

⑧ Lejeune.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**

## **Obtención, Aplicación y Protección de la Lámina Galvanizada**

**T E S I S**

Que para obtener el título de :  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**p r e s e n t a n :**

**ROBERTO ISIDRO GONZALEZ TALAVERA**

**PABLO LOPEZ TELLO MENDEZ**

**PEDRO VALENTINO GOMORA**

Director de Tesis: Ing. José Luis Dávila Camargo

---

1980



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.

# I N D I C E

<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1 PROCESO DE MANUFACTURA: ACERACION Y LAMINACION</b>	<b>3</b>
1.1 Materia Prima	3
1.2 Método de Obtención de Arrabio	4
1.2.1 Alto Horno	
1.3 Obtención de Fierro Esponja	15
1.3.1 Proceso HYL	
1.4 Aceración	23
1.4.1 Convertidores	
1.4.2 Hornos Eléctricos	
1.4.3 Hornos de Hogar Abierto	
1.5 Laminación	37
<b>Capítulo 2 PROCESO DE GALVANIZADO</b>	<b>43</b>
2.1 Protección Catódica	44
2.2 Diferentes Tipos de Galvanización	52
2.3 SISTEMA CONTINUO DE GALVANIZACION POR INMERSION EN CALIENTE.	59
2.4. Resistencia a la corrosión del Acero Galvanizado	69
<b>Capítulo 3 PROCESO DE PINTADO CONTINUO DE LAMINA GALVANIZADA</b>	<b>88</b>
3.1 Materia Prima	91
3.2 Tipos y Características de la Pintura	92
3.3 Proceso de Pintado	97

	Pág.
<b>Capítulo 4 PROCESOS EFECTUADOS EN LAMINA GALVANIZADA</b>	<b>105</b>
4.1 Generalidades sobre los ciclos de estampado.	106
4.2 Punzonado o corte	109
4.3 Doblado	114
4.4 Embutición o Estirado	120
4.5 Engargolado	123
<b>Capítulo 5 CONTROL DE CALIDAD</b>	<b>125</b>
<b>Principales Defectos de la Lámina Galvanizada y Pintada</b>	
<b>CONCLUSION</b>	<b>140</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>143</b>
<b>APENDICE</b>	<b>145</b>

## I N T R O D U C C I O N

El acero es sin duda uno de los principales puntos de apoyo para el desarrollo de la civilización moderna, pues combina en un solo material; bajo costo, excelentes propiedades mecánicas y de fabricación y una absoluta disponibilidad. Pero el acero tiene una gran debilidad; se oxida y se corroe muy rápidamente en la mayoría de los ambientes. Las consecuencias de esta corrosión pueden reflejarse en la apariencia, pérdida de fuerza estructural o lo que es peor, en la perforación o desintegración completa.

El acero no tiene todo el mercado para si mismo, existen otros materiales tales como el aluminio, los plásticos y las maderas usadas doquiera que el acero muestre debilidad. -- Afortunadamente existen otros materiales que sirven de aliados al acero y lo protegen contra la dañina corrosión, de no ser así los anteriores materiales le quitarían mucho mercado al acero.

La mejor forma de proteger al acero es recubriendo su superficie con un recubrimiento impermeable para evitar que la humedad o el aire llegue a ella. Existen muchos recubrimientos capaces de proteger al acero de la corrosión. Sin embargo es posible dividir a estos recubrimientos en dos grandes grupos:

- a) Inorgánicos.
- b) Orgánicos.

En el primer grupo los recubrimientos inorgánicos están representados principalmente por metales de bajo punto de fusión y con una extraordinaria resistencia contra el medio ambiente, siendo los más comunes; el zinc, plomo, estaño y el aluminio.

El segundo grupo, los recubrimientos orgánicos consisten en compuestos a base de resinas de tipo orgánico, o pinturas de las cuales existe una gran variedad.

Hoy más que nunca las exigencias en la industria se basan en la calidad del producto y en el tiempo de duración del artículo terminado. Los fabricantes para cumplir este reto están combinando materiales que tengan una mejor resistencia a la corrosión para producir artículos tan comunes como automóviles, aparatos para el hogar, equipo para el campo y edificios industriales, etc.

Uno de los productos que actualmente reciben atención considerable por parte de muchos fabricantes, no es un producto nuevo, sino más bien un producto muy conocido: la lámina galvanizada. El término "Galvanizado" tuvo su origen a principios del siglo XIX cuando los fabricantes de acero, conocedores del principio Galvani por medio del cual los metales activos se sacrifican protegiendo los más nobles cuando ambos están en contacto, encontraron que el zinc era el menos costoso y que se encontraba fácilmente. Concentrándose en el zinc los fabricantes de acero encontraron en unas cuantas décadas un excelente producto que llamaron acero galvanizado, le dieron más importancia, al encontrar que este recubrimiento de zinc protegía el acero aún y cuando el recubrimiento se rasgaba y el acero quedara al descubierto, químicamente las láminas de acero galvanizado producidas eran batería de propia tensión. El recubrimiento de zinc era el ánodo que se sacrificaba y el aire cargado de oxígeno y el agua circulando en la lámina, servía como medio electrolítico y el acero era el cátodo que permanecía sin oxidarse en tanto hubiera zinc sobre la superficie.

Comercialmente, la lámina galvanizada fue un éxito arrollador desde el principio; millones y millones de toneladas de lámina de acero han sido galvanizadas desde entonces combinando la resistencia del acero, con la doble protección del zinc.

