal o bien forman películas protectoras estrechamente adheridas y que sofocan

el proceso de corrosión.

El proceso fundamental es la cesión de electrones de los átomos del metal a otros átomos o iones. Procesos análogos se presentan en la oxidación a temperatura elevada y con algunos agentes orgánicos corrosivos. La corrosión es un proceso electroquímico por cuanto, la destrucción química va acompañada de circulación de electricidad ( fig. 1 ).

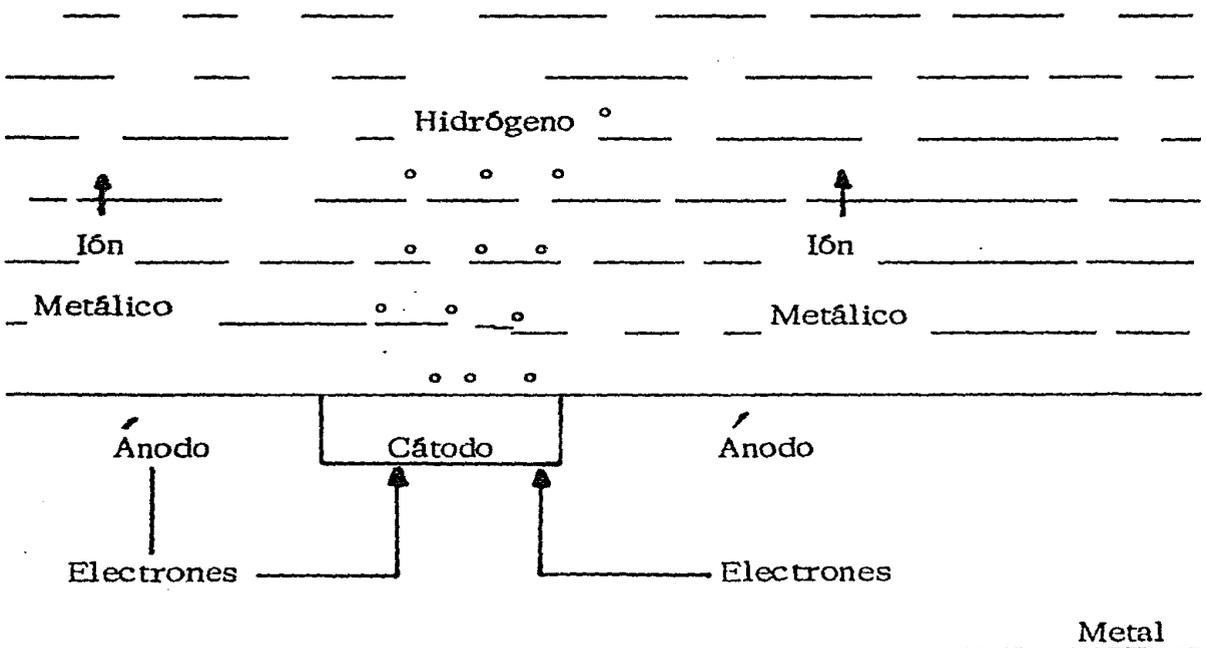


Fig. 1 Diagrama del mecanismo de la corrosión electroquímica.

En el ánodo se corroe un ión de metal por cada electrón que circula a través del metal hacia el cátodo. Por lo tanto, la corrosión y la corriente obedecen a la Ley de Faraday.

La circulación de electrones del ánodo al cátodo a través del metal es función de las diferencias de potencial entre las zonas anódicas y catódicas. Estas pueden hallarse sobre metales diferentes en contacto, o pueden ser zonas diferentes sobre la misma superficie metálica. La diferencia del potencial puede originarse a causa de la homogeneidad de la superficie respecto a la variación de las películas sobre el metal, de los diferentes componentes metalúrgicos, de las inclusiones de esfuerzos, de gradientes de temperatura, la diferencia de concentración en ciertas partes de la solución o de velocidades en zonas diferentes. Las corrientes de corrosión pueden deberse a un generador exterior, como es el caso de las corrientes parásitas o de las tensiones aplicadas en los sistemas catódicos de protección. La magnitud de la corrosión será proporcional a la intensidad de la corriente que circula entre las zonas anódica y catódica. La intensidad viene regulada por los procesos que tienen lugar en la superficie anódica y catódica. Estos procesos en los electrodos se hallan fuertemente influenciados por factores tales como la acidez de la solución, la fuerza electromotriz, la presencia de agentes oxidantes, la temperatura, la velocidad, los inhibidores, la concentración y por otros factores físicos.

La tendencia de los metales a corroerse desprendiendo hidrógeno viene indicada de manera general por sus posiciones en la serie de fuerzas electromotrices de los elementos ( tabla 2 ) Estos datos se aplican solamente a condiciones reversibles termodi

námicamente. No incluye factores determinativos de velocidad -- como otras concentraciones de los iones. Cuanto más negativo -- sea su potencial, tanto mayor es la tendencia del metal a pesar a la solución y tanto mayor es su actividad. Las variaciones de concentración de los iones, el carácter de éstos o el pH, pueden alterar las posiciones relativas de éstos elementos.

La serie de las fuerzas electromotrices no proporciona una base para predecir la corrosión. Con el metal descubierto, pueden producirse reacciones secundarias que mantengan o aceleren la -- corrosión.

## 2.2 Tipos de corrosión.

Desde el punto de vista del servicio prolongado de una estructura o un artículo, la frase " índice de corrosión " o cantidad de metal eliminado en la unidad de tiempo, tiene una significación limitada. El índice de corrosión tiene que relacionarse con la distribución o la intensidad del ataque porque un índice medio pequeño, si la corrosión se concentra en una superficie reducida, puede causar más daño en una estructura que un índice mucho mayor con la corrosión uniformemente distribuida. Por esta razón, se distinguen varias formas de corrosión según la distribución del ataque y el efecto de los factores internos y externos que modifican la -- distribución y la rapidez.

Los tipos o formas más frecuentemente encontrados, enumerados sin tener en cuenta su importancia relativa, son los siguientes:

- 1). Corrosión general o uniforme
- 2). Corrosión por picado o local
- 3). Corrosión selectiva ( descincación )
- 4). Corrosión bajo película.

### 2.2.1 Corrosión general.

Es la disminución uniforme del volumen de un metal por la acción química ( electroquímica ), acción que generalmente entraña la formación de los productos solubles; la corrosión general implica que cada átomo en la superficie descubierta de un metal es exactamente igual a cualquier otro átomo con respecto al medio corrosivo, y que éste último tiene acceso a todos los átomos. En la práctica, por supuesto, ese caso ideal se presenta pocas veces o ninguna. Sin embargo, se acerca a él la acción de los ácidos sobre algunos metales y de los álcalis fuertes sobre los metales anfóteros como el aluminio, el cinc y el plomo. La corrosión de este tipo es también uniforme con respecto al tiempo; el metal es convertido en productos solubles de la corrosión con un ritmo constante, y el ataque puede predecirse y, en cierto grado, controlarse.

### 2.2.2 Corrosión por picado.

Ni las superficies de los metales ni el medio externo que los rodea son homogéneos. A menudo se precipitan productos de corrosión insolubles que forman película en la superficie del metal; las películas no son uniformemente perfectas; las direcciones cristalográficas del metal no son iguales en su reactividad, y el medio no es uniforme en concentración. Por estas razones, puede concentrarse el ataque corrosivo en pequeñas zonas distribuidas al azar dejando gran parte de la superficie relativamente no atacada. Se forman picaduras u hoyos, que penetran en el metal en lugar de extenderse sobre la superficie, de lo que resulta el deterioro por perforación; a diferencia de la corrosión uniforme, la picadura es difícil de evaluar y controlar, porque no es uniforme con respecto a la superficie ni su rapidez es constante respecto al tiempo. En realidad el índice de corrosión en algunas picaduras puede disminuir con el tiempo y la corrosión se concentra en los centros activos restantes con el consiguiente aumento en la intensidad y la rapidez del deterioro.

### 2.2.3 Corrosión selectiva.

En las aleaciones de dos o más metales es posible que ocurra la eliminación selectiva de un componente quedando los demás. Así el latón rico en cinc sufre la llamada "descincación" por lo cual es lixiviado el cinc y queda una masa porosa de cobre casi

puro. Esto puede producirse localmente, corrosión de tipo "tapón" o en toda la superficie, y entonces se llama "capa". Por lo general, se carece de datos relacionados con la actividad de los componentes de la aleación, y mientras no se disponga de ellos no podrá hacerse una descripción completa del mecanismo.

#### 2.2.4 Corrosión bajo película.

Este tipo de corrosión ataca al metal debajo de la película y se presenta en dos formas: filiforme y granular.

##### 2.2.4.1 Corrosión filiforme

Este tipo de corrosión se presenta generalmente en los metales recubiertos con sustancias orgánicas, y tienen la forma de numerosos filamentos serpenteados. Estos filamentos o hilos formados, son por lo general de 0.1 a 0.5 mm. de anchura. El hilo tiene el color rojo característico del óxido férrico, salvo en la punta que es verde o azul, por la presencia de iones ferrosos. La característica de los hilos es de que nunca se cruzan. Si la punta de un hilo se aproxima a otro, al tocarlo se desvía o detiene su crecimiento.

Este tipo de corrosión se produce en el acero solo cuando el aire tiene una humedad relativa del 65 al 90%, los hilos se ensanchan hasta formar ampollas con una humedad relativa del 100%.

Si la película es relativamente impermeable al agua, puede que -- no exista en absoluto corrosión filiforme.

#### 2.2.4.2 Corrosión intergranular.

Es un tipo de ataque localizado, que ocurre en los espacios que limitan los granos de un metal y que producen pérdida de la -- resistencia mecánica y de la ductilidad. El metal, de área limitada que forma los espacios intergranulares, y que actúa como ánodo, -- está en contacto con las superficies de los granos que son más grandes y actúan como cátodos. Este ataque puede ser con frecuencia, -- rápido, penetra con profundidad en el metal y algunas veces causa averías de bastante consideración.

La corrosión intergranular, siguiendo la trayectoria de los límites entre los granos, se produce en escala microscópica sin que -- se observen indicios visibles de ataque intenso. Por esta razón, es especialmente peligrosa, pues la construcción falla sin aviso previo a consecuencia de la pérdida de cohesión entre los granos.

La corrosión intergranular se produce por la diferencias -- locales de concentración en los componentes de la aleación en los límites de los granos, a consecuencia de los tratamientos térmicos y de la precipitación subsiguiente.

La condición primordial para la corrosión intergranular es una diferencia en la concentración de la aleación en los límites de los granos. De ello se deduce que cualquier aleación que se endurezca con el transcurso del tiempo ( envejecimiento ) o una aleación en la cual la precipitación preferencial produzca una disminución local de la pasividad de los límites de los granos, puede hacerse susceptible a la corrosión intergranular por un tratamiento térmico.

### 2. 3 Control de la corrosión.

La mejor manera de ampliar el estudio de los principios de la corrosión es examinar su aplicación al control de la corrosión. Puesto que la corrosión no puede reducirse a cero, salvo que se suministre energía desde una fuente externa todos los demás métodos para controlar la corrosión implican reducir la rapidez de la corrosión a algún mínimo aceptable.

Los métodos para reducir la rapidez de corrosión son los siguientes.

- 1) Purificación de los metales
- 2) Aleación
- 3) Adiciones al medio ( inhibidores )
- 4) Alteración del medio
- 5) Protección catódica

- 6) Protección Anódica
- 7) Recubrimiento sobre el metal.

### 2.3.1 Purificación de los metales.

Es evidente, por el estudio de las fuentes de diferencia de potencial, que una aleación heterogénea formada por dos o más -- fases es menos resistente a la corrosión que un metal puro o una -- solución sólida homogénea, a causa de la pila galvánica local for-- mada por las distintas fases. Conforme a esta generalización la -- tendencia, para los metales como el aluminio y el magnesio, es -- realizar en ellos la ultrapurificación.

El aumento en la resistencia a la corrosión, resultante de la purificación, depende, del medio concreto de que se trate. No se consigue nada purificando el aluminio si el metal está en contac-- to con soluciones alcalinas en las cuales tanto la película de óxido como el metal se combierten directamente en aluminato soluble.

La purificación ofrece ventajas cuando el mecanismo de la corrosión es claramente electroquímico y se consigue una reduc-- ción en el número de pares galvánicos locales, o cuando se mejora la cohesión y el carácter impermeable de una película.

### 2. 3.2 Aleación.

También aquí es necesario considerar los dos casos de aleación, homogéneas y heterogéneas. Los metales electropositivos, como el aluminio y el magnesio, tienen una capacidad muy limitada para formar soluciones sólidas, y en general, la aleación disminuye su resistencia a la corrosión, sin embargo, no siempre es posible emplear metales puros por motivos relacionados con la resistencia mecánica. La aleación permite obtener las propiedades mecánicas deseadas y a menudo se llega a una transacción entre la resistencia a la corrosión y las propiedades físicas y mecánicas.

Cuando, por razones diferentes de la resistencia a la corrosión, se emplean aleaciones de dos fases, es conveniente elegir aleaciones en las cuales el potencial de disolución de la segunda fase se acerque lo más posible al de la matriz. Cuando el mecanismo de control es el desprendimiento de hidrógeno en cátodos locales, las adiciones que den como resultado una segunda fase cática de elevada sobretensión de hidrógeno contribuirán a reducir al mínimo la velocidad de la corrosión. Análogamente, el tratamiento térmico y el trabajo de los metales deben disponerse de modo que dispersen uniformemente una segunda fase anódica en la matriz, impidiendo la localización de la corrosión. Un ejemplo de elección basada en los potenciales relativos de disolución es una aleación comercial aluminio-manganeso, en la cual la segunda

fase,  $MnAl_6$ , tiene aproximadamente el mismo potencial que el aluminio, y resistencia a la corrosión en soluciones salinas no es muy diferente de la del aluminio puro comercial.

En lo que respecta a las aleaciones homogéneas, la generalización está limitada por el hecho de que no existe ningún criterio para medir la resistencia a la corrosión independientemente del medio. Hasta ahora, la investigación empírica es la única fuente de aleaciones resistentes a la corrosión, incluyendo los aceros inoxidables. Todavía no es posible especificar, basándose en principios generales, un componente especial de aleación que pueda satisfacer un grupo limitado de condiciones corrosivas. Además, adiciones que son eficaces para reducir la corrosión en soluciones salinas neutras pueden acelerar la corrosión en un medio ácido o alcalino.

### 2. 3. 3 Adiciones al medio ( inhibidores ).

Llámense inhibidores de la corrosión las sustancias que, añadidas en pequeñas cantidades al medio, disminuyen eficazmente la rapidez de la corrosión.

La rapidez de ataque es proporcional a la corriente que circula en la pila de corrosión, y la intensidad de la corriente es función de la diferencia de potencial en circuito abierto, de la polarización en el ánodo y en el cátodo y de la resistencia de la pila .

Por consiguiente:

$$I = \frac{E - (E_a - E_c)}{R} \quad \text{----- ( 1 )}$$

Donde.

I=== Intesidad de corriente en el estado constante.

E=== Potencial en el circuito abierto.

E<sub>a</sub>== Polarización en el ánodo.

E<sub>c</sub>== Polarización en el cátodo.

R=== Resistencia de la pila.

Es evidente por la ecuación (1) que un inhibidor es eficaz si:

- 1) Aumenta la resistencia de la pila
- 2) Aumenta la polarización del ánodo o cátodo.
- 3) Disminuye el potencial en circuito abierto.

Sin embargo, su eficiencia no puede valuarse sin tener en cuenta la distribución de la corrosión como resultado de la adición del inhibidor. Cuando, por ejemplo, un inhibidor límita la rapidez aparente de corrosión uniforme separando extensas zonas anódicas, sin que disminuya la corriente de corrosión en proporción a la zona anódica disminuida, el ataque anteriormente uniforme se convierte en una intensa picadura, que puede dar como resultado un -

deteriore más rápido del que se produciría sin inhibidor. Por consiguiente, los inhibidores se clasifican con arreglo al electrodo en el que su acción es predominante, en anódicos y catódicos, y como seguros o peligrosos, según su efecto sobre la distribución de la corrosión. Los inhibidores que disminuyen el potencial en circuito abierto se llaman pasivadores.

El mecanismo de la inhibición está siendo objeto de intensas investigaciones y es muy discutido. La inhibición se ha atribuido a la adsorción, a la formación de películas insolubles en el punto de ataque, a la polarización por difusión y concentración y a la interacción electrónica entre los iones del inhibidor y los átomos en la superficie del metal o la aleación. Es indudable que todos esos efectos se producen en mayor o menor grado y la determinación del mecanismo predominante en un caso dado resulta difícil. A falta de una teoría más coherente, la especificación de un agente que produzca la inhibición es en la actualidad en gran parte empírica.

#### 2. 3. 4 Alteración del medio.

Puesto que la corrosión del hierro en el agua y en soluciones salinas es controlada en gran parte por la concentración del oxígeno disuelto, la eliminación del oxígeno (aire) es un método eficaz para reducir al mínimo la corrosión. El grado de desaireación requerido depende de la temperatura y del carácter corrosivo

del agua; su magnitud varía entre 0.005 partes de oxígeno residual por millón de partes de agua en las instalaciones de vapor a alta presión y 0.30 ppm. en los sistemas de agua fría.

El uso de la desaireación como procedimiento de control en los sistemas de abastecimientos de agua con tuberías de acero y en las instalaciones para la producción de vapor es bastante general. Sin embargo, es necesario hacer resaltar que en el caso de metales como el aluminio y el cinc, que dependen de una película de óxido y posiblemente de oxígeno adsorbido para su protección, la desaireación no servirá para restringir la corrosión y puede -- acelerarla. El equilibrio entre la aceleración y la inhibición de -- depende del papel doble desempeñado por el oxígeno como pasivador y como despolarizante catódico. Si el proceso está bajo el control catódico, e implica la producción de hidrógeno, la eliminación -- del oxígeno será, por lo general, beneficiosa; pero si el proceso es controlado anódicamente, la eliminación del oxígeno acelera -- la corrosión.

Como en todos los ejemplos anteriores de control de la -- corrosión, el método adoptado depende del conocimiento del mecanismo que se opone a la corrosión.

### 2.3.5. Protección catódica.

El control de la corrosión por la protección catódica se ha

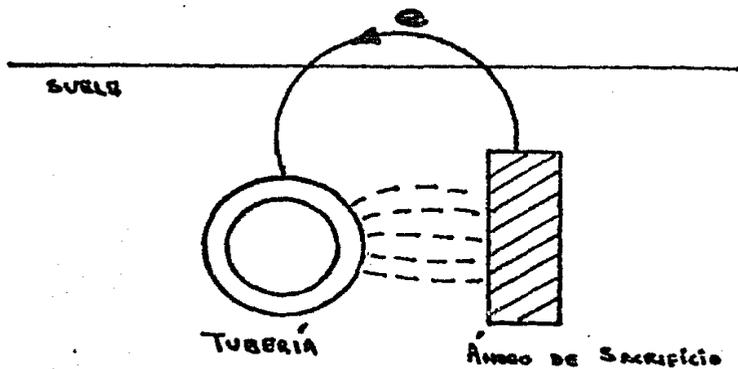
practicado desde hace más de cien años. En 1824, Sir Humprey - Davy averiguó que " pequeñas cantidades de cinc puestas en contacto con el recubrimiento de cobre de los barcos impiden por completo la corrosión ". Este es uno de los métodos de control más eficaces y en realidad, el único que puede reducir a cero la corrosión.

Un metal experimenta corrosión como consecuencia de que la diferencia de potencial a través de la interfase en la zona sumidero de electrones es positiva respecto al potencial de equilibrio - para la reacción de disolución del metal.

El método que logra que ésta diferencia de potencial se -- convierta en negativa respecto al potencial de equilibrio, es el método de la protección catódica, con lo cuál no se producirá la disolución del metal.

Esta modificación de la diferencia de potencial entre un -- metal y su ambiente se logra haciendo que sean impulsados electrones al metal que se corroe. Estos electrones son los causantes de que el metal se cargue más negativamente y con ello se produzca una disminución de la diferencia de potencial en sentido negativo. Para impedir la disolución del metal, es necesario inyectar -- la cantidad adecuada de electrones.