## C A P I T U L O I

PROCESOS DE MANUFACTURA:  
ACERACION Y LAMINACION

## 1.1. MATERIA PRIMA

Tres materias básicas intervienen en la fabricación del acero:

- o.- MINERAL DE HIERRO
- o.- MINERAL DE CARBON (COQUE)
- o.- CALIZA

El mineral de hierro es extraído de los yacimientos que lo contienen y llevado a la planta procesadora, allí los grandes trozos de mineral son triturados y convertidos en pequeños fragmentos, las impurezas son quitadas por separación magnética o cualquier otro método. Las partículas así obtenidas tienen un 65% de hierro puro y en esta forma son llevadas hasta las plantas siderúrgicas que lo convertirán en acero.

El hierro necesita de un aliado, el coque, el cual ayuda a generar el tremendo calor y los gases reductores requeridos para la fundición del mineral en el alto horno. El coque proviene del carbón mineral el cual a su vez es extraído de las minas que lo contienen, calentando en largas baterías de hornos verticales, el carbón mineral se convierte en coque.

La tercer materia prima que interviene en la fabrica-

ción del acero: la caliza, también es extraída de sus depósitos naturales y llevadas a las plantas de acero; la caliza sirve, principalmente, para eliminar impurezas del mineral de hierro, ayuda a la formación de escoria, la cual flota en la superficie del metal líquido, siendo así fácilmente eliminada.

Para obtener una tonelada de hierro reducido o arrabio se necesita aproximadamente: 1 1/2 ton. de mineral de hierro, 1/2 ton. de coque, 1/5 ton. de caliza.

Las tres materias primas mencionadas son alimentadas al alto horno por su parte superior. Después de que el mineral de hierro, el coque y la caliza son cargadas dentro del alto horno, la mezcla es fundida en una reacción que produce temperaturas del orden de 1650° C.

Aire precalentado es inyectado al interior del horno provocando la formación de monóxido de carbono (CO).

Este gas actúa como agente reductor extrayendo el oxígeno del mineral de hierro y dejando casi puro el hierro.

El tremendo calor también derrite la caliza, la cual flota en las superficie del hierro líquido y atrae impurezas formando la escoria. En el fondo del horno se acumula el hierro fundido. Cada 4 ó 5 horas, es vaciado en grandes ollas.

El metal fundido (arrabio) es entonces llevado al horno básico de oxígeno o de hogar abierto para el siguiente paso la refinación del hierro, que consiste principalmente en la reducción del sílice, carbón y otros elementos contenidos en el hierro líquido. Esta refinación es efectuada hasta la obtención del acero.

## 1.2. METODO DE OBTENCION DE ARRABIO

### 1.2.1. ALTO HORNO

#### PRINCIPALES PARTES DEL ALTO HORNO

Esquema de la Fig. N° 1.

**TOLVA DE CARGA:** Recipiente metálico colocado en la parte superior del tragante para recibir los materiales de carga del horno.



**TRAGANTE:** Parte superior del horno por donde se introducen las cargas.

**CAMPANAS:** Válvulas de hierro o de acero, colocadas en el tragante para evitar la salida de los gases, permitir la introducción de las cargas y cuando son giratorias su distribución.

**CUBA:** Parte tronco-cónica superior del horno, cuya base mayor colinda con el vientre.

**VIENTRE:** Es la zona de mayor diámetro del horno de forma generalmente cilíndrica situada entre la cuba y el etalaje.

**ETALAJE:** Parte tronco-cónica inferior del horno cuya base menor colinda con el crisol.

**TOBERAS:** Tubos de cobre refrigerados que desembocan en orificios colocados en la parte colindante entre el etalaje y el crisol, por donde se introduce el soplo del aire.

**CRISOL:** Parte cilíndrica inferior del horno, donde se colecta el metal y la escoria líquida; tiene dos orificios uno inferior llamado "Orificio de colada, Piquera" o "sangradero" por donde se extrae periódicamente el arrabio o hierro líquido y otro superior llamado "Escoriadero" o Piquera de escoria por donde se extrae la escoria.

**PIQUERAS DE ESCORIA:** Por donde se extraen estos productos fundidos.

**PERFIL DEL HORNO:** Es su forma interior que hay que considerar cuidadosamente en el diseño del horno.

**VOLUMEN UTIL:** Es el comprendido dentro del perfil desde la solera o piso del crisol hasta la base del tragante, guarda la relación estrecha con la capacidad de producción y se mide en metros cúbicos.

**ANGULOS DE LA CUBA Y DEL ETALAJE:** Son los formados entre líneas respectivas del perfil con la horizontal, se les expresan en grados.

**INTENSIDAD DE COMBUSTION:** Cantidad en kilogramos de coque --

que son quemados en el horno por cada metro cuadrado de área frente a las toberas y por hora es muy importante para calcular la capacidad de producción.

#### PARTES ACCESORIAS

**MONTACARGAS:** Mecanismos para elevar las cargas hasta la tolva de carga sobre el tragante del horno. Los montacargas han venido substituyéndose por un transportador inclinado de banda.

**TOMA DE GASES:** Tubos de extracción de los gases del tragante, para conducirlos al depurador o despolvador. Sistema lavador de gases y colector de polvo, destinados a separar el polvillo de los gases del tragante.

**ESTUFAS O PRECALENTADORES DE AIRE:** Son regeneradores cuyo objetivo es precalentar el aire que se inyecta al horno por las toberas, utilizando los gases que salen del mismo horno, consta de una cámara de combustión en donde se queman los gases con aire y del empilado o emparrillado de ladrillo refractario, donde se realiza el intercambio de calor y formado por numerosos ductos verticales.