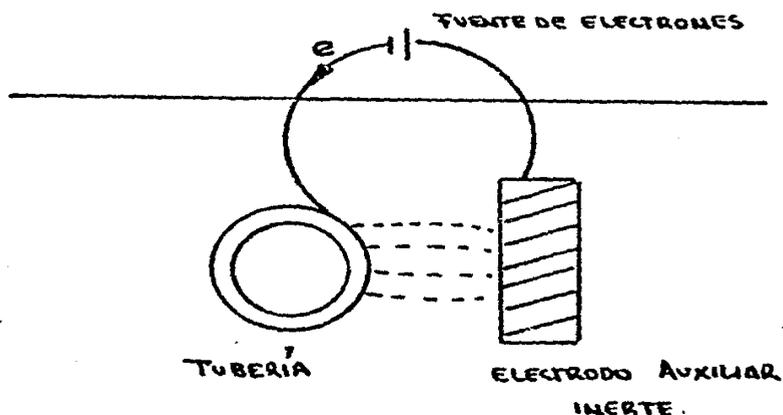
Este método de inyectar electrones en el metal que se corroe se basa en un hecho electródico bien conocido. Cuando las iones existentes en el interior de un metal escogido adecuadamente pasan a la disolución, dejan tras de sí un exceso de electrones que, si encuentran un conductor electrónico, pueden fluir hacia el metal susceptible de corroerse. Supongamos que se sumerge en el ambiente corrosivo un metal auxiliar que posea un potencial de equilibrio negativo respecto al metal que se corroe y que se conecta en cortocircuito con el metal que se ha de proteger ( como se muestra en la siguiente figura )



Se logra una protección catódica, conectando en cortocircuito un metal auxiliar, de potencial más negativo, con la construcción metálica que se pretende proteger

En este caso, el metal auxiliar funcionará como sumidero de electrones ( ánodo ) y se sacrificará disolviéndose ( de aquí el nombre ánodo de sacrificio ) . Por lo tanto, se ha construido una nueva pila de corrosión en que se corroe el metal auxiliar en lugar del metal que se trata de proteger, y el la cual toda la superficie - del último metal se convierte en zona fuente de electrones.

En el método anterior, los electrones que se bombean hasta el metal que se corroe, proceden de la disolución de un metal-auxiliar que se sacrifica. También pueden provenir de una corriente eléctrica externa. Sin embargo, se ha de completar el circuito eléctrico y a este fin es posible insertar un electrodo auxiliar inerte para proporcionar una vía de retorno para la corriente de electrones ( como se muestra en la siguiente figura ) .



La protección catódica se logra también usando un electrodo auxiliar inerte y enviando a través del - circuito una corriente procedente de una fuente de corriente externa.

La fuente externa se ajusta de forma que la diferencia de potencial entre el metal y su ambiente se haga negativa respecto a su potencial de equilibrio.

El método de protección catódica, parece ser un método ideal para prevenir la corrosión. Sin embargo, existen en este método algunos aspectos menos favorables.

En primer lugar, cuando se utilizan fuentes de corriente externas, es posible que el consumo de energía resulte tan grande que no sea práctico.

En segundo lugar, es importante que la diferencia de potencial a través de toda la interfase entre el metal que se ha de proteger y su ambiente se desplace por debajo del potencial de equilibrio, o sea la protección catódica tiene que ser continua ya que su naturaleza catódica acelera la disolución del metal en las áreas descubiertas de este. Por tal motivo la corriente que circula a través del circuito debe distribuirse uniformemente en el metal que se corroe.

En tercer lugar en los casos en que la superficie del metal se hace excesivamente negativa respecto al potencial de equilibrio del hidrógeno, puede producirse desprendimiento de hidrógeno y ha de afrontarse una consecuencia peligrosa de tal protección catódica. Incluso cuando el metal está bien protegido de la disolución, su superficie se va recubriendo de átomos de hidrógeno adsorbidos,

que son productos intermedios en la reacción de desprendimiento de hidrógeno. Estos átomos de hidrógeno adsorvidos pueden disolverse en el metal, afectandole sus propiedades mecánicas.

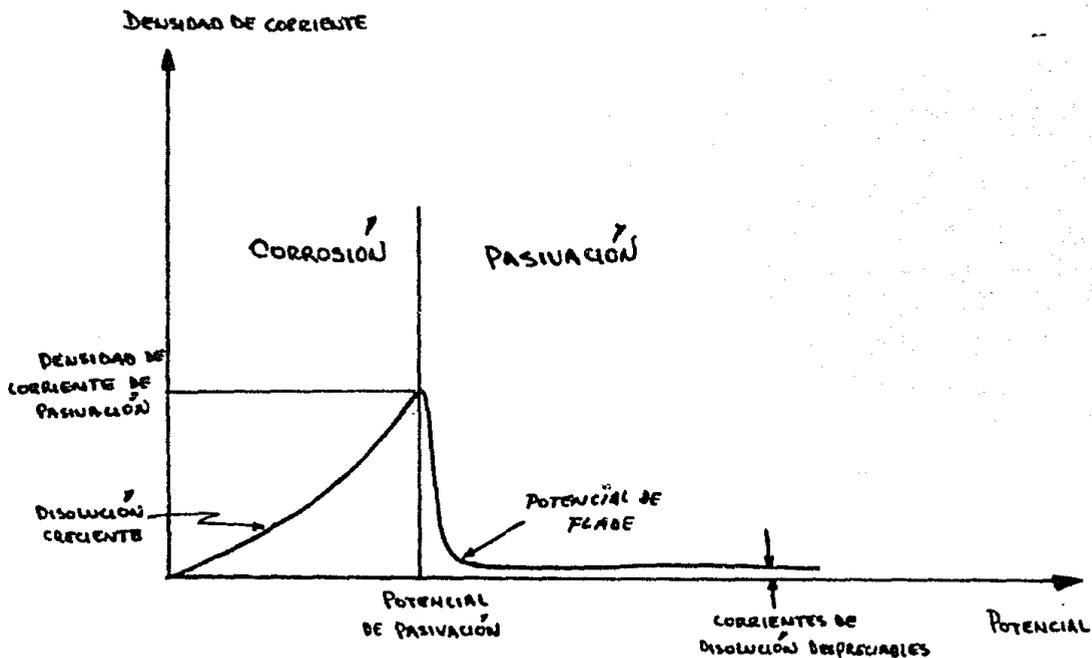
### 2.3.6 Protección anódica.

Se ha indicado que uno de los métodos utilizados para proteger un metal de la corrosión consiste en inyectarle electrones, con lo que se consigue que disminuya la diferencia de potencial a través de la interfase metal-ambiente. Con otras palabras, el campo de la doble capa se altera de forma que disminuye la reacción de disolución del metal que conduce a la corrosión. Supongamos que se sugiere que un metal que se está corroyendo se puede estabilizar superponiéndole un campo de doble capa, que acelere la reacción de disolución del metal en lugar de impedirla. Esta sugerencia se considerará poco razonable. Sin embargo, es una realidad el que la superficie inestable de un metal que está experimentando una corrosión activa puede volverse pasivo y estable en determinadas circunstancias ( dependientes del metal, condiciones de la disolución, etcétera ), aumentando el potencial en sentido positivo. Este fenómeno es conocido con el nombre de pasivación forzada. El cual es inesperado y su estudio revela muchos aspectos interesantes y nuevos de la interacción electroquímica de las sustancias con su ambiente.

El uso de un potencióstato facilita el estudio de la pasivación forzada, pues este dispositivo permite mantener el potencial del electrodo a valores escogidos y hace que las medidas, por ejemplo, la densidad de corriente, correspondan al estado estacionario para cada valor del potencial.

Si se toma el hierro como metal que se corroe, las graficas experimentales en que se presenta la intensidad en función del potencial presentan una forma interesante. Cuando a partir del potencial de corrosión, el potencial se vuelve más positivo, se incrementa la corriente de corrosión; esto es lo que se esperaba. Pero para un determinado potencial, la curva intensidad-potencial cambia de sentido y empieza a decrecer rápidamente con el potencial creciente. Esta disminución de la disolución con el aumento de potencial es una tendencia opuesta a la esperada. La disolución del metal está sujeta a una clara inhibición al potencial correspondiente al máximo de la curva intensidad-potencial, el potencial de pasivación. Los distintos metales presentan diferentes potenciales de pasivación. Pasivando al metal, las intensidades que fluyen son de cien a mil veces menores que la corriente de disolución en el máximo de la región corriente-potencial en que crece la corriente de corrosión con el aumento de potencial. Ha cesado totalmente la corrosión y el metal ha quedado protegido anódicamente extrayendo electrones del metal en lugar de inyectarlos como en el proceso catódico. Pero lo más importante es que la protección anódica de-

metal susceptible de corroerse, puede lograrse mediante el paso de un número muy bajo de coulombs en comparación con el que se necesita para la protección catódica y no conduce, en modo alguno, al desprendimiento de hidrógeno que penetre en el metal y lo perjudique, lo cual es posible que ocurra durante el proceso de protección catódica.



Cuando se incrementa el potencial de acero, la intensidad crece inicialmente, alcanza un valor máximo y después bruscamente empieza a decrecer hasta valores despreciables.

### 2.3.7 Recubrimiento ( metálico ) sobre el metal.

El recubrimiento de metales con otros metales ( más activos ) es un ejemplo de protección catódica. Así es como el sacrificio del cinc protege al hierro galvanizado.

Dada la importancia que presenta el recubrimiento metálico de metales en este estudio, estos recubrimientos serán desarrollados en el siguiente capítulo.

TABLA 2

SERIE ELECTROMOTRIZ DE LOS METALES E° ( VOLTS ) A 25° C VS. E. S. H.

Au	$\rightleftharpoons$	Au	$\oplus$	3e	1.42	Noble
Pt	$\rightleftharpoons$	Pt	$\oplus$	2e	1.2	
Pd	$\rightleftharpoons$	Pd	$\oplus$	2e	0.83	
Ag	$\rightleftharpoons$	Ag	$\oplus$	e	0.799	
2Hg	$\rightleftharpoons$	Hg <sub>2</sub>	$\oplus$	2e	0.798	
Fe	$\oplus$	e	$\rightleftharpoons$	Fe	0.771	
Cu	$\rightleftharpoons$	Cu	$\oplus$	2e	0.34	
Sn	$\oplus$	2e	$\rightleftharpoons$	Sn	0.154	
2H	$\oplus$	2e	$\rightleftharpoons$	H <sub>2</sub>	0.000	Referencia
Pb	$\rightleftharpoons$	Pb	$\oplus$	2e	-0.126	
Sn	$\rightleftharpoons$	Sn	$\oplus$	2e	-0.140	
Ni	$\rightleftharpoons$	Ni	$\oplus$	2e	-0.23	
Co	$\rightleftharpoons$	Co	$\oplus$	2e	-0.27	
Cd	$\rightleftharpoons$	Cd	$\oplus$	2e	-0.402	
Fe	$\rightleftharpoons$	Fe	$\oplus$	2e	-0.44	
Cr	$\rightleftharpoons$	Cr	$\oplus$	3e	-0.71	
Zn	$\rightleftharpoons$	Zn	$\oplus$	2e	-0.762	
Al	$\rightleftharpoons$	Al	$\oplus$	3e	-1.66	
Mg	$\rightleftharpoons$	Mg	$\oplus$	2e	-2.38	
Na	$\rightleftharpoons$	Na	$\oplus$	e	-2.71	
K	$\rightleftharpoons$	K	$\oplus$	e	-2.92	Activo

## RECUBRIMIENTOS METALICOS

CAPITULO III.

## 3.1 Generalidades

Por medio de recubrimientos de metales no ferrosos, se protegen otros metales, especialmente el hierro y el acero, en muchos ambientes corrosivos. En virtud de la utilidad que proporciona la combinación de un metal fuerte con un recubrimiento resistente a la corrosión, los metales recubiertos constituyen una clase importante de materiales de ingeniería. Los recubrimientos metálicos pueden aplicarse también a bases no metálicas, como plásticos, tejidos y papel. De esta manera se da a un material aspecto metálico o propiedades superficiales de metal. Estos usos especiales de los recubrimientos metálicos tienen una importancia industrial relativamente secundaria.

En la actualidad se dispone de recubrimientos metálicos para gran variedad de usos, entre ellos la conservación de grandes estructuras expuestas a la acción de los agentes atmosféricos, la protección del equipo empleado en los tratamientos químicos y la decoración de materiales flexibles, como tela y papel. Por consiguiente, las propiedades exigidas a un recubrimiento pueden ser muy diferentes, según la función a que se destina. Las características que se adaptan mejor a una aplicación particular se obtienen mediante la elección apropiada del recubrimiento metálico y del

procedimiento empleado para aplicar el recubrimiento. Son materiales de uso común para recubrimientos los siguientes: cinc, - - aluminio, níquel, cromo, estaño, plomo, cobre, cadmio y aceros inoxidables.

Existen varios procedimientos para aplicar los recubrimientos.

- 1) Inmersión en caliente.
- 2) Impregnación
- 3) Aspersión
- 4) Chapeado
- 5) Depósito de vapor
- 6) Electrodepósito

Elección del metal para el recubrimiento.

La elección del metal más apropiado para el recubrimiento en una aplicación dada se basa en las propiedades físicas y químicas desde el punto de vista del uso que se piensa hacer. Las propiedades químicas importantes son la relación electroquímica con el metal base y la resistencia al ataque directo por el ambiente de servicio ( pasividad ). En General esas propiedades serán muy semejantes a las de un metal macizo de la misma composición que el recubrimiento. La relación electroquímica con la base determina el tipo de protección y el grado de recubrimiento. Un recubrimiento anódico con respecto a la base mantiene la protección electrolítica de áreas pequeñas descubiertas por la corrosión sacrificial y no es

necesario que sea completamente no poroso. Un recubrimiento -- catódico protege aislando del ambiente la base con una envoltura - impermeable. Tiene que ser continuo, ya que su naturaleza catódi -- ca acelera el ataque de las áreas descubiertas de la base. Ya sea -- el recubrimiento anódico o catódico, el comportamiento del recu -- brimiento en el medio ambiente es esencial si se requiere mantener la protección durante largo tiempo. Las propiedades físicas que -- influyen en la eficiencia del recubrimiento son la ductilidad y la du -- reza. La ductilidad tiene que ser grande si el producto recubierto tiene que deformarse, como sucede en operaciones de fabricación; la dureza es importante si las condiciones de servicio implican ro -- zamiento. Para aplicaciones decorativas, el aspecto es el factor -- principal que decide la elección del metal para el recubrimiento.

Elección del procedimiento para aplicar el recubrimiento.

El material elegido para el recubrimiento, justamente con las dimensiones y la forma del artículo que hay que tratar, la - - temperatura que puede soportar el artículo durante el tratamiento y las cualidades físicas exigidas al recubrimiento determinan el - procedimiento que debe usarse para aplicarlo. En base a esto se -- selecciona uno de los métodos ya anteriormente citados.

## Pruebas de los recubrimientos.

El mejor método para determinar la eficiencia de un recubrimiento metálico es exponerlo al medio en que tendrá que prestar servicio el artículo recubierto. El período necesario para que falle el recubrimiento determina la protección que proporciona un peso o espesor dado. Contribuyendo a los conocimientos generales para impedir la corrosión, dicha información amplía la base por medio de la cual puede a menudo conocerse el comportamiento de un metal para recubrimientos en un caso determinado. Cuando se conoce por experiencias el resultado de un recubrimiento en un medio dado, por las pruebas de corrosión realizadas o por los conocimientos químicos generales, el procedimiento empleado para las pruebas se reduce al control de la calidad. Las propiedades importantes que deben tenerse en cuenta para juzgar la calidad de un recubrimiento son:

- 1) Espesor medio
- 2) Porosidad o continuidad.
- 3) Uniformidad del espesor
- 4) Adherencia
- 5) Flexibilidad

Las pruebas para juzgar la calidad deben ser sencillas y poco costosas.

### 3.2 Recubrimientos aplicados por inmersión en caliente.

La inmersión en caliente, uno de los métodos más antiguos para recubrir un metal con otro, se utiliza como procedimiento -- para producir una película protectora barata. El recubrimiento lo forma el metal que se adhiere al artículo cuando este se sumerge en un baño del metal fundido. Los metales usados para producir -- estos recubrimientos son lo que tienen un punto de fusión bajo, -- que por ello no provocan cambios térmicos en el metal base. Se -- aplican por inmersión en caliente el cinc, estaño, plomo y alumi- nio; el metal base suele ser el hierro o el acero. La única limita- ción a la forma del material que pueda tratarse es su factibilidad a ser sumergido en el baño. Las laminas, los flejes, los alambres y los tubos se tratan por procedimiento continuo, mientras que los artículos de forma irregular como las cubetas, las tuercas, los -- pernos, las piezas fundidas, etc. , se sumergen por lotes.

### 3.3 Recubrimientos por impregnación.

La impregnación es un procedimiento para formar un recu- brimiento protector con una aleación calentando un metal base en íntimo contacto con un metal pulverizado. Los recubrimientos for- mados por este método tienen un espesor uniforme cualquiera que sea la forma geométrica de la superficie que se trate; las grietas no se llenan, como sucede con la inmersión en caliente. Por tanto,

los recubrimientos por impregnación son apropiados para la protección de piezas roscadas y pequeños objetos de superficie desigual. En general, el procedimiento no se adapta bien al tratamiento de artículos grandes.

El metal base es normalmente acero. Los metales empleados para los recubrimientos son los que pueden alearse con él. Los procedimientos de impregnación de uso común son los que utilizan cinc ( sherardización ), cromo ( cromado ) y aluminio ( calorización ). En estos casos, el recubrimiento protector es una capa superficial de aleación formada por difusión del metal del recubrimiento dentro de la base a temperaturas elevadas.

#### 3.4 Recubrimientos aplicados por aspersion.

La producción de recubrimientos protectores pulverizando metales fundidos es el único procedimiento comercial que utiliza un aparato portátil para recubrimientos. La portabilidad se logra al incorporar el mecanismo pulverizador en una pistola de aire, y hacer que el procedimiento sea especialmente apropiado para recubrir estructuras grandes y para reparar piezas de máquina desgastadas. Otras ventajas pueden encontrarse en la rapidez con que puede aplicarse un recubrimiento de espesor y composición controladas y en el pequeño grado de deformación de la estructura base durante el proceso.

### 3.5 Recubrimientos por chapeado de metales.

Un metal chapeado es un material compuesto de un metal base con una capa de un metal de recubrimiento soldada a él. El chapeado se usa para comunicar a la lámina de acero los caracteres superficiales de metales más caros, resistentes a la corrosión, que se funden a temperatura elevada, como el níquel, el acero inoxidable y el cobre; para combinar la resistencia del alambre de acero con la elevada conductividad eléctrica del cobre, y para proporcionar protección anódica a las aleaciones de aluminio.

El chapeado se realiza sometiendo láminas yuxtapuestas de metal base y de metal del chapeado a temperatura y presión suficiente para producir la soldadura, o bien colando metal fundido del recubrimiento alrededor de un núcleo macizo del metal base. La unidad compuesta se lamina después hasta convertirla en hoja o se estira para obtener un alambre. El método se limita, por consiguiente, a los metales que no presentan una diferencia radical en sus caracteres desde el punto de vista del trabajo.

### 3.6 Recubrimientos por depósito de vapor.

Pueden depositarse películas metálicas sobre superficies metálicas o no metálicas por condensación de vapores metálicos. Estos recubrimientos son adherentes, flexibles y relativamente puros. La extensa variedad de metales que pueden depositarse de

esta manera permite hacer una selección adecuada para las propiedades concretas deseadas. Sin embargo, en virtud de las técnicas especiales y del control riguroso necesario, el procedimiento es costoso y sólo se usa cuando los requisitos no pueden satisfacerse con otros métodos de recubrimiento.

El procedimiento del depósito de vapor comprende tres fases:

- 1) Producción del vapor metálico
- 2) Difusión del vapor
- 3) Condensación sobre el objeto

Dos métodos de uso común son: evaporación térmica y chisporroteo catódico. Las películas formadas por ambos procedimientos son relativamente delgadas, por lo general, de una micra, o menos y tienen que aplicarse sobre superficies bien limpias.

### 3.7 Recubrimiento por electrodeposición.

Consiste en la deposición electrolítica de una película o capa de un metal sobre el metal base. En general, el metal que ha de constituir el depósito o película se disuelve en un ánodo del material sumergido en un electrolito que contenga iones del metal, los cuales se depositan sobre el objeto que se trata de recubrir --

( que actua como cátodo ). Esta disposición puede modificarse em-  
pleando un ánodo insoluble y entonces el metal que va a depositar-  
se procede de una sal disuelta en el baño galvánico. Cuando se --  
emplean ánodos solubles, la acción electroquímica del cátodo es -  
inversa a la del ánodo.

Este proceso es utilizado para proteger objetos delicados -  
en los que nos se pueden tolerar acabados rugosos o desiguales, -  
así como para artículos que no pueden soportar el tratamiento --  
previo o las temperaturas requeridas por los otros procesos de -  
recubrimiento. En general, este proceso es utilizado en piezas -  
simples.

### 3.8 El cinc como materia prima de los recubrimientos metálicos.

El cinc es la principal materia prima utilizada en los re-  
cubrimientos metálicos, es uno de los metales más activos y los  
cálculos de energía libre han puesto de manifiesto que, en presen-  
cia de humedad y de aire, tiende a corroerse con la liberación de  
71.500 calorías por cada átomo gramo de metal convertido en hi-  
dróxido. Como es fácilmente corroible, el cinc se llega a recu--  
brir con una película de productos de la corrosión, cuya natura--  
leza condiciona en gran parte la velocidad ulterior de este proce-  
so. Cuando una superficie de cinc recién preparada se expone a la

acción del aire con baja o moderada humedad se combina directamente con el oxígeno para formar un óxido pseudomórfico con el metal subyacente. Este óxido muy compacto se convierte, al cabo de algunas horas, en la forma granular ordinaria del óxido de cinc.



En condiciones de humedad elevada y contaminación atmosférica, las reacciones del cinc son cada vez más complejas y, generalmente de carácter electroquímico. Se sabe que una película delicuescente de este tipo acelera el proceso de corrosión al aportar un medio conductor húmedo a la superficie del metal.

Si se toma el valor promedio de resultados de ensayos llevados a cabo en tres tipos de ambientes, rural, urbano y marino, se observa que la lluvia arrastra el 75% de los productos de la corrosión, y el 25% restantes se queda en la superficie adquiriendo un carácter básico y ejerce una influencia retardadora sobre el proceso de corrosión.

El cinc protege al acero porque ocupa un lugar más alto en la serie electroquímica o sea, que los compuestos de los elementos superiores son muy estables, así sus óxidos son difíciles de reducir. Lograndose en esta forma que la estructura principal funcione catódicamente, en tanto que el cinc funciona anódicamente

te. Esto significa que las partículas de cinc proyectadas, recubiertas con películas superficiales de óxido, inciden sobre la superficie y se aplastan para adquirir la forma de discos irregulares mientras que, al mismo tiempo, algo de metal penetra en los poros e irregularidades de la superficie. La importancia de la porosidad de este recubrimiento depende de la relación electroquímica existente entre el metal de recubrimiento ( cinc ) y el metal base ( acero ); ya que el cinc es un metal electronegativo o anódico con respecto al metal base, en el medio, en el que se va a emplear, la existencia de poros en dicho recubrimiento no constituye ninguna desventaja, ya que, en estas circunstancias, el metal de recubrimiento protege al subyacente al sacrificarse en aras de éste. Por esto la resistencia a la corrosión de este metal tan reactivo, se debe a la naturaleza protectora de la película de los compuestos de cinc que se adhieren a su superficie.

Es evidente que mientras el cinc recubra completamente el metal que se desea proteger, la pieza recubierta participará, en grado muy elevado, de las propiedades del cinc. Sin embargo, si se producen defectos pequeños que ponen al descubierto el metal subyacente, la presencia del cinc protege todavía la zona de acero expuesta hasta varios milímetros de la periferia del área sin recubrimiento.

La protección electroquímica del acero base en las discontinuidades de un recubrimiento de cinc depende, en gran parte, de la conductividad del medio electrolítico que se encuentra en la superficie metálica. Aun en el caso de que la conductividad sea elevada y la acción galvánica muy acusada al principio, los productos de la corrosión que resultan del ataque preferentemente de que es objeto el cinc, tienden a tapar dichas discontinuidades para conservar, así la integridad del recubrimiento. En consecuencia, en muchos casos, las excelentes propiedades protectoras de los recubrimientos de cinc a lo largo de muchos años son ante todo, una consecuencia de la resistencia a la corrosión de este metal, resistencia, que a su vez, depende de la película protectora de compuestos de cinc, más que nada.

### 3.9 Comportamiento de los recubrimientos de cinc en el medio ambiente.

Por regla general, la naturaleza de los materiales que contaminan la atmosfera debe tener tanta importancia en la determinación de la velocidad de corrosión como el contenido total de sólidos del aire. Las sustancias gaseosas, especialmente el anhídrido sulfuroso, pueden ejercer una influencia tan grande como los sulfatos sólidos, en la acidificación de la película de productos de corrosión formada sobre el cinc y, por tanto en hacerla soluble y no protectora. No cabe duda que puede existir un cierto paralelismo entre las cantidades respectivas de contaminantes gaseosos

y sólidos de la atmósfera. El contenido de cloruros del aire marino ejerce un efecto suave de aceleración sobre el proceso de corrosión de los recubrimientos de cinc.

Al proporcionar el electrolito necesario para las reacciones de corrosión la humedad es un factor importante en la corrosión de los recubrimientos de cinc que transcurren a la interperie.

La lluvia está contaminada por las sustancias solubles que se encuentran en la atmósfera y refleja, así el carácter preponderante de la localidad en cuestión. Es un hecho bien conocido que en las proximidades del mar, la lluvia es de carácter ligeramente salino. En condiciones comparables de contaminación atmosférica, los rocíos y neblinas frecuentemente son más perjudiciales que la lluvia. Los resultados de los ensayos que pusieron de manifiesto una mayor velocidad de corrosión del cinc durante la noche que en el curso de las horas del día, se atribuyen a la condensación de rocíos y de nieblas. Debido a la persistencia de la humedad condensada, las superficies empañadas son especialmente susceptibles. Además, estas superficies no reciben los beneficiosos efectos de la lluvia, que arrastran los contaminantes acumulados y los productos de la corrosión del cinc. Se recordará que estos últimos son delicuescentes por encima de valores de humedad relativa del 75%, condición, esta que tiende a conservar el medio --

corrosivo sobre la superficie del metal. Las condiciones que favorecen una condensación frecuente de la humedad son más corrientes en las latitudes bajas.

### 3.10 Comportamiento de los recubrimientos de cinc en medios acuosos ( fig. 2 )

En aguas naturales, los recipientes recubiertos de cinc resisten la acción de los jabones, de los álcalis moderados y de los detergentes. El cinc no se corroe en grado apreciable en el agua dulce exenta de oxígeno y de anhídrido carbónico. Que se registra algún tipo de actividad se deduce del hecho de que cuando el polvo de cinc ( que ofrece una gran superficie metálica ) se coloca en agua a temperaturas ordinarias durante varias horas se desprende hidrógeno. Cuando el aire o el oxígeno están presentes en el agua, se acelera la corrosión, debido a la consiguiente despolarización de las zonas catódicas. Pasando algún tiempo, que depende de las circunstancias, el proceso se va inhibiendo como consecuencia de la formación de hidróxido de cinc, que tiene lugar como resultado de la reacción de los iones de este metal con los de hidróxido producidos en las zonas catódicas. En varios grados de hidratación, este producto se precipita en forma gelatinosa, pero, con el tiempo, puede adquirir un carácter cristalino.

Por regla general, la velocidad de corrosión del cinc en agua pura que contiene oxígeno se controla por la velocidad de di-

fusión de éste a través de la película de productos de la corrosión. El hidróxido de cinc tiene una solubilidad muy baja, pero si el agua contiene anhídrido carbónico se forma el carbonato básico de cinc, que es poco más soluble, se convierte en la fase sólida normal. Por consiguiente, la presencia de anhídrido carbónico en el agua, - se traduce en un aumento de la acción corrosiva de ésta sobre el cinc y sobre el acero recubierto con este metal. Los productos de la corrosión, que, en la mayor parte de los casos, puede suponerse que son carbonatos básicos, presentan una protección más pequeña que la del hidróxido de cinc.

El carácter protector de la película formada en los depósitos de agua recubiertos interiormente de cinc, dependen de muchas variables. Con toda probabilidad el grado de hidratación, la estructura cristalina, la dispersión coloidal y la presencia de otras sales, son factores, todos ellos, que influyen sobre la naturaleza de esta película. Por regla general, aunque la presencia de pequeñas concentraciones de algunas sustancias, como nitratos, sulfatos y cloruros, aumentan la acción corrosiva del agua, es un hecho comprobado que la mayor parte de las aguas naturales ejercen un efecto menos corrosivo sobre el cinc que la destilada. Entre los constituyentes protectores que se encuentran en las aguas naturales figuran aniones, tales como carbonatos y silicatos, que forman sales de cinc de solubilidad relativamente bajas y que precipitan en íntimo contacto con la superficie metálica.

No se debe dar por hecho que la naturaleza de la película - de productos de la corrosión que se forma sobre el cinc es el único factor que afecta su corrosibilidad en la gama de concentraciones de iones hidrógeno que se ha discutido. Por ejemplo, variará la concentración de oxígeno. La depresión que se acusa en la velocidad de corrosión real en el intervalo de alcalinidades elevadas, - es el resultado de la decreciente solubilidad de oxígeno.

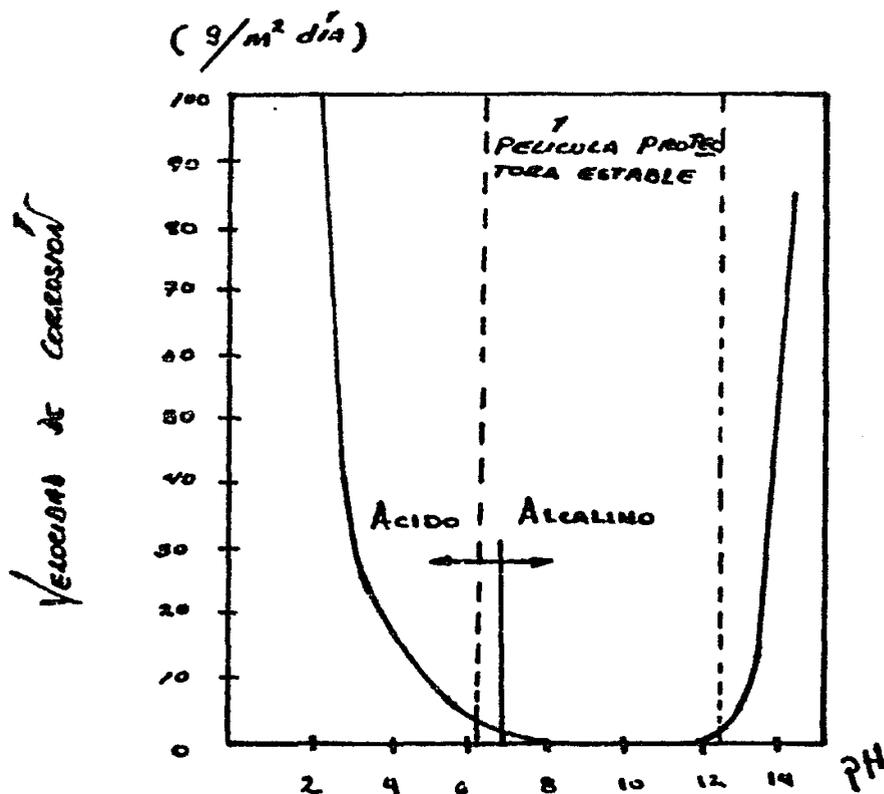


Fig. 2 efecto del pH sobre la velocidad de corrosión del cinc en las soluciones acuosas.

## PREPARACION DE LA PIEZA A RECUBRIR

CAPITULO IV

## 4.1 Principios generales.

La preparación de la pieza que se trata de recubrir es tan importante como la operación de recubrimiento, para obtener recubrimientos de buena calidad, adherentes e impermeables. Como condición previa indispensable, se requiere que la pieza que va a recubrirse esté absolutamente limpia. Las materias extrañas que pueden adherirse a las superficies metálicas, son de dos clases:

- 1) Oxidos o productos afines de origen corrosivo ( tales como escamas de escoria o de incrustación, orfín ).
- 2) Sustancias orgánicas ( como la grasa, el aceite y varias formas de suciedad ) .

En general, al eliminar la grasa y los productos de corrosión, quedaran también eliminadas las otras sustancias extrañas.

No puede darse regla general alguna en cuanto a los métodos aplicables para la preparación de la pieza antes del baño galvánico, ya que se debe atender a una gran cantidad de factores; -- entre ellos: la calidad del material de que está hecho el objeto y su

condición, forma tamaño, composición y aspecto de la superficie. En general, el recubrimiento seguirá fielmente los contornos del objeto a recubrir. Un recubrimiento de superficie lisa sólo se obtendrá sobre una pieza de superficie pulimentada.

#### 4.2 Operaciones en la preparación de la pieza a recubrir:

- 1) Desbastado o esmerilado.
- 2) Pulido
- 3) Decapado
- 4) Desengrasado

##### 4.2.1 Desbastado.

Es la primera operación a que se somete la superficie de una pieza. En algunos casos, el desbastado no es necesario, pues la superficie del objeto a tratar posee ya las adecuadas características de tersura; pero cuando el objeto es de reciente fabricación y sobre todo de reciente fundición, posee rebabas, escamas, y a veces, incluso costras, que es preciso eliminar, a fin de que su superficie quede convenientemente preparada para el pulido posterior.

Según el estado de la superficie de la pieza se utilizan para llevar a cabo la operación del desbastado, desde muelas ( discos sólidos ) de distinto grano hasta discos de fieltro impregnados de-

esmeril, corindón, carborundo, granate, tierra de trípoli e incluso piedra pómez, además de distintos productos elaborados con -- polvo de aleaciones de acero o compuestos de boro y vanadio.

El tamaño del grano empleado para la operación del desbastado oscila, según especificaciones de la American Society for Testing Materials ( A. S. T. M. ) entre 10-30, pudiendo ser, en algunos casos, superior o inferior a dichos límites (desde 8 a 10 y desde 30 a 100 ).

Las muelas y discos empleados en el desbastado son sometidos para realizar esta operación, a un movimiento giratorio - - ( oscilando entre 800-4500 revoluciones / minuto ) en un eje, accionado directamente por un motor o por una correa de transmisión-- conectada a un árbol común, del cual parten distintas correas, -- utilizables para diferentes fines.

En el pulido manual, sistema generalmente utilizado en -- los talleres galvanotécnicos, la pieza a desbastar se pone en contacto con la muela o disco en movimiento, produciendo esta fric-- ción una serie de rayas que nivelan poco a poco su superficie. De esta manera se consigue una superficie uniforme, apta para ser -- sometida a un pulido posterior mucho más fino.

Este desbastado puede efectuarse también sustituyendo la - muela o disco por una banda flexible sin fin, impregnada del material abrasivo adecuado.

Cuando el material a desbastar posee gran cantidad de cos tras de óxido u otro tipo de impurezas, suele emplearse, para -- grandes producciones, el procedimiento del arenado a presión. El efecto abrasivo se debe, en este método, al choque y rozamiento - de las partículas arenosas contra la superficie del metal a tratar.

En la figura 3 se reproduce una máquina pulidora automática especialmente utilizada para el desbastado.

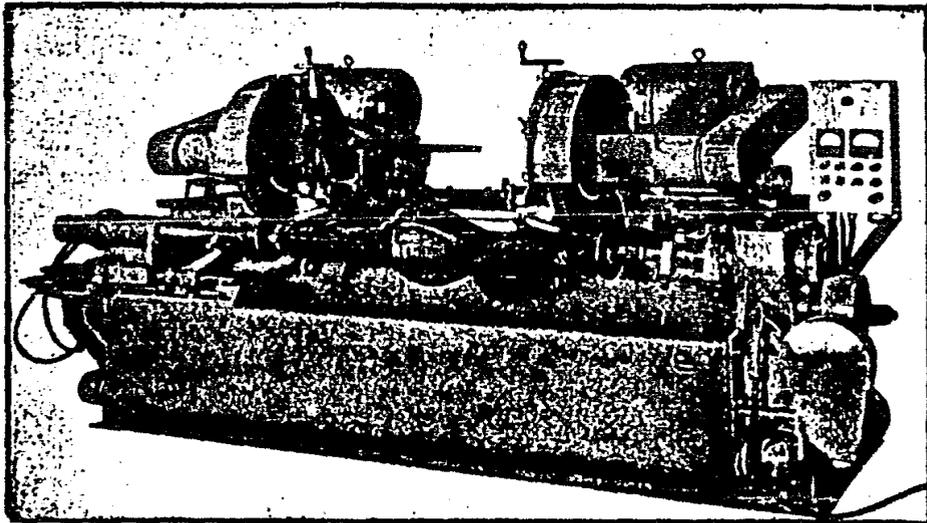


Fig. 3 Máquina pulidora automática para el desbastado, trabajando con muelas de esmeril.

#### 4.2.2 Pulido.

La operación que sigue al desbastado es el pulido propiamente dicho. Aunque esta denominación se aplica a todas las operaciones que tienen por objeto alisar la superficie de un metal, ya sea mecánicamente ( mediante máquinas pulidoras o en tambores rotatorios ) o electrofíticamente ( por paso de la corriente eléctrica ) , pueden diferenciarse tres tipos de pulido:

- 1) Pulido esmerilado
- 2) Pulido suave
- 3) Pulido abrillantado.

En esencia, no existe gran diferencia entre estos tipos de pulido, distinguiéndose únicamente en la clase de discos y en la finura de grano del material abrasivo empleados.

En el pulido esmerilado se emplean unos tamaños de grano que oscilan entre 80-120 y discos de tela de material duro ( fixolan fieltro, lana etc ). En el pulido suave se emplean materiales de grano más fino, oscilando entre 120-200. En el pulido abrillantado el grano del material empleado posee una extraordinaria finura, de 200-220 en adelante, siendo la clase de tela empleada de tipo-blando ( telas suaves y no cosidas, badana o piel ). En las figuras 4 y 5 se presentan los diferentes tipos de discos de pulir así como las diferentes clases de cosido de discos de tela .

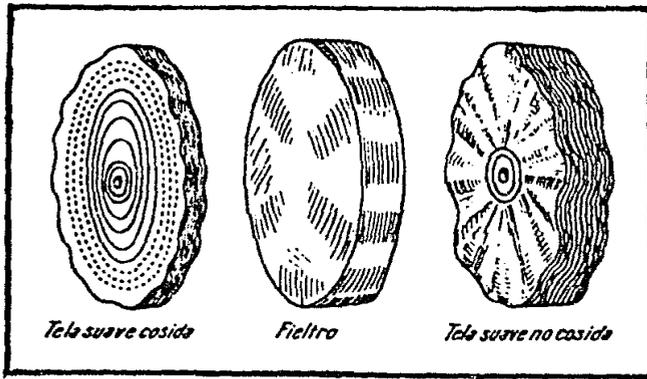


Fig. 4 Diversos tipos de discos de pulir.

Las pastas de pulir empleadas para los dos primeros tipos de pulido suelen contener tierra de trípoli, esmeril, óxidos de aluminio, etc. Las pastas de pulir empleadas para el pulido abrillantado, generalmente más costosas, contienen como elementos abrasivos: cal de Viena ( dolomita tostada ), óxido de hierro, óxido de aluminio o bien óxido de cromo.

Cuando las piezas a pulir poseen perfiles irregulares, con partes entrantes y salientes a los que no pueden llegar el tipo de muelas y discos descritos, se utilizan gratas o cepillos circulares constituidos por finos hilos de metal, de fibras de animal o bien de fibras artificiales ( fig. 6 ).

Estos cepillos han sido especialmente útiles para hacer -- desaparecer pequeñas manchas e imperfecciones aparecidas so-- bre la pieza después del pulido con discos o muelas.

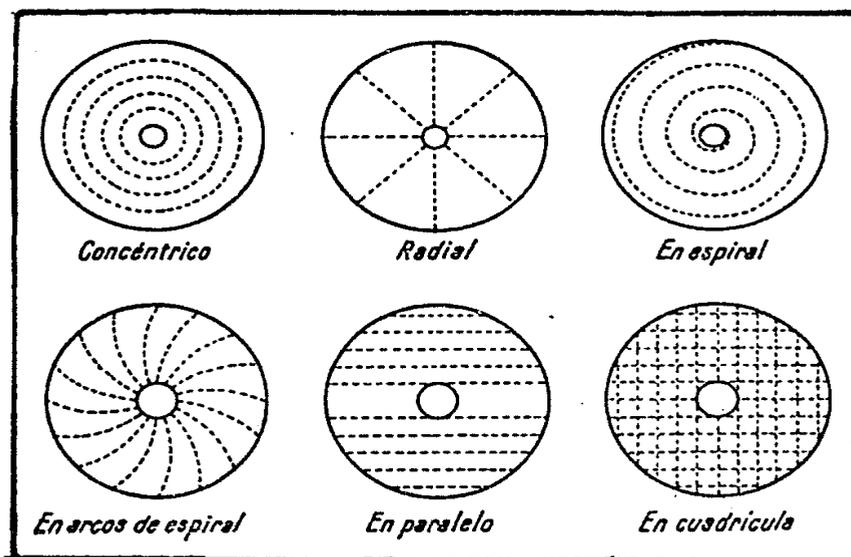


Fig. 5 Diferentes clases de cosido de discos de tela.