Las estufas modernas, con objeto de obtener temperaturas más altas en el aire de combustión del alto horno y en esta forma reducir el consumo de coque y aumentar la productividad, incorporan una cámara de combustión externa, o sea la inyección de combustible ayuda a obtener mayores temperaturas del aire.

Un diseño de este tipo es el "HOOGOSENS", el cual tiene como características especiales el utilizar quemadores verticales bocarriba, el tener un domo superior tipo hongo el cual "flota" con el objeto de que se deslice verticalmente con la dilatación del refractario sin dañarlo y que la bóveda del domo trabaja a la compresión lo que la hace rígida y estable. (Fig. N° 2). La temperatura en el inyector del domo está en el rango entre 1480° y 1590° C.

**TUBOS DE VIENTO:** Tubo colector del aire a presión y caliente. Rodea el alto horno a la altura del etalaje, quedando cerca del vientre.

**SOPLADOR:** Compresor alternativo, o turbo compresor, que suministra el aire a la presión al horno.

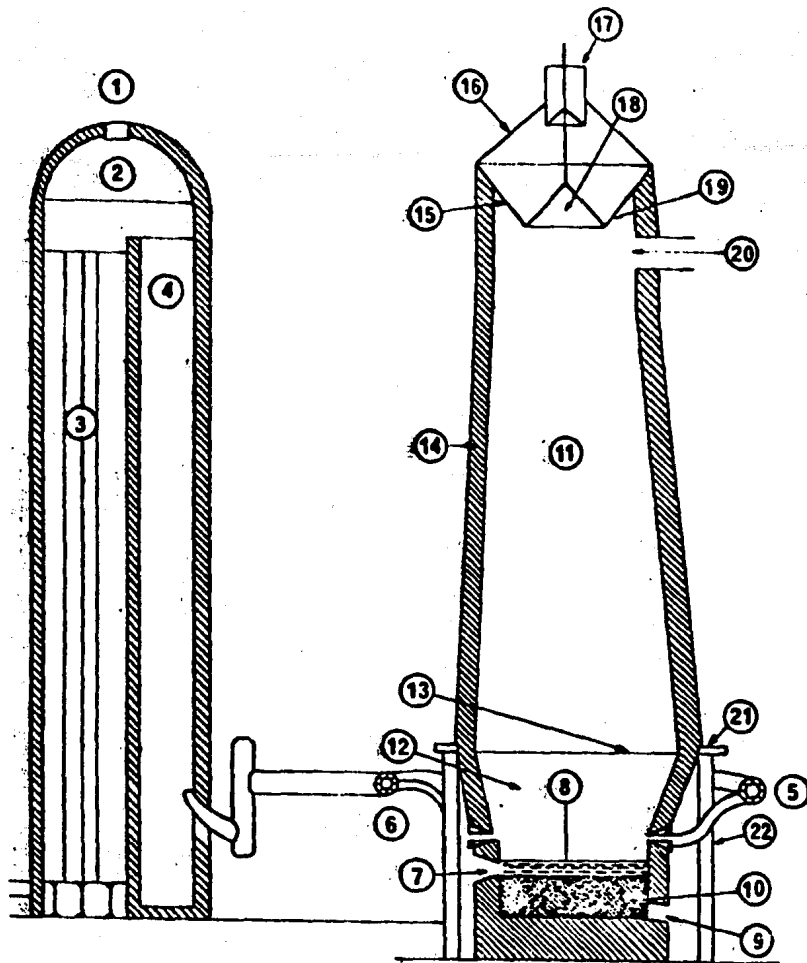


FIGURA No. 1

DIAGRAMA DE UN ALTO HORNO

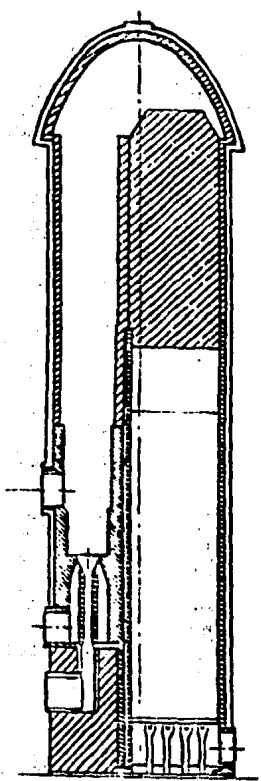
- |                                  |                                 |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 1. Recuperador (Estufa).         | 42. Etalaje.                    |
| 2. Cúpula                        | 13. Ventre.                     |
| 3. Empilado de ladrillo          | 14. Revestimiento refractario.  |
| 4. Cámara de combustión          | 15. Tragante.                   |
| 5. Tubo de viento.               | 16. Tolva de carga inferior.    |
| 6. Toberas.                      | 17. Tolva de carga superior.    |
| 7. Escoriadero.                  | 18. Campana pequeña.            |
| 8. Boquilla de tobera.           | 19. Campana grande.             |
| 9. Orificio de colada (piquera). | 20. Toma de gases.              |
| 10. Crisol.                      | 21. Anillo soporte de la cuba   |
| 11. Cuba.                        | 22. Columna de apoyo de la cuba |

FIGURA No. 2

CORTE DE UNA ESTUFA TIPO HOOGOVEN

Refractarios

-  aislante
-  alúmina
-  sílice



**REVESTIMIENTO REFRACTARIO:** Del horno mismo, de los regeneradores y tubos de conexión. Es hecho en casi su totalidad de ladrillos refractarios Sílico-Aluminios o de carbón en el crisol del horno.

**CAJAS DE REFRIGERACION:** Empotradas en la mampostería refractaria del horno para su enfriamiento y conservación son de cobre puro.

**CAJAS DE TOBERA:** Piezas Tronco-cónicas de cobre refrigerado - donde entran las:

**BOQUILLAS DE LA TOBERA:** También de cobre y fácilmente intercambiable.

**MIRILLAS:** Orificios con un cristal azul de cobalto, en el fondo de la tobera para observar el interior del horno.

**BLINDAJE DEL HORNO:** O casco exterior del mismo hecho de placa de acero soldada o remachada.

**OLLAS DE COLADA (O CUCHARAS DE COLADA):** Recipientes donde se recibe y se transporta el arrabio líquido; son basculantes generalmente se les vacía por el labio (o pico) o van montadas sobre plataformas con ruedas.

**OLLAS PARA ESCORIAS:** Recipientes de hierro o de acero donde se recibe la escoria líquida.

#### MATERIAS PRIMAS PARA EL ALTO HORNO.

Por cada tonelada de arrabio que se sangra del fondo del crisol del alto horno se requiere carga por su boca alrededor de 1600 kgs. de materiales ferrosos entre 434-700 kgs. de coque y cerca de 250-400 Kgs. de dolomita y caliza.

En la parte superior del crisol se requiere, a su vez inyectar entre 2000 y 3000 kgs. de aire precalentado mezclado comúnmente con aceite atomizado, gas natural, gas de coque carbón pulverizado u oxígeno.

Las materias primas que se consumen en el alto horno de

4500 toneladas diarias son aproximadamente:

**MATERIALES:**

Ferrosas            7200 Tons./día.  
 Caliza y Dolomita 1800 Tons./día.  
 Coque                2800 Tons./día.  
 Aire para el soplo 9000 Tons./día.

**FUNCIONES DE LAS MATERIAS PRIMAS**

La misión de los materiales ferrosos es la de proveer el elemento Fe, que representa cerca de 93.5% del arrabio y -- los más utilizados son:

- a). MINERAL DE HIERRO, ya sea en forma de hematita -- ( $Fe_2O_3$ ) magnetita ( $Fe_3O_4$ ) o limunita ( $Fe_3O_3 \cdot X HO$ )
- b). SINTER, que consiste en un aglomerado de minerales de hierro, pulverulentos, que han sido incipientemente fundidos en una parrilla especial empleando finos de coque como combustible y a los que normalmente se les agrega suficientes fundentes finos, para esclareificar la ganga o impurezas contenidas en los minerales y en las cenizas de coque.

La sinterización tiene por objeto utilizar las grandes cantidades de polvos que se producen inevitablemente durante la extracción y trituración de minerales y en las diferentes operaciones de una planta siderúrgica, al no poder ser utilizados en forma de polvos, es necesario aglomerarlos para su aprovechamiento en los altos hornos.

Las principales materias primas necesarias para la formación del Sinter son:

- MINERAL DE HIERRO
- COQUE
- FUNDENTES.

- c). LOS PELETS (O PELLEAS) Aglomeradas a partir de --

concentrados muy finos (menos de 200 mallas) de mineral de hierro a los que se mezclan pequeñas proporciones de aglutinantes como la Bentonita o la cal, que en seguida se ruedan, agregándoles agua si es necesario, hasta alcanzar un valor de 8 a 10% de humedad, en discos o tambores especiales para producir esferas desde 6 hasta 18 milímetros de diámetro. Estas esferas son endurecidas en hornos especiales donde se exponen a la acción del fuego, y se llaman Pélets.

La función del coque, es la de producir el calor necesario para fundir el hierro y la escoria así como para acelerar los procesos químicos y la de proporcionar el carbono que es necesario para desprender el oxígeno contenido en los óxidos de hierro.

El propósito de los fundentes empleados (caliza y dolomita) es el de formar junto con las cenizas del coque y la ganga de la carga ferrosa una escoria fluida de bajo punto de solidificación y de una composición química tal que facilite al máximo la disminución del azufre en el arrabio.

#### PROCESO DEL ALTO HORNO

Comprende las operaciones siguientes:

- Puesta en Marcha
- Encendido
- Carga
- Colada o Sangría (o Picada)
- Descoriado o colada o sangría de escoria.
- Taponado mediante la máquina taponadora, o cañón de codo con bolas de barro.

#### OBSTRUCCION DEL HORNO O ENCAMPANAMIENTO:

- Embancamientos y formación de lodos y de bóvedas.
- Campaña de horno o tiempo de operación hasta su reparación.
- Parada del horno, temporal o definitiva.

- Apagado del horno
- Dinamitado del horno para romper embancamientos y obstrucciones difíciles.
- Formación de "SALAMANDRAS"
- Revestido o reparación del horno.

#### REACCIONES QUIMICAS BASICAS.

Tan pronto como el mineral del hierro se deposita en la boca o tragante del horno, en el extremo superior de la cuba se da origen a dos reacciones con los gases ascendentes:



La intensidad de estas reacciones se incrementa rápidamente conforme los trozos sólidos descienden dentro de la cuba y encuentran gases reductores a mayor temperatura.

#### PRODUCTOS DEL ALTO HORNO

ARRABIO (O HIERRO DE PRIMERA FUSION).- Es el hierro producido por reducción de minerales de hierro en el alto horno.

Por su composición química es un hierro con altos contenidos de carbono (3.0 a 4.5%) y silicio (.5 a 3.5%) y otros elementos como manganeso, fósforo y azufre. Según su composición y destino se les clasifica en:

#### ARRABIO PARA ACERACION O BASICO.

Es el hierro de primera fusión en que la mayor parte del carbono se presenta en forma de carburo de hierro (cementita) al soldificarse el material, el cual presenta la superficie de fractura de color blanco, y se utiliza para convertirlo en acero.