Para el tipo de pulido mecánico descrito, con muelas o discos, se utilizan máquinas pulidoras de características muy semejantes a las empleadas en el desbastado ( figs. 7, 8, 9, 10, 11). - Consisten esencialmente en un eje rotatorio movido por un motor, directamente al árbol de la máquina. Sobre dicho eje, cuyos extremos presentan forma de cono puntiagudo, se montan los discos o muelas con ayuda de bridas roscadas.

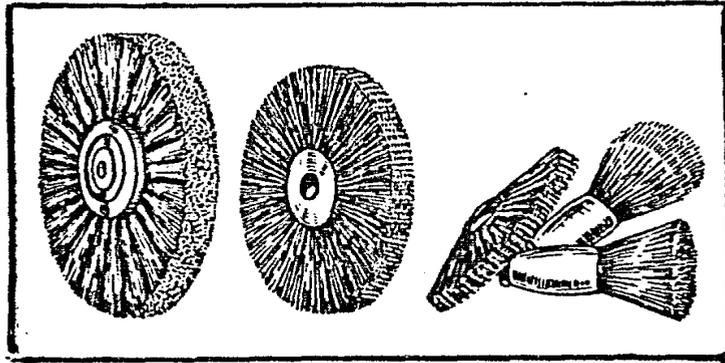


Fig. 6 Distintos tipos de cepillos o gratas para interiores y exteriores.

A fin de poder variar convenientemente la velocidad de giro del eje de la máquina, las pulidoras van equipadas muchas veces con un dispositivo adecuado de regulación. En casos especiales en que se utiliza el esmerilado húmedo, las pulidoras llevan además tuberías para la circulación del agua y una bomba para la elevación de este líquido.

Las máquinas pulidoras más comúnmente empleadas poseen velocidades de giro comprendidas entre 1200-3000 revoluciones /minuto, aunque existen pulidoras con velocidades de giro mayores.

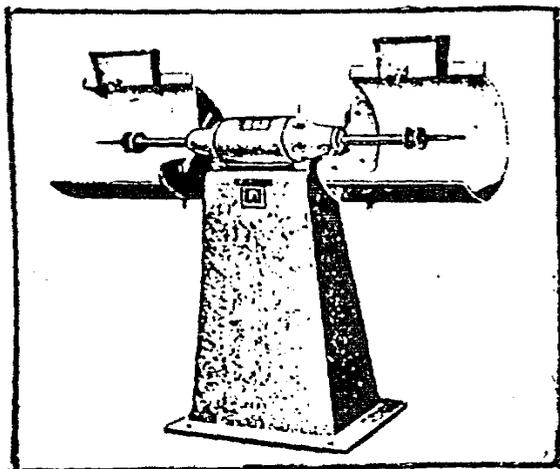


Fig. 7 Máquina pulidora K D M-20 para gratado, llevando dispositivo de aspersión de polvo.

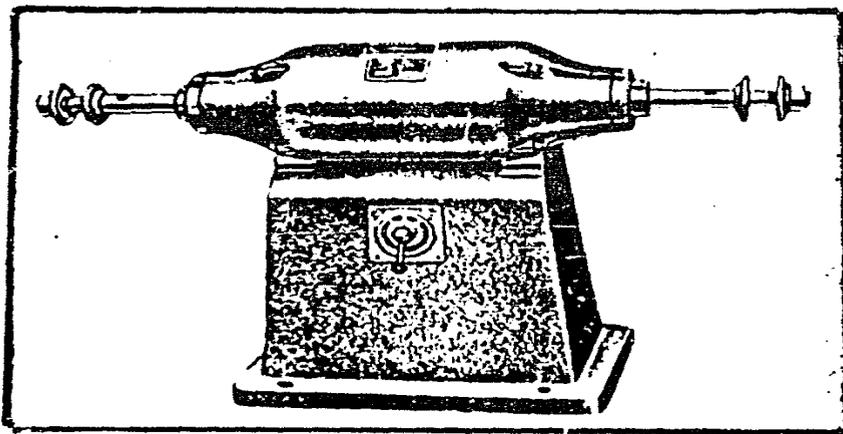


Fig. 8 Máquina para pulir y abrillantar del tipo S D M.

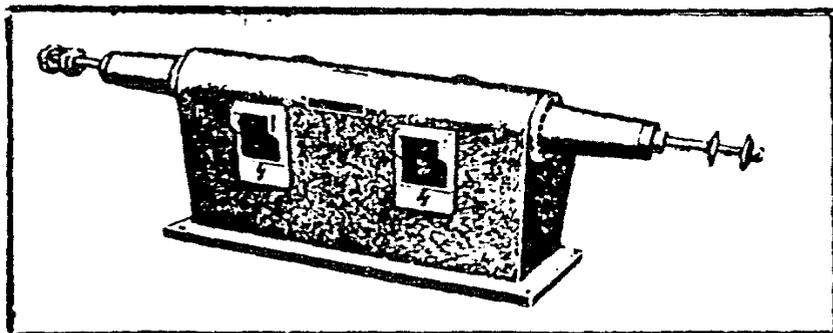


Fig. 9. Máquina pulidora del tipo S M 506.

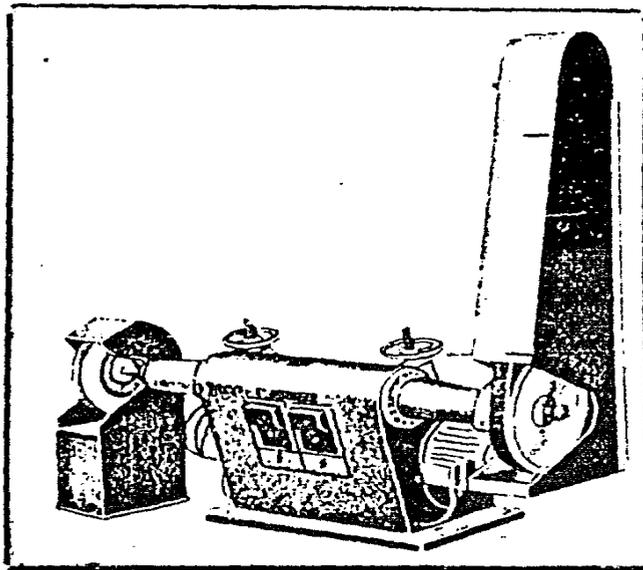


Fig. 10. Máquina pulidora de banda R B 3.

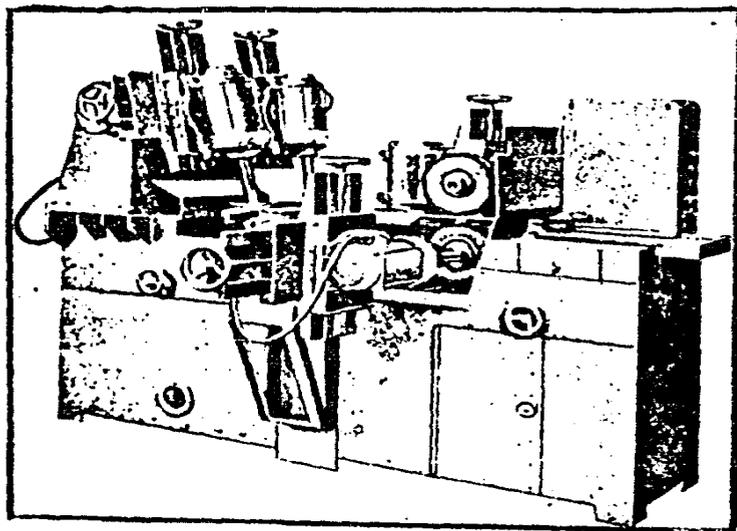


Fig. 11. Máquina pulidora semiautomática HAUSL 4. Potencia: 4-5HP. Rev. / min. 2880.

Pulido en tambor rotatorio.

Cuando las piezas a tratar son relativamente pequeñas y - en gran cantidad, con paredes gruesas y resistentes y con salientes que no deban estropearse, se utiliza el procedimiento del pulido en tambor rotatorio, que a su técnica sencilla une el precisar - muy poca mano de obra.

Los recipientes utilizados, tambores, pueden ser de dos tipos: Horizontal y Vertical, siendo el primero el más comúnmente usado.

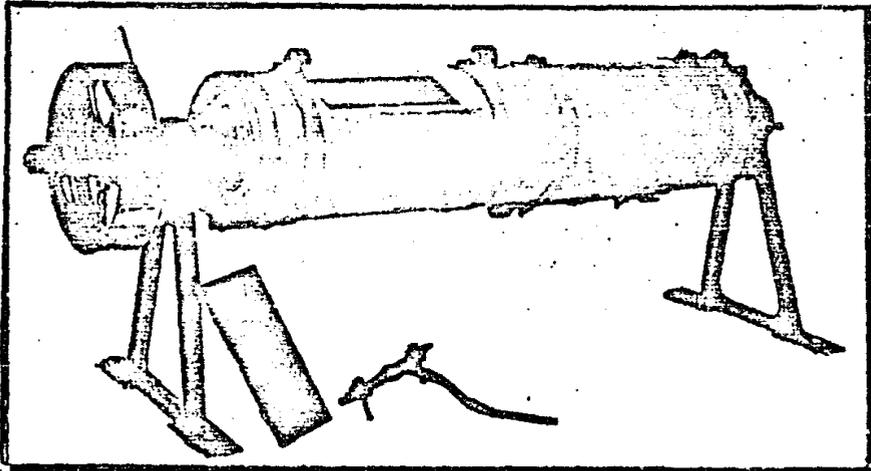


Fig. 12. Aparato para el pulido en tambor rotatorio.

Estos tambores estan contruidos en la mayor parte de los casos con materiales de hierro de fundición o acero, forrados interiormente de caucho o madera, con una velocidad de rotación -- entre 30-60 revoluciones/ minuto.

En la figura 12 se reproduce un aparato de este tipo, de --  
madera. Con objeto de facilitar el roce de las piezas y proporcio-  
nar por tanto un mejor pulido, se acostumbra a añadir al tambor -  
materiales abrasivos muy diversos: Arena, serrín, virutas de ace-  
ro o fundición, esmeril e incluso óxido de hierro y cal de Viena. -  
La técnica de pulido en tambor descrita constituye el llamado puli-  
do en seco.

Otra técnica también utilizada es el pulido en tambor en --  
húmedo. El efecto abrasivo se consigue aquí, además de por el ro-  
ce de las piezas, entre sí, por la adición al tambor de una solu-  
ción conteniendo diversos compuestos químicos además de sílice -  
en suspensión, los cuales facilitan el contacto y al mismo tiempo  
la limpieza de las piezas. Entre los compuestos químicos emplea-  
dos pueden incluirse: hidróxido sódico, cianuro sódico, carbonato  
sódico, silicato sódico, fosfato trisódico e incluso jabón y deter-  
gentes alcalinos.

Cuando se desea un pulido más intenso se utilizan además--  
como elementos de bruñido, bolas de acero, porcelana o ágata.

El pulido en tambor es, en general, menos intenso que el -  
pulido mecánico, obteniendo en él un brillo menos acusado, por cu-  
ya razón sólo se emplea en la preparación de las piezas antes de -  
su tratamiento en los baños, recurriendo, cuando se desea un pulido  
abrillantado como acabado final, al pulido mecánico con discos de  
tela.

## Pulido electrolítico.

Este procedimiento introducido para una gran variedad de metales base por Halut, Faust y Jacquet, consiste en tratar la pieza a pulir, convertida en ánodo, en un baño electrolítico adecuado. Mediante el paso de la corriente eléctrica las partes salientes de la pieza hecha ánodo son atacadas por el electrólito, disolviéndose mientras las partes cóncavas de la misma, por efecto de la película pasivadora que se forma sobre su superficie, permanecen inatacadas. Al cabo de cierto tiempo se habrá producido la total igualación de la superficie de la pieza, siendo el aspecto de la misma sumamente atractivo y con características brillantes.

El electropulido no exige un equipo complicado, realizándose en cubas iguales o parecidas a las utilizadas en el tratamiento de galvanizado, no precisando tampoco este tratamiento mucha mano de obra, como ocurre con el pulido mecánico, por cuyo motivo es mucho más barato que éste, si bien el brillo es, en la mayor parte de los casos, menos pronunciado.

Se ha aplicado especialmente el pulido electrolítico en aquellos casos en que, por ser las piezas a tratar relativamente grandes y con rincones profundos, es difícil la aplicación del pulido mecánico habitual, aunque cada día va extendiéndose más el uso de esta nueva técnica a otros tipos de piezas menos complicadas.

Las soluciones empleadas como electrólito para la mayor-

parte de los metales, contienen mezclas de ácidos inorgánicos: ácidos sulfúricos, fosfóricos, fluorhídricos, crómicos, etc., Y ácidos orgánicos: ácidos cítricos, propiónicos, etc., que actúan como moderadores del ataque u homogeneizadores del mismo.

Para el pulido electrolítico se acostumbra a utilizar cátodos de acero, chapa de hierro o cobre, empleando para este tratamiento, en la mayoría de los casos, altas densidades de corriente. En la práctica se opera con densidades de corriente de 10 a 55 A/dm<sup>2</sup> ( en el caso de hilos metálicos, 600 a 650 A/dm<sup>2</sup> ), con tensiones de 3 a 15 Volts y temperaturas de 16 a 65 °C. La duración del proceso dependerá de la densidad de la corriente y de la temperatura.

#### 4.2.3 Desengrasado.

Cuando las piezas llegan a un taller galvanotécnico están recubiertas generalmente, de una película más o menos gruesa de --grasa procedente de la mecanización de las mismas o del simple --contacto manual. Por otra parte, durante la operación del desbastado o pulido, anteriormente descritos, estas piezas quedan impregnadas, además, de residuos de pastas de pulir y esmerilar, a cuya eliminación es preciso proceder antes de su tratamiento en el baño galvánico.

Para eliminar esta capa de grasa de distintas procedencias ( grasa animal, grasa vegetal, aceites minerales, etc. ) adherida

a la superficie del metal a recubrir y cuya presencia impediría la activación de dicha superficie dificultando o impidiendo con su presencia la deposición sobre ella del metal deseado, se realiza la -- operación del desengrasado de la misma.

Pueden distinguirse cinco procedimientos de desengrasado, algunos de ellos muy semejantes entre sí:

- 1) Desengrase con disolventes orgánicos
- 2) Desengrase por emulsión
- 3) Desengrase por inmersión en soluciones alcalinas.
- 4) Desengrase electrolítico con soluciones alcalinas
- 5) Desengrase con ultrasonido.

La elección del método a utilizar dependerá, además del -- factor económico, del tipo de grasa a eliminar y de la clase de me -- tal base a recubrir.

En general, se acostumbra a proceder a un primer desen -- graso con disolventes orgánicos, seguido de un desengrase quími -- co por inmersión o por un desengrase electrolítico.

#### 4.2.3.1 Desengrase con disolventes orgánicos

Este tipo de desengrase es muy recomendable para una -- primera eliminación de las materias grasas y aceites que impreg -- nan los objetos a tratar después de su mecanización. Con este fin

se han empleado diversos disolventes: benceno, petróleo, tolueno, etc., pero debido a su carácter inflamable han sido sustituidas estas sustancias por otros compuestos orgánicos menos peligrosos y de igual o mayor eficiencia. Entre estos compuestos destacan -- los hidrocarburos clorados, como el tricloroetileno, el percloroetileno y el tetracloruro de carbono, los cuales además de no ser -- inflamables, no alteran el color del metal base y son fácilmente -- recuperables por destilación.

El desengrase con estos disolventes clorados presenta, -- sin embargo, la desventaja de su inestabilidad en algunos casos, -- el relativamente alto costo del equipo necesario, y el no disolver -- completamente las grasas de tipo sólido fuertemente incrustadas y los residuos sólidos procedentes de las pastas de pulir, además de poseer carácter tóxico, peligroso cuando se producen escapes y no se trabaja con las debidas precauciones.

Para la completa eliminación de las partículas de tipo graso y de tipo inorgánico adheridas a las piezas es preciso proceder a un tratamiento posterior de las mismas en un baño de desengrase electrolítico, en un baño de inmersión o bien empleando ultrasonido.

El desengrase mediante los disolventes orgánicos citados -- pueden realizarse empleado la fase vapor de los mismos o bien -- utilizando la fase vapor y líquida combinadas.

Cuando se utiliza la fase vapor, los objetos a desengrasar son introducidos por la parte superior de la cámara, donde los vapores del disolvente, al condensarse sobre la superficie de los mismos arrastran la grasa y aceite que los cubren, cayendo al fondo. - Allí, mediante calefacción, el disolvente es nuevamente convertido en vapor, repitiéndose el ciclo hasta el total desengrase.

Cuando se utiliza la fase líquida combinada con la fase vapor, los objetos se sumergen en un primer compartimento conteniendo el disolvente líquido caliente, pasando inmediatamente después a un segundo compartimento de la cámara, donde son sometidos a los vapores del mismo disolvente en fase vapor. Ambos -- compartimientos están comunicados por serpentines, a través de los cuales el disolvente en fase líquida o vapor es llevado de uno a otro para su recolección o destilación, actuando siempre sobre los objetos disolventes puros.

Un tercer tipo de desengrase con disolventes orgánicos consiste en proyectar el disolvente caliente en fase líquida sobre la superficie de las piezas a tratar, disolviéndose las materias grasas y aceites por la acción mecánica del choque combinada con la acción propia del disolvente.

En la figura 13 está representado un equipo completo de -- desengrase con disolventes orgánicos, empleado la fase vapor.

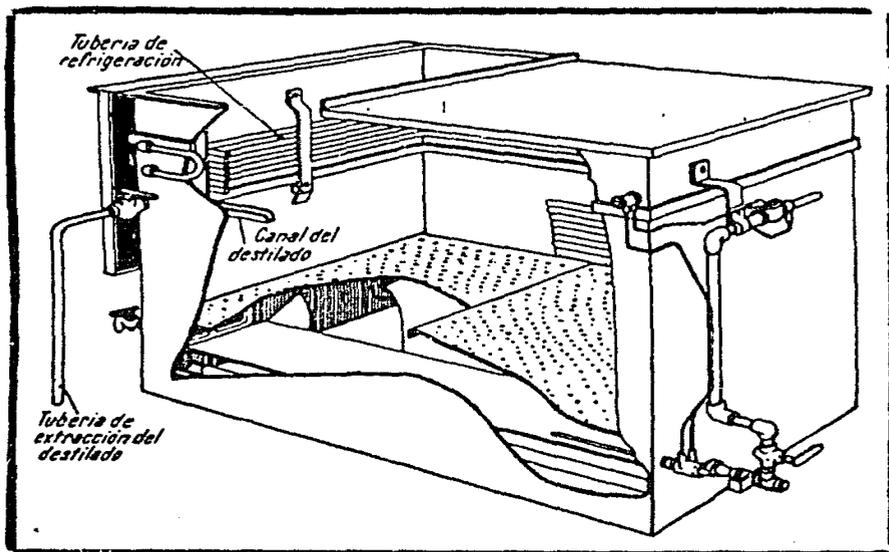


Fig. 13 Equipo para el desengrase con tricloroetileno empleando la fase vapor.

#### 4.2.3.2 Desengrase por emulsión.

Consiste este tipo de tratamiento en la inmersión de las -- piezas a desengrasar en una solución conteniendo uno o varios pro ductos emulsionantes, además de otros compuestos disolventes de grasas. Reúne este procedimiento las ventajas de un desengrase - con disolventes orgánicos con las propias del desengrase por in-- mersión en soluciones alcalinas.

Se trabaja generalmente, a temperatura ambiente, aunque en algunos casos se aconseja elevar un poco más la temperatura, llegando incluso hasta 50°C.

Los productos empleados para este desengrase abarcan una extensa gama, incluyendo desde disolventes de las grasas y aceites,

como petróleo, benceno, tricloroetileno, tetracloruro de carbono y xilol, hasta jabones y agentes humectantes como aceites sulfonados, que contribuyen a que la emulsión de los disolventes con -- el agua se forme rápidamente.

Mediante la adecuada combinación de algunos de los productos mencionados anteriormente se logran obtener soluciones que, -- a la acción disolvente de las grasas, añan la acción emulsionante y arrastable de otros compuestos insolubles adheridos a la superficie de las piezas y de difícil disolución mediante tratamiento con disolventes orgánicos. Este tratamiento, aunque algo caro por los productos que utiliza, es muy eficaz y relativamente sencillo, no requiere de equipo complicado ( con una o varias cubas normales es suficiente ), si bien exige que los objetos tratados sean posteriormente limpiados en un baño alcalino de inmersión, para eliminar la fina película de detergente formada sobre su superficie.