### ARRABIO PARA FUNDICION.

Es el hierro de primera fusión en el que la mayor parte del carbono se separa en forma de grafito al solidificarse el material y que presenta superficies de fractura de color gris, y se utiliza para refundirlo y destinarlo para producir hierro gris.

También suele obtenerse ferromanganeso, ferrosilicio, fundición espeular.

### ESCORIA.

Comúnmente también denominada "grasa" que son los productos no metálicos fundidos.

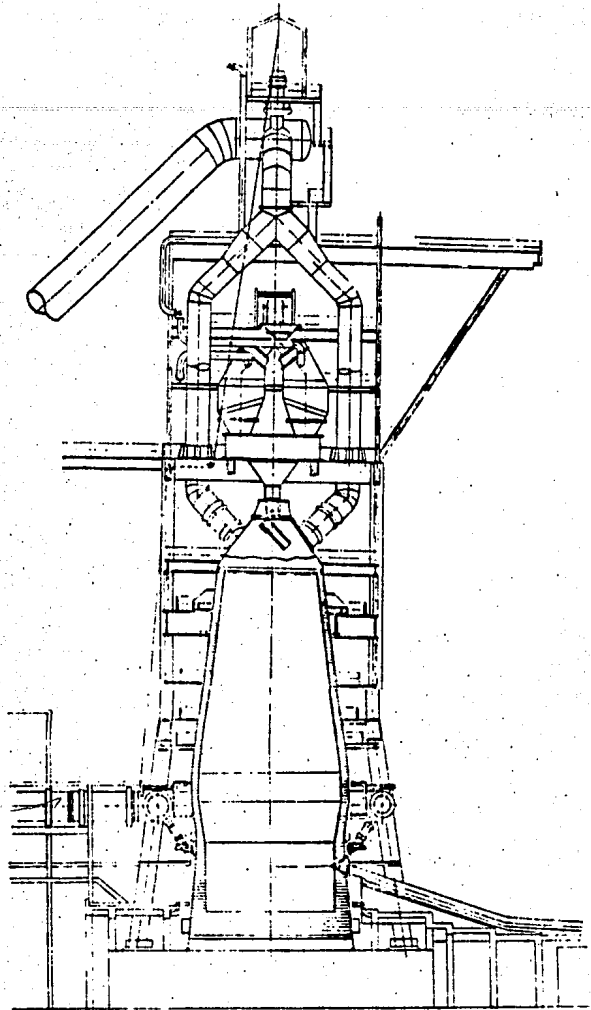
### GAS DE TRAGANTE, O GAS DE ALTO HORNO.

Que sale por el tragante y es usado para el precalentamiento del aire, para generación de vapor como combustible.

### POLVILLO.

Polvo arrastrado por el gas de tragante y que es separado por el depurador y puede ser nuevamente utilizado, ya sea en sinterización o peletización.

Esquema de un alto horno Fig. N° 3.



ALTO HORNO No. 3 INSTALADO EN LA PLANTA DE MONCLOVA DE  
ALTOS HORNOS DE MEXICO, S.A.

Tipo	Autoporado
Volumen útil	2163 metros cúbicos
Capacidad	4500 toneladas/día
Diámetro del Crisol	11.20 metros
Diámetro máximo del vientre	12.30 metros
Diámetro del tragante	8.00 metros
Altura del fondo del crisol al tragante	29.40 metros
Altura total sobre el nivel del piso	85.43 metros
Número de tobernas	28
Tipo de Tragante	Sistema Paul Wurth (sin aspas)
Número de piqueras de hierro	1
Constructor	Devy Ashmore Int.

FIGURA No. 3

### 1.3. OBTENCION DE FIERRO ESPONJA.

#### 1.3.1. PROCESO H Y L

El proceso HYL de reducción directa del mineral de -- hierro desarrollado hace más de 20 años por hojalata y lámina, S. A. permitió la producción de acero en hornos eléctricos a partir de hierro esponja a costos bajos, comparados con el acero hecho a partir de Chatarra y aún del acero hecho por el método tradicional a partir de arrabio.

La escasez de chatarra lo que provoca su elevado costo que se traduce en un alto costo de producción de acero en hornos a partir de esta materia prima, así como la escasez de carbón coquizable la cual ha producido un costo muy elevado, han traído como resultado una ventaja económica para los procesos de reducción directa.

#### VENTAJAS DEL PROCESO HYL.

- Menores costos de producción.
- Uniformidad del producto.
- Disponibilidad de las plantas.
- Flexibilidad para producir la calidad deseada de metalización y carbón.
- Excelentes características tecnológicas de la planta.
- Versatilidad para operar con cualquier calidad de gas.
- Mínima generación de finos.
- No necesita coque.

#### CARACTERISTICAS BASICAS DEL PROCESO

El proceso HYL de reducción directa utiliza una mezcla de gases ricos en hidrógeno y monóxido de carbono, obtenida de la reformación catalítica del gas natural o de cualquier otro hidrocarburo reformable, el cual se mezcla con vapor de agua al entrar al reformador.

El reformador consiste de una serie de tubos de acero inoxidable empacados con un catalizador y calentados exteriormente por fuego directo. Las composiciones típicas del gas natural y del gas reformado se muestran en la fig. N° 4.

El flujo del gas se realiza a contracorriente del flujo del mineral, pues el gas recién reformado se emplea primero en el reactor en reducción primaria y por último en el reactor recién cargado en etapa de calentamiento y reducción secundaria.

En una planta HYL se utilizan 4 unidades reductoras, tres de las cuales se encuentran en una línea y la cuarta en maniobras de carga y descarga, para no interrumpir el flujo de gas a través del mineral. (Ver figura N° 5).

Cabe mencionar que el gas reformado antes de entrar a los reactores en etapa de reducción es precalentado por combustión de los gases residuales de la planta.

Una característica única del proceso HYL es que al entrar el gas al reactor se le añade una pequeña cantidad de aire caliente, originando la combustión de los hidrocarburos remanentes que eleva la temperatura del gas al máximo posible, aumentando así la eficiencia de reducción y la cantidad de transferencia térmica de los gases. La mayor eficiencia de reducción al elevar la temperatura, puede apreciarse en la curva de equilibrio mostrada en la figura N° 6.

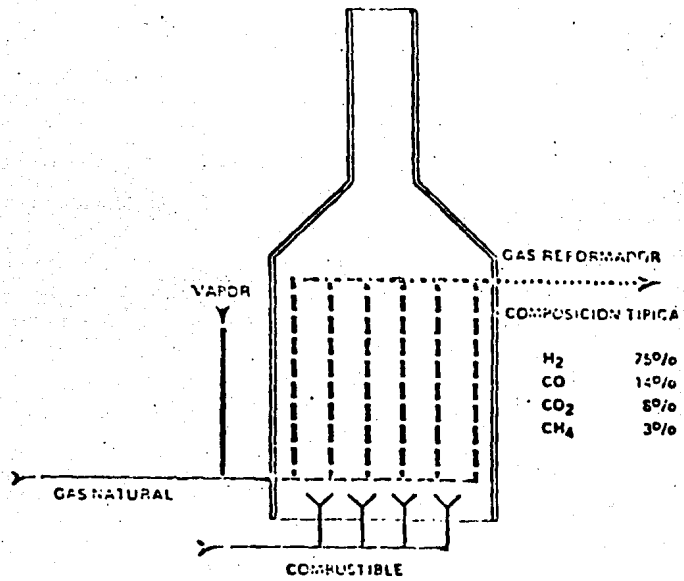
Al salir el gas del reactor se enfría para eliminar el agua formada durante la reducción resultante de la reacción del hidrógeno con el oxígeno removido.

El gas de deshecho de la reducción se utiliza como combustible en los diferentes sistemas calefactores, y para la generación de vapor de agua, tanto para el proceso en sí, como para la alimentación de turbinas de vapor empleadas para mover los sistemas mecánicos de la planta, reduciéndose así al mínimo los requerimientos de energía eléctrica. Esto hace a la planta más confiable y autosuficiente, eliminando las posibles demoras por fallas en la alimentación eléctrica.

El hierro esponja producido se descarga frío a una banda transportadora que lo lleva a una tolva con capacidad inferior a un día de producción para fines de homogeneización y almacenamiento de donde se envía a las acererías o al lugar de utilización.

Figura 4

COMPOSICION TIPICA DE LOS GASES



H <sub>2</sub>	75%
CO	14%
CO <sub>2</sub>	8%
CH <sub>4</sub>	3%

MONTERREY PUEBLA

METANO	56.57 %	93.5 %
ETANO	7.59 %	5.4 %
PROPANO	0.12 %	0.7 %
BUTANO Y		
OTROS	0.01 %	0.4 %
CO <sub>2</sub>	0.40 %	
N <sub>2</sub>	0.31 %	
LICUABLES	0.04 %	
PELLO ESPECIFICO	.574 Kg/m <sup>3</sup>	.594 Kg/m <sup>3</sup>
PODER CALORIFICO	8025 KCal/m <sup>3</sup>	8057 KCal/m <sup>3</sup>

FIGURA 5  
REPRESENTACION ESQUEMATICA  
PROCESO HYL

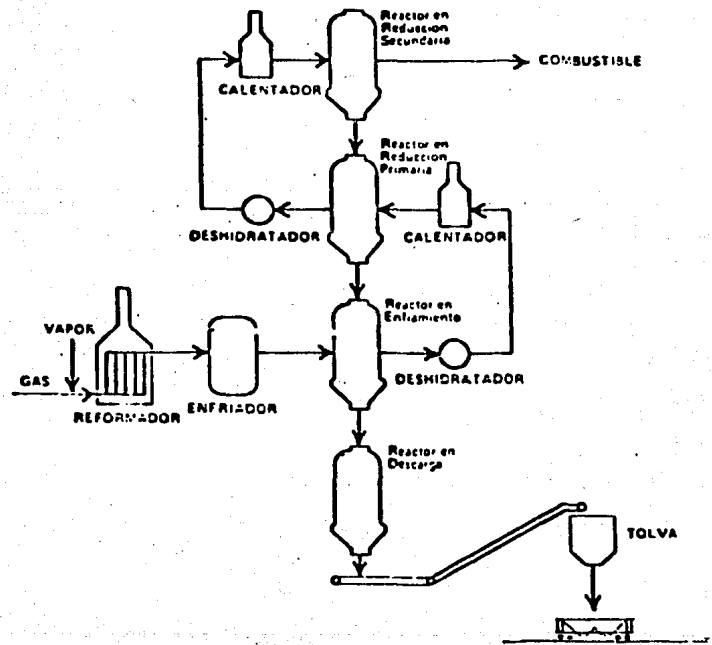
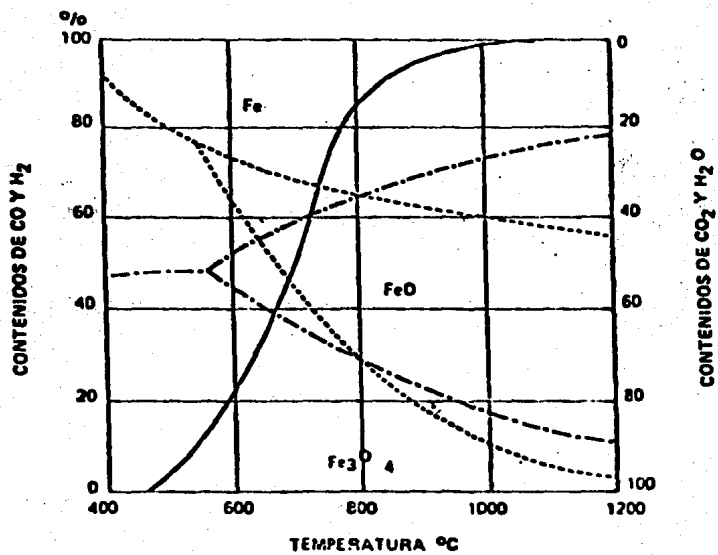