#### 4.2. 3.3 Desengrase por inmersión en soluciones alcalinas.

Los objetos a desengrasar, después de un primer tratamiento por cualquiera de los dos métodos citados, se sumergen en una solución de tipo alcalino, donde la grasa es en parte saponificada, convirtiéndose en un compuesto soluble fácilmente arrastrable, y en parte emulsionada por agentes tensioactivos.

La sustancia grasa y la suciedad es de este modo, arrancada de la pieza y eliminada por simple contacto con el agua. Las -- partículas sólidas procedentes de las pastas de pulir o esmerilar, -- junto con el polvo y restos metálicos, son también arrastrados por adsorción mediante agentes coloidales, presentes en la solución -- alcalina.

El pH de estas soluciones alcalinas dependen del metal base a limpiar. Cuando se trata de metales de carácter anfóterico, fácilmente atacables por soluciones alcalinas, el pH no debe ser superior a 10 ó 10.5, En otros casos, el pH puede llegar a alcanzar valores superiores a 12 y 13.

Los compuestos empleados para la preparación de estas soluciones alcalinas son de tipo muy diverso, incluyendo desde álcalis fuertes: hidróxidos sódicos o potásicos, hasta sustancias de -- reacción alcalina más débil: carbonato sódico, fosfato sódico, silicato sódico y agentes tensioactivos ( alcoholes sulfonados, ácidos grasos sulfonados, etc. ) además de cianuros, utilizados para evitar que las piezas se manchen o se forme barro sobre su superficie.

Las soluciones alcalinas trabajan generalmente en caliente con temperaturas comprendidas entre 60-90°C, debiendo emplearse, para este tratamiento, recipientes provistos del correspondiente dispositivo de calefacción ( Fig. 14 ). En algunos casos es -

recomendable además, la adecuada agitación de la solución, si --  
bien la mayoría de las veces no es estrictamente necesaria.

Los recipientes estáticos o cubas utilizadas pueden ser sus-  
tituidos cuando hay que tratar grandes cantidades de piezas peque-  
ñas por tambores o bombos rotatorios, realizándose el mismo - -  
tiempo que el desengrasado de las piezas, el pulido de las mismas.

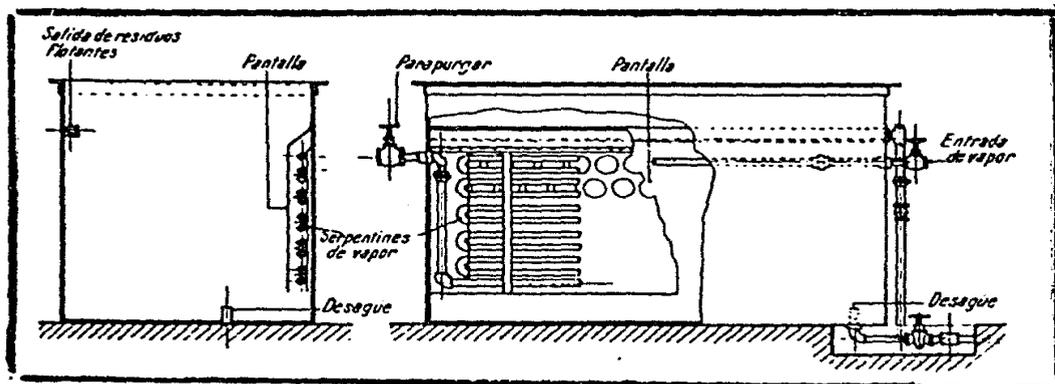


Fig. 14. Esquema de una cuba calentada por vapor para el desengrase por inmersión empleando soluciones alcalinas.

#### 4.2. 3. 4 Desengrase electrolítico.

Mediante este procedimiento de limpieza, los objetos a tratar, suspendidos de barras catódicas, son tratados en una solución-electrólito, a través de la cual se produce el paso de corriente eléctrica. La función de ánodo la ejerce el propio recipiente de hierro que contiene la solución o bien placas de hierro o cobre sumergidas en la misma.

En algunos casos y para ciertos metales ( metales férreos y cobre principalmente ), se utiliza el tratamiento anódico, más eficaz que el catódico, ya que además reúne la ventaja de evitar el " picado " de la pieza por desprendimiento de hidrógeno y deposición sobre la misma de las impurezas presentes en la solución. Este tratamiento, sin embargo, no es utilizable para metales no férreos, ya que son fuertemente atacados, debiendo emplear en estos casos única y exclusivamente el tratamiento catódico.

La acción de desengrase en el tratamiento catódico se debe al arrastre mecánico por parte del hidrógeno desprendido en el cátodo y a la acción química de la solución-electrólito utilizada.

Las soluciones-electrólito empleadas en este procedimiento son de tipo alcalino, conteniendo los mismos productos utilizados el tratamiento por inmersión. Recientemente se ha empleado para la limpieza de los objetos un procedimiento que utiliza la in-

versión periódica de la corriente ( procedimiento PR ). Las piezas a desengrasar actúan durante cortos espacios de tiempo como cátodo y como ánodo, aunando las dos acciones anteriormente indicadas.

La operación del desengrase electrolítico se realiza en caliente, con temperaturas comprendidas entre 70-90°C. Las densidades de corriente empleadas, función del tipo de electrolito utilizado, oscilan entre 6-20 A/dm<sup>2</sup>, aunque para algunos casos y para ciertos baños se alcanzan valores mucho más elevadas.

El desengrasado por medio de la corriente eléctrica es muy sencillo y eficaz, por cuya razón se ha extendido considerablemente en la industria galvanotécnica.

#### 4.2.3.5 Desengrase con ultrasonido.

El desengrase mediante ultrasonidos, de reciente aplicación en la industria galvanotécnica, ha resultado ser especialmente eficaz en piezas pequeñas, con hendiduras y con rincones difíciles de tratar con los métodos anteriormente mencionados. Se ha usado -- también este procedimiento para piezas de mayor tamaño, sobre todo cuando llevan fuertemente adheridos residuos de barnices o materias de tipo graso envejecidas por un prolongado almacenamiento.

El equipo utilizado para el desengrase con ultrasonidos -- consiste, en esencia, en un generador de ultrasonidos y uno o va-

rios recipientes donde se ha de realizar el tratamiento, llevando el correspondiente dispositivo de filtración ( y en algunos casos de destilación del disolvente ), mecanismos de transporte y " cabezas ultrasónicas " .

En casos especiales estos recipientes son sustituidos por cámaras de vacío, obteniéndose de esta manera un mejor desengrase.

La generación de ultrasonidos puede conseguirse mediante barras o planchas de níquel, sometidas a la acción de un campo -- magnético alternativo de alta frecuencia o mediante vibradores - - piezoeléctricos, generalmente de cuarzo o titanato de bario, accionados por corriente alterna de alta frecuencia suministrada por un apropiado generador.

Las vibraciones de alta frecuencia producidas por el generador, son transportadas a través del medio que las rodea hasta la superficie de las piezas a tratar, actuando sobre ellas y des- - prendiendo de las mismas las partículas de grasa y suciedad, aun en aquellas partes o rincones no expuestas al contacto directo, ya que la energía vibratoria se transmite a través de toda la pieza.

Las partículas de suciedad así arrancadas son disueltas -- por la solución desengrasante, obteniendo de esta manera una superficie completamente libre de partículas extrañas .

En la figura 15 se reproduce una instalación para el desengrase ultrasónico, llevando los correspondientes generadores de ultrasonidos, varias cámaras para el tratamiento y los elementos de filtración.

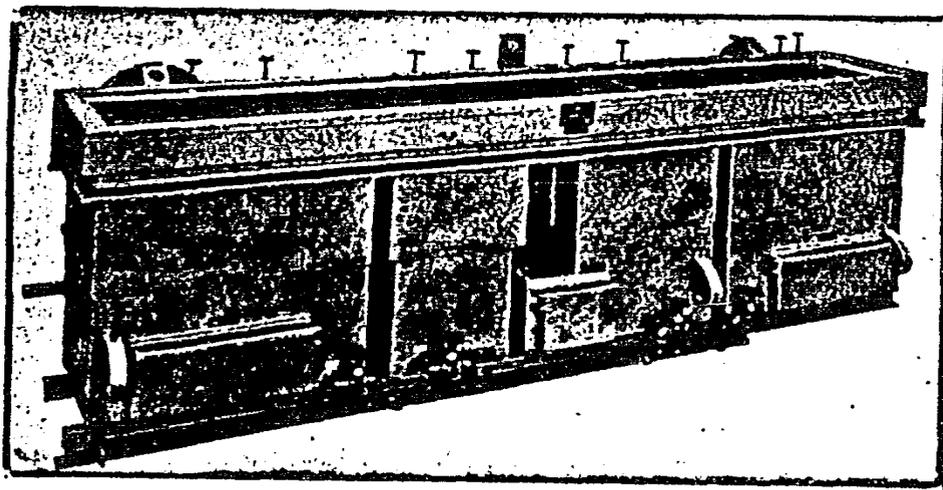


Fig. 15. Equipo para el desengrase con ultrasonidos.

#### 4.2.4 Decapado.

La mayor parte de los metales, especialmente aquellos de base férrea, debido a la acción de los gases que rodean su medioambiente ( oxígeno, anhídrido carbónico, vapor de agua, cloro - - etc. ), se recubren de una capa más o menos grande de óxido u otro compuesto químico insoluble ( carbonato, cloruro, sulfuro, - etc. ), difícil de eliminar mediante las operaciones citadas.

Algunas veces estas capas insolubles que rodean al metal se han originado en el proceso de fundición o forjado del mismo, estando furtermente adheridas a él. La operación mediante la cual se logra eliminar estas capas que recubren a un metal recibe el nombre de decapado.

Para realizar esta operación se han utilizado diversos tipos de ácidos, según la clase de metal de que se trate o la clase de impureza a eliminar.

De todos ellos el más empleado para fines generales, han sido los ácidos clorhídrico y sulfúrico, en diversas concentraciones y llevando muchas veces, además, diversos aditivos que aumentan o frenan su ataque, según los casos.

Los ácidos empleados en esta operación, al mismo tiempo que disuelven y arrancan las costras adheridas al metal, ocasionan una parcial disolución del mismo, quedando la superficie del metal, en el caso de una desigual distribución de estas impurezas irregularmente atacada, mostrando las características o quedades del decapado ácido, tanto más acusadas cuanto mayor haya sido el desprendimiento de hidrógeno, el cual, por otra parte, al ser absorbido por el metal, reduce su resistencia a la rotura.

Para evitar o disminuir este desprendimiento de hidrógeno, perjudicial además para la salud de los operarios, se acostumbra a añadir a las soluciones de decapado, diversos compuestos orgá

nicos de elevado peso molecular conteniendo nitrógeno y azufre, - los cuales al ser absorbidos por el metal, actúan como inhibidores frenando su ataque.

Esta fina película de inhibidor que recubre la superficie -- del metal, debe ser luego eliminada por un tratamiento de inmersión en ácidos o álcalis, ya que puede ocasionar interferencias en los subsiguientes procesos electrolíticos.

La concentración de la solución de ácido sulfúrico empleada como decapante varía entre los límites de 4 hasta 18% en peso, pudiendo acelerar su acción mediante aumento de la temperatura.

La concentración de las soluciones clorhídricas utilizadas para el decapado con este ácido oscila entre un 6 a un 20% en peso de HCl, pudiendo trabajar con las mismas a temperaturas ambientes o bien a 45°C, reduciendo, sin embargo, en este segundo caso la concentración en ácido de la solución.

El decapado con ácido clorhídrico es más caro que el decapado con ácido sulfúrico. Sin embargo, es más rápido, permite - trabajar en muchos casos a temperatura ambiente y confiere a los objetos con él tratados un aspecto mucho más liso y brillante.

El principal inconveniente del tratamiento con ácido clorhídrico, además del gran consumo de ácido con el consiguiente perjuicio económico, es la dificultad de su almacenamiento y el con-

siderable desprendimiento de vapores tóxicos que se producen durante la operación.

Cuando los metales a decapar poseen características anfótericas ( cinc, aluminio y sus aleaciones ) es preciso utilizar soluciones ácidas muy diluidas o bien soluciones alcalinas conteniendo hidróxido sódico.

La operación del decapado se realiza generalmente por inmersión de las piezas a tratar en la solución decapante apropiada, pudiendo ser también realizada mediante el concurso de la corriente eléctrica, actuando los objetos a decapar como cátodo en una solución electrolítica ácida o alcalina de composición muy semejante a las utilizadas en el tratamiento por inmersión.

Los recipientes utilizados en el proceso del decapado pueden ser muy diversos, según se empleen soluciones ácidas o alcalinas y según se utilice la simple inmersión o el tratamiento con la corriente eléctrica.

## PROCESO DE RECUBRIMIENTO UTILIZANDO CINC

CAPITULO V

## 5.1 Clasificación.

Dada la eficiencia del cinc como auxiliar en la protección - del acero contra la corrosión, se han desarrollado varios proce-- sos de recubrimiento utilizando cinc, sobre innumerables produc- tos de acero.

- 1) Metalización o cincado por proyección
- 2) Sherardización
- 3) Cincado electrolítico.
- 4) Pinturas ricas en cinc
- 5) Galvanización por inmersión en caliente

Cada uno de estos procesos tiene su razón de ser. La elec- ción de cualquiera de ellos depende de muchos factores técnicos y - económicos, que abarcan desde los materiales que se desean recu- brir, hasta las características específicas de las atmósferas a que dichos materiales estarán expuestos.

Desde el punto de vista económico, el proceso que reúne el mayor número de ventajas, es el de galvanización por inmersión - en caliente, que es el más utilizado en el mundo. Por esta razón - el siguiente capítulo se limita exclusivamente a este proceso.

## 5.2 Metalización

Es el rociado de partículas de cinc fundido sobre una superficie previamente preparada, es un proceso que se conoce desde el año de 1909, pero su utilización para la protección de grandes estructuras se ha expandido en los últimos años.

En este proceso no existe un ligamento de carácter químico entre el acero y el cinc, por lo tanto la unión mecánica debe ser lo suficientemente fuerte como para mantener buena adhesión y contacto eléctrico. La preparación de la superficie se lleva a cabo mediante la operación de chorreo con granalla, ésta deberá remover todo rastro de escamas y productos de la corrosión y además deberá volver áspera y rugosa la superficie para lograr una buena adhesión mecánica de parte del cinc.

La operación de rociado deberá llevarse a cabo tan pronto como sea posible después de haber preparado la superficie y no deberá existir ninguna diferencia visible entre el artículo antes y después de rociarlo con cinc.

Los recubrimientos rociados normalmente se aplican por uno de dos procesos. En uno de ellos, se suspende polvo de cinc ( de un determinado tamaño de partículas ) en un gas de preferencia no oxidante. Esta suspensión se impulsa a través de un tubo eyector con una flama a la salida, que funde el polvo antes de que toque la superficie del acero.

En el otro se alimenta alambre de cinc axialmente a la flama del tubo eyector donde se funde, y mediante un chorro de aire comprimido se atomiza y rocía. Los recubrimientos producidos por cualquiera de estos dos procesos son ligeramente ásperos y porosos, e igualmente eficientes para casi todas las aplicaciones. La espereza del recubrimiento propicia una buena unión mecánica entre el mismo y algún recubrimiento adicional, mientras que la porosidad se elimina pronto debido a la reacción del cinc con el aire y la humedad.

Uno de los propósitos principales del cinc rocido, es la protección de estructuras fabricadas, y hablando en términos generales no se presentan limitaciones aparte del costo, por el tamaño o forma del objeto a rociar. Se excluyen de esta forma de protección las áreas interiores de objetos con secciones pequeñas. El rociado de cinc es el único medio disponible para obtener recubrimientos de más de 0.010 pulg. ( 0.254mm ) de espesor. La uniformidad del recubrimiento normalmente depende de la experiencia del operador que lo aplica. En plantas automatizadas, donde se rocían cantidades de material similar en tamaño y forma, se pueden obtener recubrimientos muy uniformes.

### 5.3 Sherardización.

Este proceso, descubierto en 1900, se empezó a utilizar hasta 1923 y continúa siendo el menos conocido de los métodos de aplicación de cinc.

Los artículos que se van a recubrir se agitan dentro de un recipiente que contiene polvo de cinc a una temperatura precisamente abajo del punto de fusión: cerca de  $370^{\circ}\text{C}$  ( menor en el caso de acero para resortes. )

El cinc se liga al acero por un proceso de difusión y forma una capa dura y uniforme de aleación hierro/cinc. La apariencia de un recubrimiento por este método es gris opaca y puede recubrirse de pintura si es necesario. La uniformidad del recubrimiento en artículos de forma complicada junto con su resistencia a la abrasión es útil, sobre todo en piezas pequeñas tales como sujetadores y eslabones de cadena, que pueden recubrirse después de su fabricación ( tomando en cuenta el espesor del recubrimiento ) y utilizarse sin tener que volver a trabajar roscas, cuerdas, etc.

#### 5.4 Cincado electrolítico.

El cincado electrolítico, también llamado electrogalvanización, consiste en la deposición electrolítica de una capa de cinc sobre una superficie limpia de acero para darle un acabado fino y suave. Se utiliza para proteger objetos delicados en los que no se pueden soportar acabados rugosos o desiguales ( por ejemplo partes de instrumentos ) y para artículos que no pueden soportar el tratamiento previo o las temperaturas requeridas por los otros procesos. Ya que el recubrimiento de cinc es también muy dúctil, este proceso se ha adaptado para la galvanización de tira y alam-

bre que pueden requerir una deformación severa posteriormente.

Este método tiene dos limitaciones que son comunes a los demás A) el tamaño del crisol disponible, limita el tamaño del artículo a ser recubierto y B) la variedad de piezas a galvanizar está limitada por la composición del baño para alcanzar los intersticios y demás partes lejanas al ánodo.

Las composiciones principales que se utilizan en el baño se clasifican en ácidas y alcalinas. Difieren entre sí apreciablemente ( en composición y características ).

Los baños alcalinos contienen generalmente un doble cianuro del metal a depositar ( por ejemplo cianuro de sodio y cinc ), y contiene cincatos de acuerdo con el grado de causticidad necesario.

Los baños ácidos contienen sulfato y/o cloruro de cinc, -- además de una determinada cantidad de otras sales o coloides necesarios para la producción de electrodepósitos uniformes y de grano fino.

La elección de la solución más adecuada depende de dos factores los cuales son:

- 1) La naturaleza del metal base, ya sea hierro fundido o acero, en tiras planas o piezas -- complicadas.
- 2) El tipo de depósito que se requiera ( mate - o brillante ).

Recientemente se han desarrollado baños alcalinos diferentes, conteniendo óxido de cinc y sosa cáustica, que se usarán más en el futuro. Los recubrimientos de cinc por electrodeposición -- normalmente se someten a pasivación ligera que ocurre cuando las superficies sufren una condensación pesada. La forma más común de evitarla es la pasivación por cromatos.

### 5.5 Pinturas ricas en cinc.

Son aquellas en las que el polvo de cinc es el único pigmento activo y está presente en cantidades tales que la pintura tiene - algunas de las cualidades de la película metálica; por ejemplo, un alto nivel de conductividad eléctrica. Hasta ahora existen muy pocas normas aplicables a los recubrimientos ricos en cinc, aunque hay algunas en proceso de preparación.

Los recubrimientos ricos en cinc pueden ser divididos en dos grupos:

- 1) Medio orgánico.
- 2) Medio inorgánico

Las pinturas con medio orgánico generalmente se formulan utilizando resinas epóxicas, ésteres epóxicos, poliestireno o hule clorado y algunos otros compuestos menos comunes. Para ciertos usos especiales puede utilizarse un medio simple, por ejemplo, -- una resina alquídica modificada que se emplea a veces en imprimi--

madores ricos en cinc para partes de carrocerías de automóvil -- que son especialmente propensas a la corrosión.

Cada medio en particular imparte características especiales a la pintura y la hace útil para aplicaciones y usos específicos. Las pinturas con base orgánica se formulan a partir de la resina y una cantidad apropiada de polvo de cinc, además de algunos aditivos simples, como óxido de calcio o algún otro compuesto que al reaccionar elimina cualquier cantidad presente de agua, ya sea en la resina o en los solventes. Sin este aditivo, el agua podría reaccionar con el polvo de cinc, formando hidrógeno que podría explotar o cuando menos desprender la tapa del recipiente donde se encuentre. Se agregan otros aditivos en pequeñas cantidades para evitar que el cinc se sedimente durante el almacenamiento y para mejorar las propiedades físicas de la pintura.

Se requiere aproximadamente un 92% de cinc en la película seca para tener una pintura de base orgánica realmente rica, pero esto varía considerablemente, dependiendo de las características del polvo usado y de si se añade o no algunos otros pigmentos.