FIGURA No. 6

CURVA DE EQUILIBRIO PARA  
REDUCCION CON  $H_2$  Y  $CO$ .



- - - - - Fe·O·H  
 - - - - - Fe·O·C  
 ——— CURVA DE BOUDUARD

por lo que se tiene una operación bastante dependible en el reformador y una larga vida de los tubos de acero inoxidable. Como otra ventaja de esta forma de flujo del gas, en el proceso HYL se tiene flexibilidad para operar con minerales de alto contenido de azufre.

**FLEXIBILIDAD PARA OPERAR A CUALQUIER METALIZACION.**- Siendo la metalización una función del tiempo de residencia del material en el reactor, puede variarse este concepto a voluntad con solo variar el tiempo de duración de las etapas de reducción. El proceso HYL opera con metalizaciones desde 82% hasta 94%.

**CONTROL DE CARBON.**- El proceso de deposición de carbón se realiza en la etapa de enfriamiento. La carburación se puede controlar a voluntad, controlando las condiciones durante el enfriamiento, para ajustarla a nivel de metalización, de tal manera que se tenga un hierro esponja óptimo para la acería, donde el contenido de carbón sea el adecuado para combinarse con el oxígeno residual en el hierro esponja.

Además este carbón se deposita en su totalidad (96 a 97%) en forma de carburo de hierro ( $Fe_3C$ ), permitiendo su mejor aprovechamiento en la acería al liberar calor en la separación del carbón del hierro.

En el proceso HYL se puede controlar el carbón entre límites de 1.0 a 2.5% independientemente del grado de metalización.

#### CARACTERISTICA DEL FIERRO ESPONJA HYL.

##### 1) QUIMICAS

Metalización	(%)	85.0
Fierro total	(%)	87.0
Ganga	(%)	4.3
Cal (agregado)	(%)	1.9
Oxígeno	(%)	3.7
Carbón	(%)	2.3



## 2) FISICAS:

Peso volumétrico	(Ton/m <sup>3</sup> )	1.6
Densidad aparente	(Ton/m <sup>3</sup> )	2.6
Esfuerzo de la compresión	(Kgs.)	50

## GRANULOMETRIA:

- 7/8"	+ 7/8"	1%
- 5/8"	+ 5/8"	48%
- 3/8"	+ 3/8"	34%
- 1/4"	+ 1/4"	7%
- 3/16"	+ 3/16"	5%

## EMPLEOS DEL FIERRO ESPONJA

El producto de la reducción directa del mineral de -- hierro constituye una materia prima técnicamente apta para la producción de arrabio de acería, arrabio de fundición y acero.

## EMPLEOS EN HORNOS DE ARCO:

Para esta aplicación es deseable un contenido de hierro sobre 93%, en vista de su influencia en el consumo de energía eléctrica. Reemplaza con ventaja a la chatarra por su pureza, particularmente para la fabricación de aceros finos y especiales.

Una característica del hierro esponja la constituye su adaptabilidad al sistema de carga continua del horno.

La constancia en análisis químico del hierro esponja es otra ventaja de éste sobre la chatarra, porque permite simplificar el afino.

## EN ALTOS HORNOS:

Su empleo produce 2 efectos beneficiosos:

Incremento de la productividad y disminución del consumo específico del coque. Los resultados de numerosas experiencias se alinean en promedios de aproximadamente 0.7% de mayor productividad y 0.5% de menor consumo de coque por cada por ciento de aumento en el grado de metalización de las cargas.

El hierro esponja al emplearse en altos hornos no necesitan satisfacer exigencias tan grandes como las que debe cumplir los destinados a los hornos de aceración.

#### EN HORNOS ELECTRICOS DE REDUCCION:

Puesto que en estos hornos, por ser de cuba baja, no tienen lugar la preredución que se efectúa en la cuba del alto horno, en el efecto del empleo de hierro esponja es más notable aún.

Puede llegarse a 0.5% en la reducción del consumo de energía eléctrica y entre 0.8 y 1.0% la reducción del consumo de coque por cada por ciento de aumento en el grado de metalización de la carga. Este significa que, con hierro esponja de 90% de metalización, por ejemplo podría incrementarse en 50% la productividad de los hornos eléctricos de reducción.

#### 1.4. A C E R A C I O N

Acero primario es el que se produce por afinación (aceración) del arrabio o hierro esponja. Los procesos actualmente usados, el acero se obtiene líquido y es utilizado de las siguientes formas:

- En el estado líquido original para procesos subsiguientes.
- Vaciado en lingoteras para obtener lingotes.
- Vaciándolo en colada continua para obtener productos semiacabados.
- Vaciado en moldes para obtener piezas moldeadas (acero colado).