La mayoría de los recubrimientos inorgánicos ricos en cinc contienen un silicato. Las pinturas originales de silicato de cinc, que se desarrollaron, por el año de 1940, eran una simple mezcla de polvo de cinc y silicato de sodio: era necesario un horneado a 250° C durante dos horas, para producir una película insoluble de

cinc/silice/silicato de cinc, eliminando posteriormente el álcali-  
bre producido durante el horneado. De entonces a la fecha, se han --  
hecho muchos avances al respecto: el lavado con una solución áci-  
da constituyó una alternativa al horneado para curar la pintura. Es-  
tas pinturas curadas con ácido todavía se usan y funcionan exce--  
lentemente, aunque el costo de aplicación es mayor que para la --  
pintura auto-curable. Las pinturas auto-curables que se han desa-  
rrollado recientemente contiene silicatos de litio, potasio y sodio  
como material base. También se usan mezclas de silicatos alcali-  
nos, así como algunos otros medios como silicato de amonio cuater-  
nario y silicatos alquílicos ( etílicos o metílicos ) parcialmente --  
hidrolizados. Las pinturas autocurables dependen de la humedad -  
atmosférica para curarse, por lo tanto, no deben aplicarse en at-  
mosféricas secas.

Todas las pinturas inorgánicas dependen de una reacción --  
entre el cinc y el medio de mezcla para formar una película. Con-  
trastan con las pinturas orgánicas, en las que se procura justamen-  
te evitar una reacción entre el polvo y el medio. La reacción entre  
el silicato y el polvo de cinc empieza tan pronto como se mezclan-  
ambos. El pigmento y el medio se suministran en recipientes sepa-  
rados y se mezclan precisamente cuando se va a utilizar la pintu-  
ra. La vida útil de la mezcla varía entre un par de horas y 1 ó 2 -  
días. La cantidad de cinc en un recubrimiento inorgánico ya seco-  
es generalmente menor que en un recubrimiento orgánico, debido  
a que el medio de mezcla es más denso.

## 5.6 Galvanización por inmersión en caliente.

Se llama galvanización por inmersión en caliente al proceso de recubrir los artículos o materiales de hierro y acero mediante introducción de los mismos en una cuba llena de cinc fundido, de manera que tanto el hierro como el acero se alean con el cinc, dando lugar a un recubrimiento integral que se compone de varias capas de aleación recubiertas por otras de cinc puro. El cinc fundido cubre los ángulos y bordes, penetrando en las superficies internas de las partes huecas y en los requicios que son inaccesibles para otros procesos de protección.

Las capas de aleación del recubrimiento poseen mayor dureza que el acero base y confiere a los productos galvanizados una excelente resistencia a la abrasión. Cuando el recubrimiento galvanizado sufre algún daño mecánico y el acero base queda al descubierto, el cinc circundante sigue protegiendo catódicamente la zona desnuda.

Son susceptibles de galvanización desde las tuercas y los tornillos hasta vigas de 30 metros de longitud, pasando por elementos de caldería y equipos industriales de todo tipo. Las estructuras mayores pueden ensamblarse mediante pernos o soldadura después de su galvanización. Ya que la galvanización proporciona la protección más segura y duradera a un precio de costo razonable. Permite obtener espesores de recubrimientos que van desde unos

40 micrometros (  $300 \text{ g/m}^2$  ) hasta más de 160 micrometros (  $1200 \text{ g/m}^2$  ), según el espesor de las piezas y la clase de acero con -- que estén fabricadas.

Cuando se requiere una duración muy larga en ambientes -- industriales muy agresivos se puede recurrir a la obtención de -- recubrimientos de mayor espesor que el normal, ya que la dura-- ción de un recubrimiento de cinc es directamente proporcional a -- su espesor.

La galvanización y los recubrimientos de pintura ( sistema dúplex ) pueden utilizarse juntos ventajosamente cuando se requie-- re un acabado decorativo o en ambientes muy contaminados con -- dióxido de azufre. El sistema acero galvanizado más pintura dura mucho más que la suma de las duraciones de cada sistema por se -- parado.

## GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE

### CAPITULO VI.

#### 6.1 Generalidades.

De todos los recubrimientos a base de cinc, el de galvanizado por inmersión en caliente es, con mucho, el método más generalizado. Más de una tercera parte de la producción mundial de cinc se emplea en este proceso.

Esta operación recibe también el nombre de cincado, por ser el cinc el elemento que se utiliza para preservar a los artículos metálicos de la oxidación, principalmente el hierro, produciéndose en esta operación la liga hierro-cinc ( fig. 16 ).

Los recubrimientos que se obtienen por galvanización están constituidos por varias capas de aleación, que se denominan " gamma " , " delta " y " zeta " y una capa externa de cinc prácticamente puro ( fase "eta" ).

El orden de estas capas en un recubrimiento galvanizado en caliente ( fig. 17 ) es el siguiente. Junto al acero hay un depósito duro y delgado representado por el compuesto  $Fe_3Zn_{10}$  ( capa gamma ), el compuesto siguiente es el  $FeZn_7$  ( capa delta ), y a él se debe la adherencia del recubrimiento. Está limitado por el compuesto  $FeZn_{13}$  ( capa zeta ), que limita la velocidad de difu-

sión, y por consiguiente controla la velocidad de formación del recubrimiento. En el exterior está, por supuesto, la capa de cinc puro, que se forma al solidificar el cinc arrastrado del baño y que -- confiere al recubrimiento su aspecto característico gris metálico-brillante.

Debe tenerse en cuenta que las variaciones en las condiciones de trabajo y los tratamientos térmicos posteriores causan variaciones importantes en la naturaleza del recubrimiento.

El aspecto exterior de un recubrimiento de cinc depende de la naturaleza de cristalización de la capa superficial de cinc, que a su vez depende en gran parte de rapidez del enfriamiento. Si éste es lento, se formaran cristales grandes de cinc. Aunque de poca utilidad como indicación de buenas cualidades protectoras, una capa de cristales grandes de cinc bien definida es necesaria, en muchas aplicaciones, para satisfacer la demanda del consumidor. Otros factores que afectan a la formación de cristales grandes son la rugosidad y la composición del acero base y la adición de elementos secundarios a la masa fundida. La adición de 1% de estaño mejora también la uniformidad y la adherencia del recubrimiento.

Por otro lado como en la mayoría de los metales, en algunas ocasiones no es conveniente la formación de cristales grandes, debido a la disminución de su resistencia mecánica, por lo que el enfriamiento de ser controlado ya sea mecánicamente o mediante la adición de elementos que controlen el tiempo de enfriamiento.

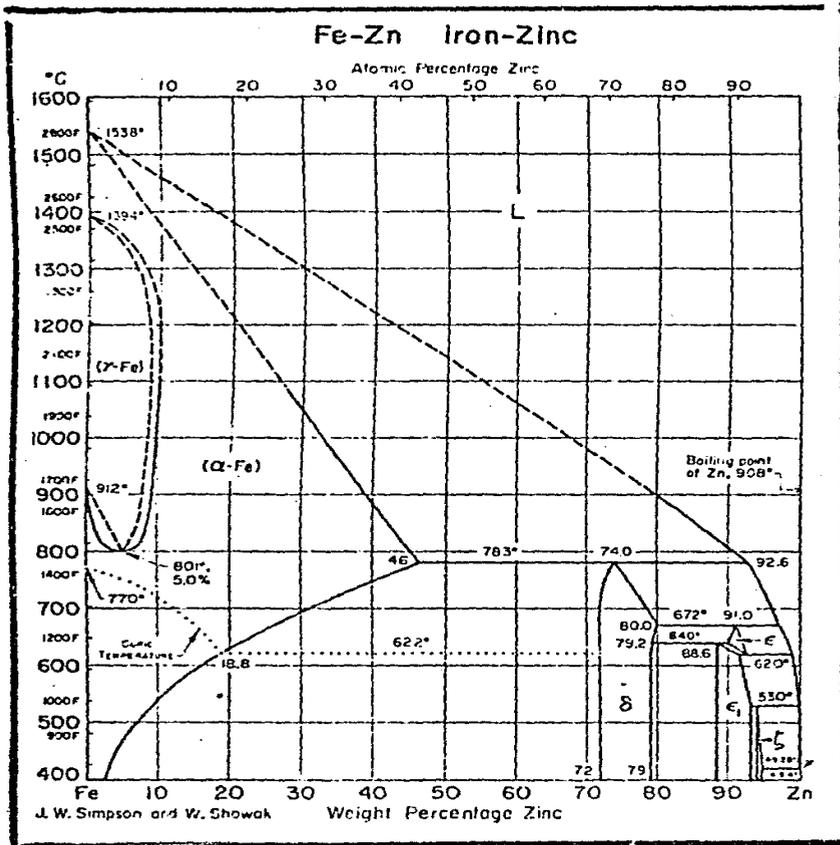
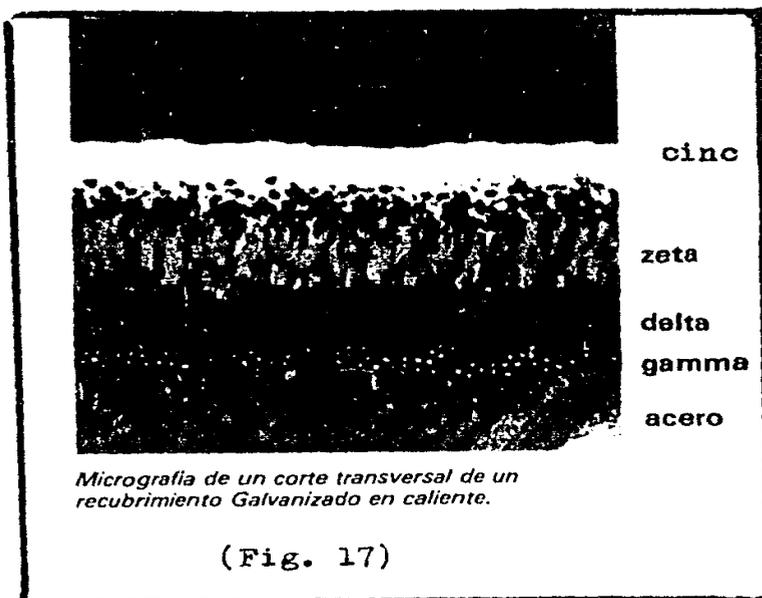


Fig. 16



## 6.2 Clasificación.

El galvanizado por inmersión en caliente se clasifica en -- dos categorías que son:

- 1) El general o método intermitente, para la galvanización de: lámina y tubo en tramos; perfiles estructurales; alambre en rollos; tornillos, clavos, tuercas y demás piezas a granel; productos elaborados a partir de lámina y alambre, como cubetas y otros recipientes, mallas señales de tránsito, defensas para carreteras, placas para automóviles, implementos agrícolas, etc.
- 2) Método continuo, para galvanizar lámina, tubería, alambre, etc.

### 6.2.1 Galvanización general.

Se realiza por lotes en etapas sucesivas, que van desde el acondicionamiento previo de los artículos a proteger, hasta la preparación adecuada para su distribución y venta.

#### Descripción del proceso.

La galvanización intermitente se lleva a cabo por varias etapas que son:

1) Preacondicionamiento.

Por medio de operaciones preparatorias, como esmerilado, sopleteo, chorreo con granalla de acero y con arena silfca, tala-- drado, etc., se dota a las piezas de características especiales, -- para facilitar su manejo y procesamiento posterior, eliminando to dos los residuos e irregularidades causados por las operaciones a que se han sometido los materiales ( laminación, estirado, dobla-- do, estampado, etc. )

2) Desengrasado.

Antes de aplicar el recubrimiento, es necesario someter - las piezas a una limpieza a fondo, para eliminar los residuos de - lubricantes de operaciones anteriores. Se realiza mediante la in-- mersión de las piezas en baños alcalinos a 60-85°C, o en emulsio-- nes a base de parafina, o bien por medio de vapores de tricloroeti-- leno o percloroetileno. Lo más común es el uso de soluciones alca-- línas, de concentraciones variables, de acuerdo con el grado de su ciedad de las piezas. Por ejemplo, solución acuosa de fosfato de - sodio o solución acuosa de hidróxido de sodio ( 10 a 15% en peso ). Los tiempos de inmersión varían con la forma y el tamaño de los- artículos, entre 1 y 20 minutos. Siempre es necesario agitar las- piezas dentro del baño, para lograr un desengrasado óptimo.

### 3) Enjuague.

Después del baño desengrasante, pasan las piezas a tanques de enjuague con agua caliente y agua fría, para desprender los residuos de álcali.

### 4) Decapado.

En esta etapa se procede a desprender los óxidos y cascarillas existentes en la superficie de los objetos, para lo cual se someten éstos a un baño ácido. Se utilizan soluciones acuosas de diferentes ácidos, cuya elección depende de la cantidad de óxidos -- que se desee eliminar. Las más comunes son las de ácido clorhídrico de 14 a 30% en peso ( a 18-21°C ) y las de ácido sulfúrico de 4 a 14% en peso ( a 60-80°C ) con inhibidores de corrosión. También se utilizan soluciones de ácido fluorhídrico de 2 a 10% en peso, ácido fosfórico, o bien soluciones de mezclas de ácido clorhídrico ( 12% ) con ácido fluorhídrico ( 6% ); ácido nítrico clorhídrico y ácido fluorhídrico; ácido nítrico con ácido clorhídrico. Ocasionalmente se utiliza hidróxido de sodio fundido ( 450-500°C ).

### 5) Lavado.

Esta operación tiene que efectuarse con agua en corriente, a fin de evitar la acumulación total de los residuos del decapado.

6) Tratamiento con flujo o fundente.

Es una preparación superficial que tiene el objeto de asegurar una buena adherencia de la capa de cinc sobre el acero base.

Consiste en una inmersión de las piezas en una solución de cloruro de cinc al 25% en peso, la cual esta ligeramente acidulada con ácido clorhídrico.

Esta solución se prepara disolviendo cloruro de cinc fundido en agua o mejor aún, diluyendo una solución fuerte de cloruro de cinc. En cualquier caso, la solución después de diluida tendrá una apariencia ligeramente lechosa debido a un precipitado. Deberá ser añadido el suficiente ácido clorhídrico para disolver este precipitado y quitar a la solución la apariencia lechosa. El cloruro de cinc puede ser comprado en tambores como una sal fundida, o como una solución concentrada.

Las sales comerciales de cloruro de cinc-amonio ( $1 \text{ NH}_4\text{Cl} : 3 \text{ ZnCl}_2$ ), con agentes humectantes, a una temperatura entre 65 y 90°C, pueden sustituir al cloruro de cinc simple como fundente.

El fundente tiene como función eliminar del acero cualquier traza de óxido y establecer un contacto metal a metal cuando la pieza se sumerge en el baño de cinc, de tal manera que la reacción metalúrgica ocurre de manera uniforme sobre la superficie para dar un recubrimiento continuo.

## 7) Secado.

Inmediatamente después que las piezas fuerón tratadas con fundente, se procede a secar las piezas en hornos o páneles radiantes, con aire limpio y seco a 80-120°C, durante 30 minutos.

## 8) Inmersión en cinc.

Se introducen las piezas en un crisol que contiene cinc fundido ( 445-465°C ), por espacio de 30 a 300 segundos, de acuerdo con el espesor de pelcúla deseado. Normalmente se utiliza cinc - tipo Prime Western, con la siguiente composición:

<u>Elemento</u>	<u>% Peso</u>
Plomo	1.22
Cadmio	0.074
Estaño	0.010
Cobre	0.002
Hierro	0.024
Arsénico	0.0015
Aluminio	0.005
Cinc	99.6635

La temperatura del baño de cinc debe mantenerse uniforme ( 445-465°C ). A esta temperatura la reacción entre cinc y hierro es rápida al principio y luego se vuelve más lenta.

De esta manera puede obtenerse un recubrimiento de espesor bastante constante al dejar el objeto sumergido en el baño durante el tiempo determinado. La reacción entre el hierro y el cinc produce compuestos específicos hierro/cinc, los cuales forman capas de recubrimiento. A medida que se extrae la pieza del baño se solidifica sobre la superficie exterior de la pieza una capa de cinc puro.

La calidad, peso y espesor de los recubrimientos obtenidos en la galvanización en caliente están cubiertos por varias normas y códigos para las diferentes aplicaciones, los cuales recomiendan también métodos adecuados para prueba. El espesor de los recubrimientos recomendados varía según la aplicación. En general, para artículos que tengan un espesor de más de 0.2 pulgadas ( 5 milímetros se especifica un recubrimiento de 2 onzas por pie cuadrado ( 600 gramos por metro cuadrado). Para materiales más delgados se recomienda un recubrimiento proporcionalmente más ligero. Si se desean recubrimientos más gruesos, pueden producirse utilizando acero con alto contenido de silicio o acero cuya superficie se haya hecho rugosa por medio de chorro abrasivo.

#### 9) Eliminación del exceso de cinc.

Cuando se trata de piezas pequeñas, el exceso de cinc depositado se elimina por medio de secadoras centrifugas. Cuando se trata de lámina, solamente se dejan escurrir; para tubería, esta-

operación se lleva a cabo mediante un chorro de aire comprimido.

10) Temple

Inmersión durante 2 minutos en agua caliente ( 60-70°C) - con algún agente pasivante.

11) Enfriamiento.

Para obtener un buen recubrimiento, es necesario que el cinc solidifique en un lapso corto de tiempo, lo cual se logra con una inmersión de las piezas en agua fría.

12) Acabado.

El destino final de los artículos galvanizados, determina la necesidad de operaciones adicionales, como ensamble y pintado. La primera implica trabajos de corte, esmerilado y soldadura. Cuando las piezas van a pintarse, se acostumbra preparar químicamente su superficie para lograr una buena adherencia de la pintura. El tratamiento más usado para este efecto es el fosfatado, que se realiza por inmersión en una solución acuosa de ácido fosfórico y fosfato de cinc, con nitrato y fluoruro de níquel como activadores; para sellar el recubrimiento de fosfato, se sumergen las piezas en una solución acuosa de ácido crómico.

## 13) Almacenamiento.

Finalmente los productos listos para su venta, han de almacenarse adecuadamente. Durante el período de almacenamiento sobre todo cuando el ambiente es húmedo, los objetos galvanizados pueden sufrir una forma ligera de corrosión, que se conoce como "mancha por almacenamiento en húmedo". Para prevenir esto, es conveniente aplicar a las piezas un tratamiento de crometado, mediante un baño en una solución acuosa de dicromato de sodio o de potasio al 1% en peso, acidulada con 0.5% en peso de ácido sulfúrico.

Para terminar con la descripción del método de galvanización general o intermitente cabe aclarar que puede desarrollarse por vía húmeda o por vía seca ( fig's. 18 y 19 ). Cuando se galvaniza por vía húmeda, las piezas a tratar, una vez decapadas se sumergen en el baño de cinc a través de una capa de flujo que flota sobre la superficie del baño. Si la galvanización se efectúa por vía seca, la pieza recubierta por el fundente se somete a un proceso de secado, sumergiendola a continuación en un baño de cinc fundido.

## 13) Almacenamiento.

Finalmente los productos listos para su venta, han de almacenarse adecuadamente. Durante el período de almacenamiento sobre todo cuando el ambiente es húmedo, los objetos galvanizados pueden sufrir una forma ligera de corrosión, que se conoce como "mancha por almacenamiento en húmedo". Para prevenir ésto, es conveniente aplicar a las piezas un tratamiento de crometado, mediante un baño en una solución acuosa de dicromato de sodio o de potasio al 1% en peso, acidulada con 0.5% en peso de ácido sulfúrico.

Para terminar con la descripción del método de galvanización general o intermitente cabe aclarar que puede desarrollarse por vía húmeda o por vía seca ( fig's. 18 y 19 ). Cuando se galvaniza por vía húmeda, las piezas a tratar, una vez decapadas se sumergen en el baño de cinc a través de una capa de flujo que flota sobre la superficie del baño. Si la galvanización se efectua por vía seca, la pieza recubierta por el fundente se somete a un proceso de secado, sumergiendola a continuación en un baño de cinc fundido.

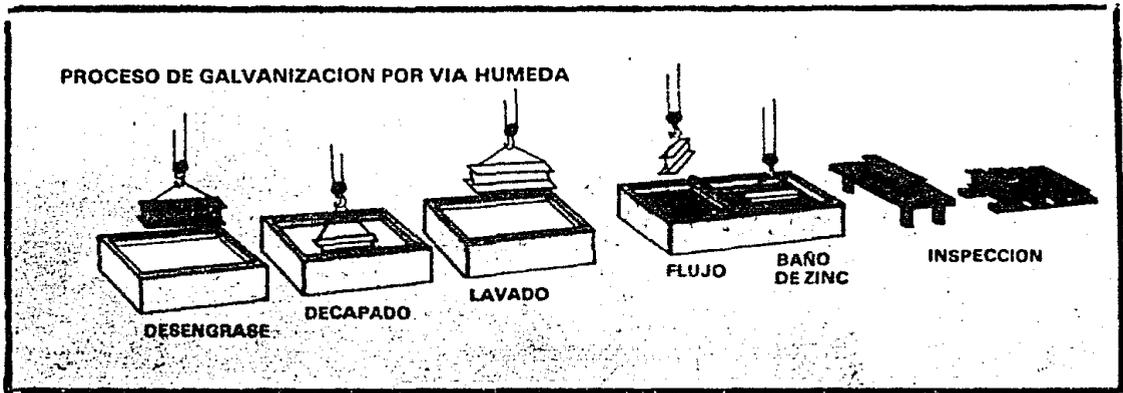


Fig. 18 Proceso de galvanización por vía húmeda.

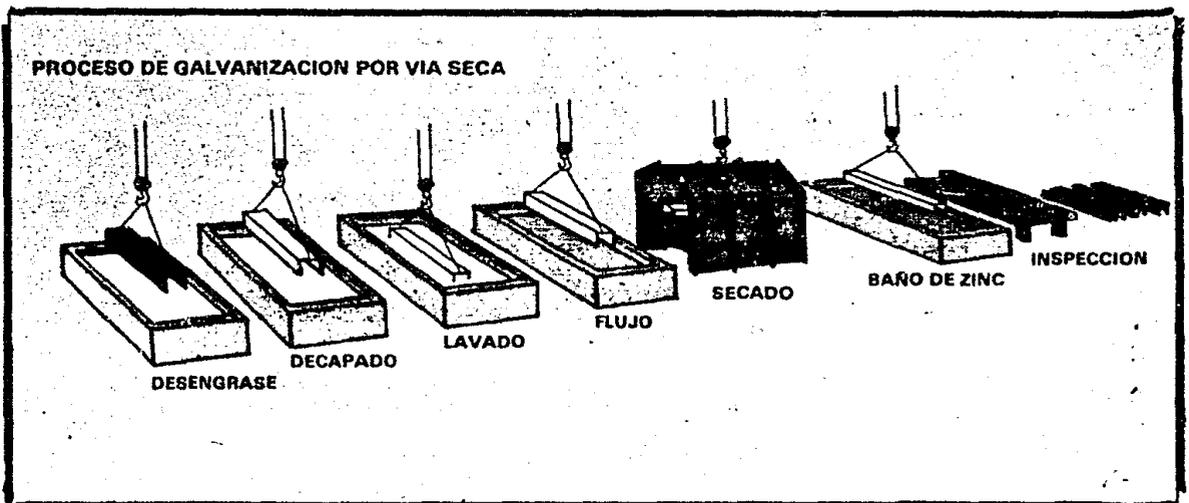


Fig. 19. Proceso de galvanización por vía seca.

### 6.2.2 Galvanización continua de lámina.

Se efectua por medio de máquinas especiales, que consisten esencialmente de una serie de rodillos en movimiento sincronizado ( fig. 20 ), que sirven para guiar la lámina a través de las diferentes etapas de limpieza y aplicación del recubrimiento. Estas máquinas operan a velocidades variables ( promedio de 50m/min ) y provistas de equipos de calentamiento, enfriamiento, lavado, escrrido, secado, etc.

En el método convencional, que es el proceso Sendzimir, la lámina pasa al crisol de cinc fundido inmediatamente después de una preparación superficial, que consiste en una oxidación precedida de una reducción, para remover grasas, óxidos y demás suciedad. La oxidación se realiza calentando el material en un horno con atmósfera oxidante ( aire ) o bien se trata con vapor de agua y la reducción se lleva a cabo también por calentamiento, en atmosfera reductora (  $H_2$ ,  $NH_3$ , o vapores de  $HCl$  o  $H_2 SO_4$  , que aunque no son verdaderamente reductores, son capaces de eliminar los óxidos ).

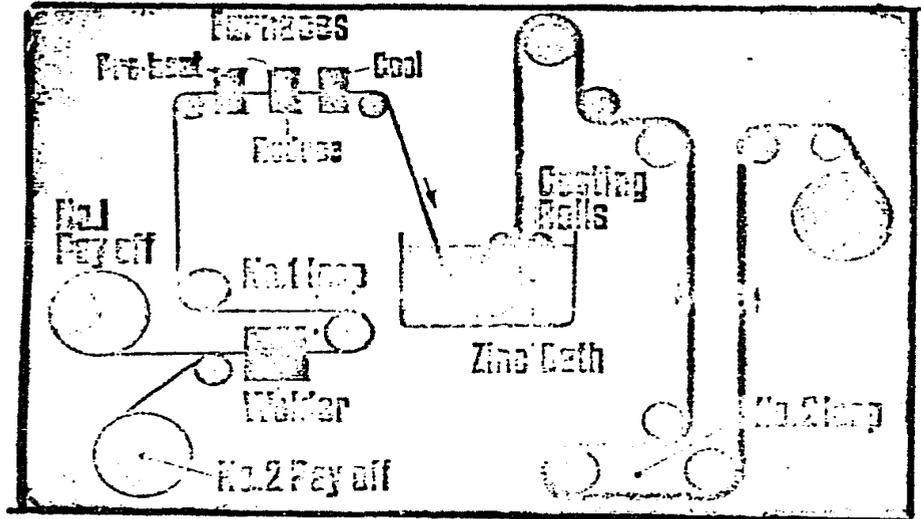


FIGURA No. 20

Esquema de una línea de galvanizado continuo Sendzmir mo dificado. Después de recubrir los rodillos, pueden instalarse tam- bién rodillos secundarios para disminuir o eliminar las salpicadu- ras de cinc. A menudo también se instala un proceso de cromado- después de los rodillos de recubrimiento y modificación de super- ficie.

### 6.2.3 Galvanización continua de alambre.

A continuación se describe exclusivamente la aplicación de cinc al alambre con fines de protección contra la corrosión, que - se hace después de la operación de trefilado. En algunas ocasiones se galvaniza también antes de trefilar, con el fin de proporcionar al material caracterfsticas mecánicas especiales.

La galvanización continua de alambre es un proceso bastante más complicado que los mencionados anteriormente. Las diferencias esenciales entre éste y los demás procesos, consisten en:

- 1) Su completa automatización
- 2) La adición de un tratamiento destinado a templar el alambre, conocido como " patentado " .
- 3) El uso de dos baños adicionales de permanganato de potasio, con fines de limpieza.

Las diferentes etapas del proceso, se llevan a cabo en equipos automáticos colocados de tal modo que permitan el paso del alambre a altas velocidades.

- 1) Recocido o patentado.

Consiste en pasar al alambre a través de un baño de plomo fundido, a una temperatura de 650 a 700°C. Este tratamiento tiene un propósito doble, ya que además de dar al material el temple requerido, quema los residuos de las operaciones previas que sean volátiles a la temperatura de operación.

- 2) Tratamiento con permanganato de potasio.

Este paso tiene el fin de desengrasar, ahuecar la cascari-  
lla de óxido formado sobre la superficie del alambre y eliminar los depósitos de las grasas de trefilado, coquizadas durante el re

cocido y otros tratamientos térmicos. Se trata de una solución acuosa compuesta por 5-10% de hidróxido de sodio y 5-10% de permanganato de potasio, entre 80 y 100°C.

3) Lavado con agua a alta presión

4) Decapado

Se logra mediante inmersión en solución de ácido sulfúrico ( inhibida ) primero y después en solución de ácido clorhídrico. -- Aquí se utilizan las mismas concentraciones y temperaturas que en la galvanización general.

5) Tratamiento con permanganato de potasio

En esta segunda ocasión, sirve para eliminar los residuos del decapado.

6) Lavado

Primero en caliente y después en frío, con agua conteniendo cloruro de amonio, para eliminar las sales y partículas de hierro.

7) Tratamiento con flujo

La solución empleada es la misma que para la galvanización intermitente. En este caso debe protegerse el tratamiento por me-

dio de una atmósfera inerte o reductora.

8) Secado en horno.

A temperatura de 80-120°C, durante 30 minutos.

9) Inmersión en cinc.

A una temperatura de 450 a 470°C.

10) Enfriamiento.

Mediante proyección de una emulsión aceitosa, la cual, por otra parte, produce un efecto de lubricación que es beneficioso.

11) Enrollado final.

Para remover el exceso de cinc y pulir la superficie del -- alambre, se usan cojinetes de asbesto; con el objeto de lograr recubrimientos gruesos, el alambre se hace pasar a través de una - cama de carbón vegetal ( " escurrido de carbón " ), antes del baño de cinc.

Existe un método alternativo para galvanizar alambre, conocido como " Proceso Crapo " , que se usa muy poco. En este proceso, el alambre pasa a través de un baño líquido de sales fundidas - ( 45% cloruro de sodio, 45% carbonato de sodio y 10% cianuro de -

sodio ) antes del galvanizado.

## ESTADISTICA DEL CINC

CAPITULO VII

## 7.1 Panorama nacional del cinc en 1981.

El precio mínimo del cinc en el mercado nacional fue de -- 36.21 centavos de dólar por libra y el precio máximo de 40.12 centavos de dólar por libra ( ¢ /LB. ); con un promedio en este año de 40.12 centavos de dólar por libra.

En 1981, la producción de cinc en México fue menor que el año anterior en un 10.48%, al pasar de 145,363 toneladas metricas en 1980 a 130,123 toneladas metricas en 1981.

El consumo nacional de cinc creció 12.24%, al pasar de -- 88,908 toneladas metricas consumidas en 1980 a 99.794 toneladas metricas en 1981. Este se debió, principalmente a una mayor de-- manda en los sectores de galvanización, de óxidos y polvos, y fa-- bricación de latones.

Las exportaciones se redujeron 50.17%, ya que en 1980 se exportaron 58,523 toneladas metricas y en 1981, 29,160 toneladas metricas.

En el año de 1982 se presentaron grandes incrementos tanto en la extracción como en la refinación de cinc en México, debido a que en este año entro en operación nuevas minas, así como

la refinera de cinc electrolítico de Industria Minera México en --  
San Luis Potosí con una capacidad de 114,000 toneladas metricas.

En la siguiente grafica se detalla el panorama nacional del  
cinc durante los años de 1978 a 1981.

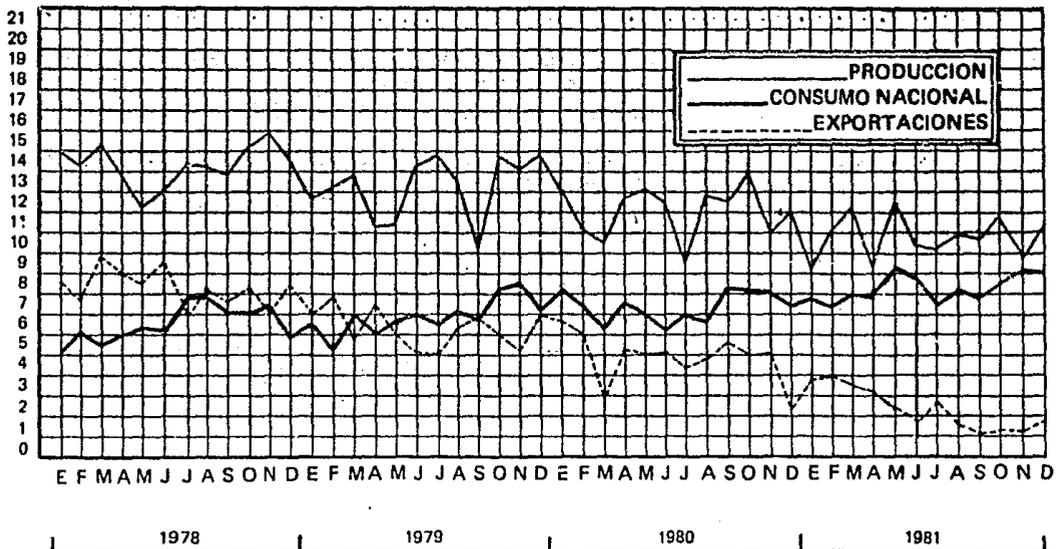
ESTADISTICA DE CINC PRIMARIO REFINADO EN MEXICO.

DATOS EN TONELADAS METRICAS

1981	PRODUCCION	CONSUMO NACIONAL	EXPORTACIONES	VENTAS TOTALES
Enero	9,376	7,879	3,822	11,701
Febrero	11,159	7,412	3,984	11,396
Marzo	12,224	8,139	3,667	11,806
Abril	9,402	7,789	3,266	11,055
Mayo	12,452	9,190	2,589	11,779
Junio	10,551	8,781	1,735	10,516
Julio	10,341	7,430	2,817	10,247
Agosto	10,917	8,274	1,567	9,841
Septiembre	10,765	7,909	1,256	9,165
Octubre	11,628	8,659	1,402	10,061
Noviembre	9,793	9,292	1,257	10,549
<b>TOTAL</b>	<b>130,123</b>	<b>99,784</b>	<b>29,160</b>	<b>128,954</b>
1980	125,474	95,300	28,374	126,674
1979	153,002	100,000	25,100	124,900
1978	172,233	79,166	98,828	177,994

\* Datos Preliminares.

MILES DE TONELADAS METRICAS



### 7.1.1 Análisis de la gráfica estadística de cinc primario refinado en México.

En este análisis se efectuara el estudio estadístico tendiente al cálculo de una estimación de la producción, consumo y ex--portación de cinc en México durante los próximos tres años. Se --utilizarán los datos proporcionados por el Centro Mexicano de In--formación del Cinc y Plomo, A. C.

El estudio estadístico requiere encontrar la ecuación de la curva ( representativa ) que aunque no pase por todos los puntos -dados, presente pocas variaciones y pase lo más cercas posible de todos ellos. Generalmente " lo más cercas posible " se obtiene --imponiendo el criterio de los mínimos cuadrados.

Antes de aplicar este criterio, debe escogerse la forma de la curva que se va a ajustar al conjunto de puntos dados. La ecuación de esa curva puede obtenerse por conocimiento previo del --problema, es decir por la interpretación física del problema, o en forma arbitraria observando que ecuación conocida describe apro--ximadamente a esta curva.

En este caso particular, en base a la interpretación física del problema ( gráfica estadística de cinc primario refinado en --México ), se determina que la curva más representativa para cada caso en particular de la producción, consumo y exportación es la linea recta.

Tabla de muestras

Años	Producción de cinc, (Toneladas Metricas )
1978	172233
1979	159602
1980	145363
1981	130123

N = 4

En este método ( mínimos cuadrados ) se tiene como base la siguiente ecuación:

$$Y = A + BX \quad (\text{ecuación de regresión lineal})$$

donde Y representa las toneladas producidas y X los años, A y B constantes de proporcionalidad.

X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1978	172233	3912484	2.9664 X 10 <sup>10</sup>	3.4067 X 10 <sup>8</sup>
1979	159602	3916441	2.5472 X 10 <sup>10</sup>	3.1585 X 10 <sup>8</sup>
1980	145363	3920400	2.1130 X 10 <sup>10</sup>	2.8781 X 10 <sup>8</sup>
<u>1981</u>	<u>130123</u>	<u>3924361</u>	<u>1.6931 X 10<sup>10</sup></u>	<u>2.5777 X 10<sup>8</sup></u>
7918	607321	15673686	9.3197 X 10 <sup>10</sup>	1.2021 X 10 <sup>9</sup>

$$A = \frac{(\sum x^2)(\sum Y) - (\sum X)(\sum XY)}{n \sum x^2 - (\sum X)^2}$$

$$B = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum x^2 - (\sum X)^2}$$

$$A = \frac{(15673686)(607321) - (7918)(1.2021 \times 10^9)}{4(15673686) - (7918)^2} = 36540000$$

$$B = \frac{4(1.2021 \times 10^9) - (7918)(607321)}{4(15673686) - (7918)^2} = -18380$$

Sustituyendo los valores de A y B en la ecuación Base

$$Y = 36540000 - 18380 X$$

Cálculo de las toneladas esperadas

X	Y
1978	184360
1979	165980
1980	147600
1981	129220
1982	110840
1983	92460
1984	74080
1985	55700

## Análisis de correlación

$$\text{Coeficiente de correlación} = r = B \sqrt{(X - \bar{X})^2 / (Y - \bar{Y})^2}$$

X	Y	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	$Y - \bar{Y}$	$(Y - \bar{Y})^2$
1978	172233	- 1.5	2.25	20402.75	4.1627X10 <sup>8</sup>
1979	159602	- 0.5	0.25	7771.75	60400098
1980	145363	0.5	0.25	-6467.25	41825322
1981	130123	1.5	<u>2.25</u>	-21707.25	<u>4.7120X10<sup>8</sup></u>
			5.00		9.8970X10 <sup>8</sup>

$$\bar{X} = \sum X/n = 1979.5$$

$$\bar{Y} = \sum Y/n = 151830.25$$

$$(X - \bar{X})^2 = 5.00$$

$$(Y - \bar{Y})^2 = 9.8970X10^8$$

$$B = -18380$$

$$r = -18380 \sqrt{5.00 / 9.8970X10^8}$$

$$r = -1.3064$$

Tabla de muestras

Años	Consumo de cinc, (toneladas Metricas ).
1978	79166
1979	83310
1980	88908
<u>1981</u>	<u>99794</u>
n=4	

$$\text{Ecuación base: } Y = A + BX$$

donde Y representa las toneladas de consumo y X los años, A y B - constantes de proporcionalidad.

X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1978	79166	3912484	6.2672 X 10 <sup>9</sup>	1.5659 X 10 <sup>8</sup>
1979	83310	3916441	6.9405 X 10 <sup>9</sup>	1.6487 X 10 <sup>8</sup>
1980	88908	3920400	7.9046 X 10 <sup>9</sup>	1.7603 X 10 <sup>8</sup>
<u>1981</u>	<u>99794</u>	<u>3924361</u>	<u>9.9588 X 10<sup>9</sup></u>	<u>1.9769 X 10<sup>8</sup></u>
7918	351178	15673686	3.1071 X 10 <sup>10</sup>	6.9518 X 10 <sup>8</sup>

$$A = \frac{(15673686) (351178) - (7918) (6.9518 \times 10^8)}{4 (15673686) - (7918)^2} = 907\ 5000$$

$$B = \frac{4(6.9518 \times 10^8) - (7918) (351178)}{4(15673686) - (7918)^2} = 4630$$

Sustituyendo los valores de A y B en la ecuación base.

$$Y = - 9075000 + 4630 X$$

Cálculo de las toneladas esperadas:

X	Y
1978	83140
1979	87770
1980	92400
1981	97030
1982	101660
1983	106290
1984	110920
1985	115550

Análisis de correlación

X	Y	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	$Y - \bar{Y}$	$(Y - \bar{Y})^2$
1978	79166	-1.5	2.25	-8628.5	74451012
1979	83310	-0.5	0.25	-4484.5	20110740
1980	88908	0.5	0.25	1113.5	1239882.2
1981	99794	1.5	<u>2.25</u>	11999.5	<u>1.4398X10<sup>8</sup></u>
			5.00		2.3978X10 <sup>8</sup>

Cálculo del coeficiente de correlación

$$r = B \sqrt{(X - \bar{X})^2 / (Y - \bar{Y})^2}$$

$$\bar{X} = \sum X/n = 1979.5$$

$$\bar{Y} = \sum Y/n = 87794.5$$

$$(X - \bar{X})^2 = 5.00$$

$$(Y - \bar{Y})^2 = 2.3978 \times 10^8$$

$$B = 4630$$

$$r = 4630 \sqrt{5.00 / 2.3978 \times 10^8}$$

$$r = 0.66858$$

Tabla de muestras

Años	Exportación, ( Toneladas Metricas ).
1978	98828
1979	76140
1980	58523
<u>1981</u>	<u>29160</u>
n 4	

$$\text{Ecuación base: } Y = A + BX$$

donde Y representa las toneladas de exportación y X los años, A y B constantes de proporcionalidad.

X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1978	98828	3912484	9.7669 10 <sup>9</sup>	1.9548X10 <sup>8</sup>
1979	76140	3916441	5.7972 10 <sup>9</sup>	1.5068X10 <sup>8</sup>
1980	58523	3920400	3.4249 10 <sup>9</sup>	1.1587X10 <sup>8</sup>
<u>1981</u>	<u>29160</u>	<u>3924361</u>	<u>8.5030 10<sup>8</sup></u>	<u>57765960</u>
7918	262651	15673686	1.3839X10	5.1980X10 <sup>8</sup>

$$A = \frac{(15673686) (262651) - (7918) (5.1980 \times 10^8)}{4 (15673686) - (7918)^2} = 46645000$$

$$B = \frac{(5.1980 \times 10^8) 4 - (7918) (262651)}{(15673686) 4 - (7918)^2} = -23530$$

Sustituyendo los valores de A y B en la ecuación base:

$$Y = 46645000 - 23530 X$$

Cálculo de las toneladas esperadas

X	Y
1978	102660
1979	79130
1980	55600
1981	32070
1982	8540
1983	-14990
1984	-38520
1985	-62050

Análisis de correlación

X	Y	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	$Y - \bar{Y}$	$(Y - \bar{Y})^2$
1978	98828	-1.5	2.25	33165.25	$1.0999 \times 10^9$
1979	76140	-0.5	0.25	10477.25	$1.0977 \times 10^8$
1980	58523	0.5	0.25	-7139.75	50976030
1981	29160	1.5	2.25	-36502.75	$1.3324 \times 10^9$
			<u>5.00</u>		<u><math>2.5930 \times 10^9</math></u>

Cálculo del coeficiente de correlación.

$$r = B \sqrt{(X - \bar{X})^2 / (Y - \bar{Y})^2}$$

$$\bar{X} = \sum X/n \quad 1979.5$$

$$\bar{Y} = \sum Y/n \quad 65662.75$$

$$(X - \bar{X})^2 = 5.00$$

$$(Y - \bar{Y})^2 = 2.5930 \times 10^9$$

$$B = - 23530$$

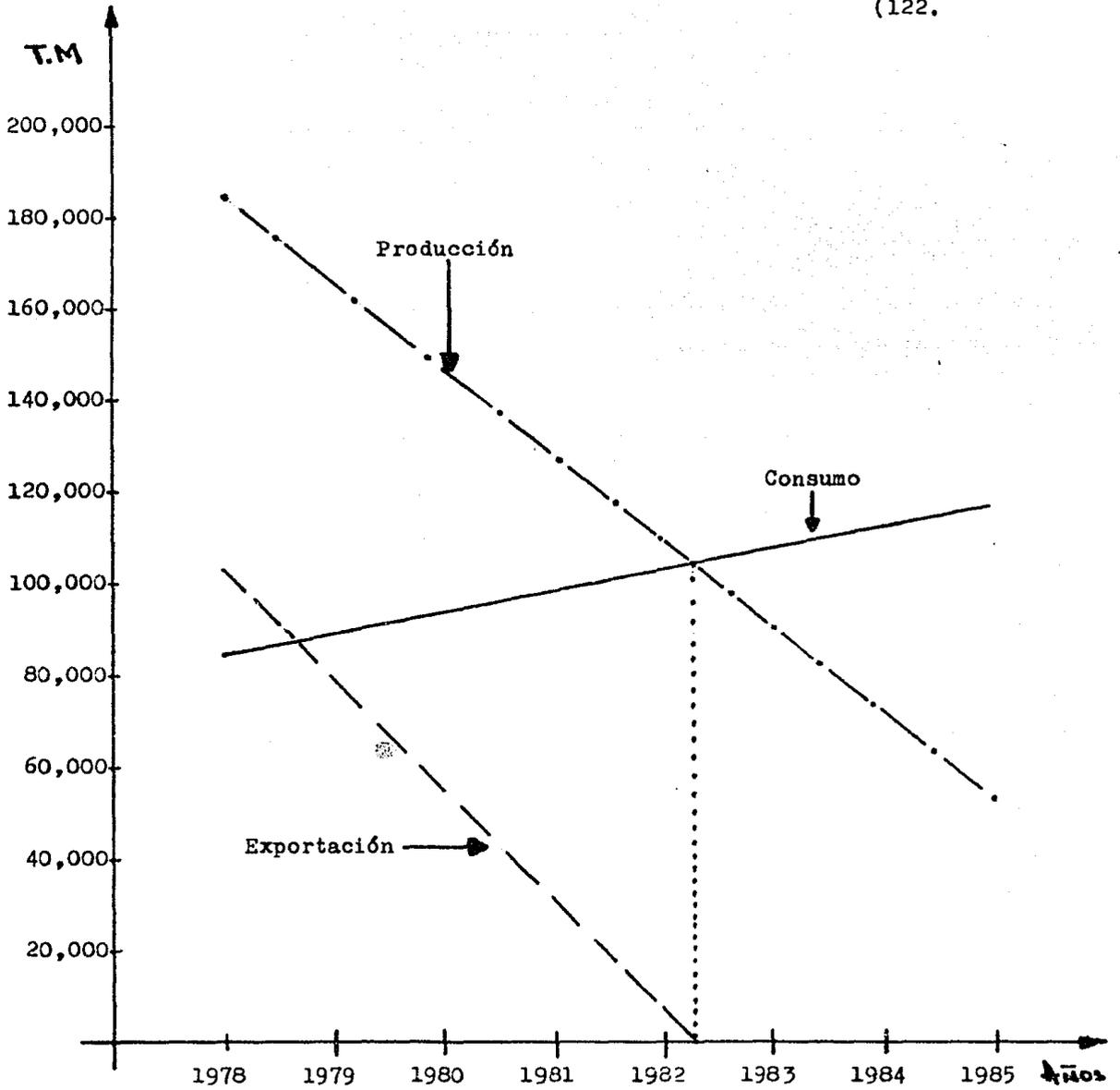
$$r = - 23530 \sqrt{5.00 / 2.5930 \times 10^9}$$

$$r = - 1.033$$

En un modelo general de regresión lineal los valores de las muestras satisfacen una línea recta solamente cuando el coeficiente de correlación tiene los valores de 1 ó -1; en los tres casos anteriores ( producción, consumo y exportación ) se encontro que solamente en la exportación se cumple el valor del coeficiente de correlación, en los otros dos casos, el coeficiente de correlación se aleja significativamente de los valores requeridos. En virtud de -- que el coeficiente de correlación es, en cierto modo, una medida de la dependencia lineal entre las variables ( años contra toneladas

metricas de producción, consumo y exportación ) se concluye que las variables analizadas ( producción y consumo ) no muestran una relación tendiente a la linealidad que permita emitir pronósticos - con un grado de confiabilidad aceptable.

A continuación se representa en forma gráfica los valores - obtenidos de las ecuaciones base para la producción, consumo y exportación ( toneladas metricas contra años ). En esta gráfica se demuestra que cuando la producción es igual a la demanda la exportación es cero.

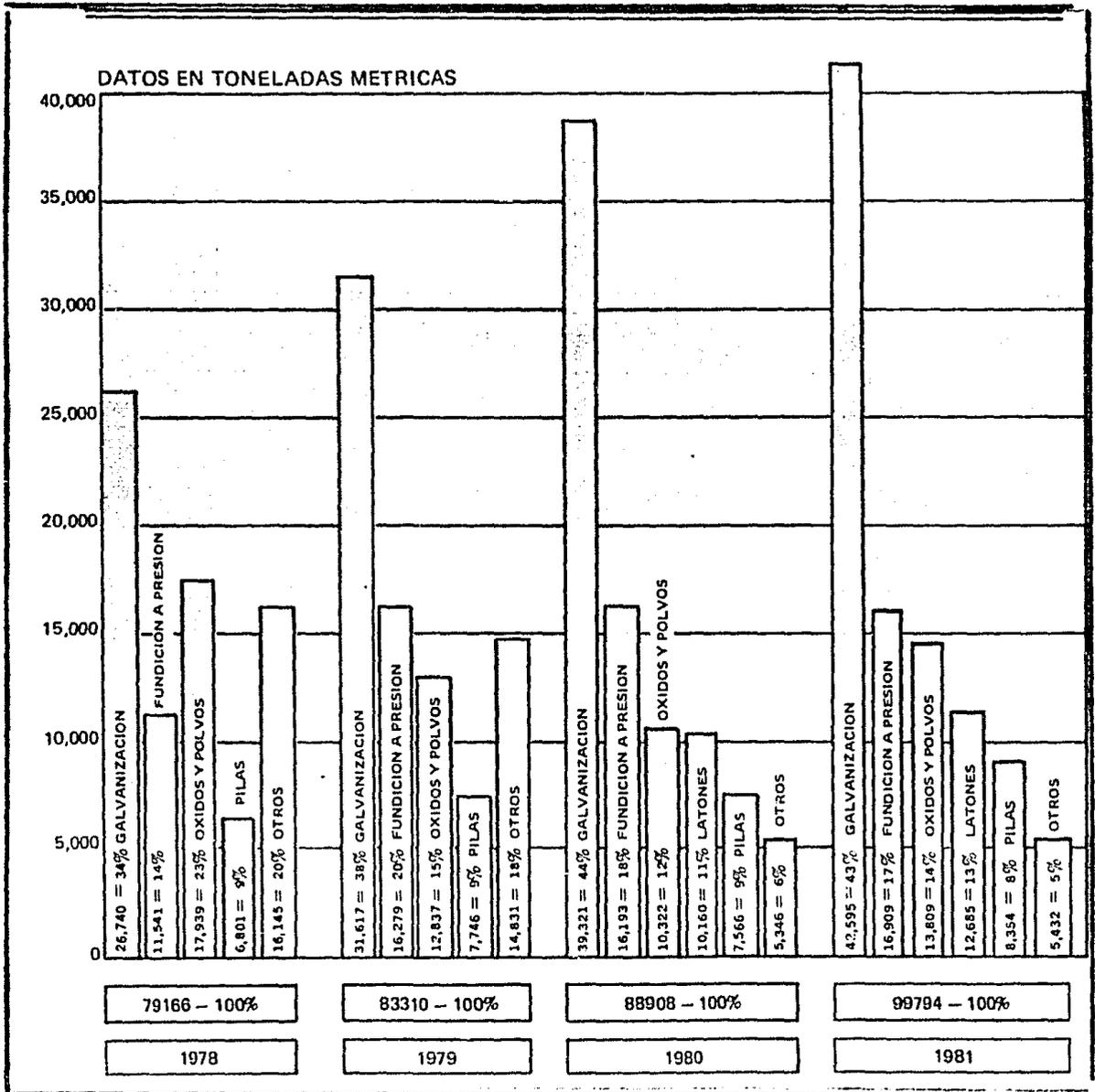


## 7.2 Consumo de cinc en México.

En la siguiente gráfica se presenta el panorama del consumo de cinc primario en México por usos principales de 1978 a - - 1981. En esta gráfica se observa que el principal uso del cinc es - la galvanización, seguido de la fundición a presión y óxidos y polvos.

CONSUMO DE CINC PRIMARIO EN MEXICO POR USOS PRINCIPALES.

1978-1981



## CONCLUSIONES

### CAPITULO VIII.

En la medida en que se protege adecuadamente a los metales de la acción de la corrosión, es posible obtener ahorros considerables. El cinc es el recubrimiento metálico más comúnmente utilizado para este propósito, ya que tiene un comportamiento adecuado y donde es necesario protege por sacrificio al metal base.

A continuación se mencionan algunas ventajas e inconvenientes de los métodos tratados para protección de los metales por medio de cinc.

#### Metalización.

- No existen limitaciones en cuanto a forma y tamaño de la pieza a recubrirse, teniendo en cuenta que las uniones, orificios y otras áreas pueden ser difíciles de recubrir.
- Puede realizarse " in situ ", esto es, en la propia obra, no obstante debe tenerse en cuenta las condiciones climatológicas del lugar.
- La uniformidad del recubrimiento normalmente depende de la experiencia del operador.

- Buen enlace mecánico siempre y cuando se prepare correctamente la superficie.
- Es antieconómico su aplicación a mallas.
- Es posible obtener espesores de más de -- 0.5 mm.

### Inmersión en caliente.

- Excelente adhesión, el recubrimiento se integra perfectamente al acero ya que el proceso de formación produce capas de -- aleación hierro-cinc, recubiertas de cinc.
- Excelente poder de penetración.
- Buena resistencia a la abrasión.
- Es posible galvanizar piezas de grandes -- longitudes ( 32-35 m ).
- Si el procedimiento de galvanización es adecuado no existe peligro de que quede a -- atrapado ácido de decapado en las costuras y zonas huecas. Incluso las pequeñas zonas con inclusiones de cenizas no afecta a la re -- sistencia a la corrosión.
- Espesores normalmente de 0.007 a 0.127- mm. Utilizando técnicas especiales, es po -- sible obtener espesores de 0.025 mm ó -- 0.25 mm.

- Gran facilidad en la galvanización de piezas a granel.

### Electrodepósito.

- Acabado fino y suave.
- Limitado, en el tamaño del crisol disponible.
- La velocidad de la pieza a galvanizar esta limitada por la composición del baño.
- Buena adhesión.
- El acero recubierto por electrodeposición presenta una formabilidad excelente.
- Espesores variables, es posible obtener - capas más gruesas pero resulta antieconómico.

### Pinturas ricas en cinc.

- Gran resistencia a la abración.
- Buena continuidad.
- Buena adhesión.
- Espesores mayores de 0.38 mm.

### Sherardización.

- Buena continuidad y excelente uniformidad,

aún sobre partes soldadas e irregulares.

- Excelente resistencia a la abrasión.
- Generalmente se usa para piezas complicadas.
- Util cuando es necesario controlar la calidad bajo tolerancias estrictas.

De lo mencioando anteriormente se concluye:

Cuanto mejor esté informado en usuario de las ventajas e inconvenientes de los recubrimientos de cinc mejor podrá seleccionar el método de protección más adecuado para cada aplicación -- particular.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS Y ENCICLOPEDIAS.

- 1) CORROSION CONTROL:
  - L. Lshreir.
  - Ed. Newnes-Butterworths.
  
- 2) CORROSION HANDBOOK:
  - Herbert. H. Uhlig.
  - Ed. John Wiley X Sons. Inc.
  
- 3) INGENIERIA ELECTROQUIMICA:
  - C. L. Mantell.
  - Ed. Reverté, S. A.
  
- 4) ENCICLOPEDIA DE QUIMICA INDUSTRIAL:
  - Dr. Fritz. Ullmann.
  - Ed. Gustavo Gili. S. A.
  
- 5) RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS BRILLANTES:
  - Enrique Julve Salvadó
  - Ed. Ediciones CEDEL.
  
- 6) GALVANOPLASTIA Y GALVANOTECNIA:
  - William Blum and George - B. H.
  - Ed. Compañía Editorial -- Continental S. A.

7) METALES HANDBOOK:

- Prepared Under Direction of The ASM HANDBOOK COMMITTEE.
- American Society for Metals.

8) ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA:

- Raymond E. Kirk. Donald F. Ed. Hispano Americana.

9) GALVANIZING, SHERARDIZING AND OTHER CINC DIFFUSION COATINGS:

- Ev. Proskurkin X N. S. Gorbunov.
- Ed. Published By Technicopy - Limited.

10) METALS ENGINEERING PROCESSES:

- ASEM HANBBOOK.
- Roger W. Bolz.

11) ENCICLOPEDIA DE QUIMICA:

- George L. Clark.

12) RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS:

- Samuel Frield y A. Dudley W.

13) ELECTROQUIMICA MODERNA:

- John O'M. Bockris Amulaya K. N. Reddy.
- Ed. Reverté, S. A.

REVISTAS O FOLLETOS.

- GALVANIZING MANUAL & DIRECTORY ( prontuario del acero galvanizado )
- PAINTING ZINC COATED STEEL.
- BOLTING ZINC COATED STEEL.
- WELDING ZINC COATED STEEL.
- PASTENIN ZINC COATED STEEL.
- TECHNICAL NOTES ON ZINC- HOT DIP GALVANIZING.
- TECHNICAL NOTES ON ZINC - GALVANIZING.
- TECHNICAL NOTES ON ZINC- ZINC SPRAYING.
- TECHNICAL NOTES ON ZINC - ZINC PLATING ( electro-galvanizing).
- TECHNICAL NOTES ON ZINC - SHEARDIZING.
- TECHNICAL NOTES ON ZINC- PIGMENTS.
- TECHNICAL NOTES ON ZINC- ZINC DUST.
- ZINC - TTS CORROSION RESISTANCE, INTERNACIONAL MANUAL.
- ATMOSPHERIC CORROSION RESISTANCE FOR ZINC.
- PROTECTING STEEL WITH ZINC DUST PAINTS.

PROTECTION BY SPRAYED METAL COATINGS.

COMMERCIAL HOT DIP GALVANIZING OF FABRICATED ITEMS.

GALVANIZED STEEL A REPORT ON GALVAFORUM SEMINARS.

REVISTAS PUBLICADAS POR EL CENTRO MEXICANO DE INFORMACION,  
DEL CINC Y PLOMO, A. C.

REVISTAS DE LA ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA DE GALVANIZA  
CION DISTRIBUIDAS POR EL CENTRO MEXICANO DE INFORMACION  
DEL CINC Y PLOMO, A. C.

NOTA: Todas las publicaciones anteriores ( revistas o folletos ),  
pueden obtenerse a través del Centro Mexicano del Cinc  
y Plomo, A. C.

## INDICE

CAPITULO I. -	GENERALIDADES DEL CINC . . . . .	Pág	1
	Breve reseña Histórica . . . . .	Pág	1
	Propiedades químicas . . . . .	Pág	7
	Propiedades físicas . . . . .	Pág	9
CAPITULO II. -	INTRODUCCION A LA CORROSION . . . . .	Pág	12
	Generalidades . . . . .	Pág	12
	Tipos de corrosión . . . . .	Pág	15
	Corrosión general . . . . .	Pág	16
	Corrosión por picado . . . . .	Pág	17
	Corrosión selectiva . . . . .	Pág	17
	Corrosión bajo película . . . . .	Pág	18
	Corrosión filiforme . . . . .	Pág	18
	Corrosión intergranular . . . . .	Pág	19
	Control de la corrosión . . . . .	Pág	20
	Purificación de los metales . . . . .	Pág	21
	Aleación . . . . .	Pág	22
	Adiciones al medio ( inhibidores ) . . . . .	Pág	23
	Alteración del medio . . . . .	Pág	25
	Protección catódica . . . . .	Pág	26
	Protección anódica . . . . .	Pág	31
	Recubrimiento ( metálico ) sobre el metal . . . . .	Pág	34
CAPITULO III. -	RECUBRIMIENTOS METALICOS . . . . .	Pág	36
	Generalidades . . . . .	Pág	36

Recubrimientos aplicados por inmersión en caliente . . . . .	Pág	40
Recubrimientos por impregnación . . . . .	Pág	40
Recubrimientos aplicados por aspersion . . . . .	Pág	41
Recubrimientos por chapeado de metales . . . . .	Pág	42
Recubrimientos por depósito de vapor . . . . .	Pág	42
Recubrimientos por electrodeposición . . . . .	Pág	43
El cinc como materia prima de los recubri- mientos metálicos . . . . .	Pág	44
Comportamiento de los recubrimientos de cinc en el medio ambiente . . . . .	Pág	47
Comportamiento de los recubrimientos de - - cinc en medios acuosos . . . . .	Pág	49
<b>CAPITULO IV. - PREPARACION DE LA PIEZA A RECUBRIR . .</b>	<b>Pág</b>	<b>52</b>
Principios generales . . . . .	Pág	52
Operaciones en la preparación de la pieza a recubrir . . . . .	Pág	53
Desbastado . . . . .	Pág	53
Pulido . . . . .	Pág	56
Desengrasado . . . . .	Pág	65
Desengrase con disolventes orgánicos . . . . .	Pág	66
Desengrase por emulsión . . . . .	Pág	69
Desengrase por inmersión en soluciones alcalinas . . . . .	Pág	70

	Desengrase electrolítico . . . . .	Pág	73
	Desengrase con ultrasonido . . . . .	Pág	74
	Decapado . . . . .	Pág	76
CAPITULO V. -	PROCESOS DE RECUBRIMIENTO UTILIZANDO CINC . . . . .	Pág	80
	Clasificación . . . . .	Pág	80
	Metalización . . . . .	Pág	81
	Sherardización . . . . .	Pág	82
	Cincado electrolítico . . . . .	Pág	83
	Pinturas ricas en cinc . . . . .	Pág	85
	Galvanización por inmersión en caliente . . . . .	Pág	88
CAPITULO VI. -	GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE . . . . .	Pág	90
	Generalidades . . . . .	Pág	90
	Clasificación . . . . .	Pág	93
	Galvanización general . . . . .	Pág	93
	Galvanización continua de lámina . . . . .	Pág	102
	Galvanización continua de alambre . . . . .	Pág	103
CAPITULO VII. -	ESTADISTICA DEL CINC . . . . .	Pág	108
	Panorama nacional del cinc en 1981 . . . . .	Pág	108
	Análisis de la gráfica estadística de cinc . . . . .		
	primario refinado en México . . . . .	Pág	111
	Consumo de cinc en México . . . . .	Pág	123
CAPITULO VIII. -	CONCLUSIONES . . . . .	Pág	125
	BIBLIOGRAFIA . . . . .	Pág	129