Los procesos usuales para producir el acero primario, o proceso de afino o aceración son los siguientes:

- En convertidor.

- En horno de reverbedero o de hogar abierto.  
(Siemens-Martin)
- En hornos eléctricos de arco o de inducción.

En la mayoría de los procesos de aceración se utiliza pedacería de acero o hierro destinada a ser refundida (chatarra).

Los refractarios utilizados en los revestimientos de hornos, ollas, chimeneas para estar en contacto con el metal fundido, escoria y gases soportando temperaturas hasta 1850° C

Químicamente se pueden clasificar en:

- Refractario ácidos, como es el sílice.
- Refractarios básicos, como es la magnesita.
- Refractario Neutros, como es la cromita.

Desde el punto de vista de materias primas utilizadas en los refractarios se pueden clasificar en:

- Sílice
- Alta alumina
- Barros Refractarios
- Magnesio - silicato
- Magnesia - Cal
- Cromita, y
- Carbón.

Algunos refractarios se utilizan en su estado natural pero la mayoría son procesados beneficiando las materias primas y mezclándolas.

Los ladrillos o tabiques se obtienen por prensado o extrusión utilizándose en algunos casos aglutinantes.

### 1.4.1. CONVERTIDORES

El proceso consiste en la afinación de arrabio líquido en recipientes en forma de pera, llamados convertidores, mediante soplo de aire, de oxígeno, de mezclas de ambos a través del metal o superficialmente en forma lateral, o verticalmente por arriba.

También se usan mezclas de vapor de agua y de oxígeno y de anhídrido carbónico y oxígeno con medio de soplo.

De acuerdo con estos medios de inyección los convertidores se clasifican en:

- 1) Soplo por fondo.
- 2) De soplo lateral.
- 3) De soplo por arriba.

En los dos primeros casos los orificios usados para introducir el aire común o enriquecido se llaman "toberas" y en el tercero que se limita al uso del oxígeno se emplea un tubo refrigerado que entra por la boca (lanza).

Los procesos de aceración llevados a efecto en los convertidores, son ácidos o básicos, según la naturaleza de su revestimiento refractario.

En los ácidos el material refractario es de sílice y en ellos se trabaja con escoria ácida.

En los básicos el refractario es la magnesita o de dolomita y la escoria es básica a base de cal.

El proceso ácido es conocido generalmente con el nombre de "BESSEMER" y el básico con el de "THOMAS", "B.O.F." o "L.D."

Actualmente se utiliza comercialmente sólo el último.

Durante el proceso se distinguen los períodos siguientes:

1. Carga de arrabio y chatarra.
2. Fusión de la carga sólida.
3. Ebullición con minerales y oxidación.
4. Ebullición con caliza o cal.
5. El descoriado o extracción de la escoria.
6. Interrupción de la ebullición, llamado "Bloqueo -- con desoxidantes.
7. Desoxidación o afinación final con recarburación - eventual.
8. Prueba de la temperatura del acero por pirómetro o espectrómetro.
9. Colada, verter el acero del horno a la olla de colada, puede efectuarse la desoxidación en la olla con ferro aleaciones y aluminio.
10. Vaciada, verter el acero a las lingoteras o a los moldes.

#### PROCESO B.O.F. (Horno básico de oxígeno) Fig. N° 7.

Utiliza un recipiente cilíndrico de acero, convertidor cerrado en el fondo con un casquete y rematado en el extremo superior por un cono troncado que cuenta con una boca concéntrica de diámetro menor que el del cilindro.

Interiormente se coloca un forro refractario tipo básico, generalmente de magnesita o dolomita.

El arrabio en el alto horno consiste predominantemente del elemento Fe, combinado con otros elementos, siendo los más usuales: carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio.

Durante la refinación del arrabio, para su conversión a acero. Los cinco elementos antes mencionados deben ser removidos drásticamente, empleándose básicamente mecanismos químicos de oxidación y promoviendo para la remoción de azufre y del fósforo la formación de una escoria de naturaleza básica que permite su eliminación.

La carga metálica para realizar una colada de acero -

en un convertidor con oxígeno, en un tiempo que varía entre 45 y 55 minutos, consiste esencialmente de aproximadamente 75% de arrabio líquido y 25% de chatarra así como cantidades menores de mineral de hierro usado principalmente como refrigerante. - Para refinarla se procede a oxidar las impurezas o elementos indeseables en el arrabio y en la chatarra, haciendo inducir sobre la superficie líquida del metal contenido en el convertidor uno o varios chorros de oxígeno a alta velocidad. Se emplea para ello una lanza tubular enfriada por agua, con movimientos verticales ascendentes y descendentes que se introducen a través de la boca del convertidor para ser centrada sobre la superficie expuesta.

Las adiciones (fundentes) tales como la cal, el espato-fluor, la cal dolomítica y la cascarilla de laminación se agrega oportunamente en cantidades adecuadas por la boca del convertidor.

La distancia entre la nariz de la lanza y el líquido metálico es regulable a lo largo del proceso de inyección del oxígeno de acuerdo con los requerimientos metalúrgicos del proceso. La fuerza con que se proyecta el chorro de oxígeno hace que este desplace la escoria lateralmente, para establecer un contacto íntimo con el metal líquido dando lugar a una zona de intensa ebullición donde se registran temperaturas, del orden de 3000° C, originadas por las intensas reacciones exotérmicas que se desarrollan durante la oxidación de las impurezas contenidas en el arrabio y la chatarra.

#### DESCRIPCION DE LA OPERACION

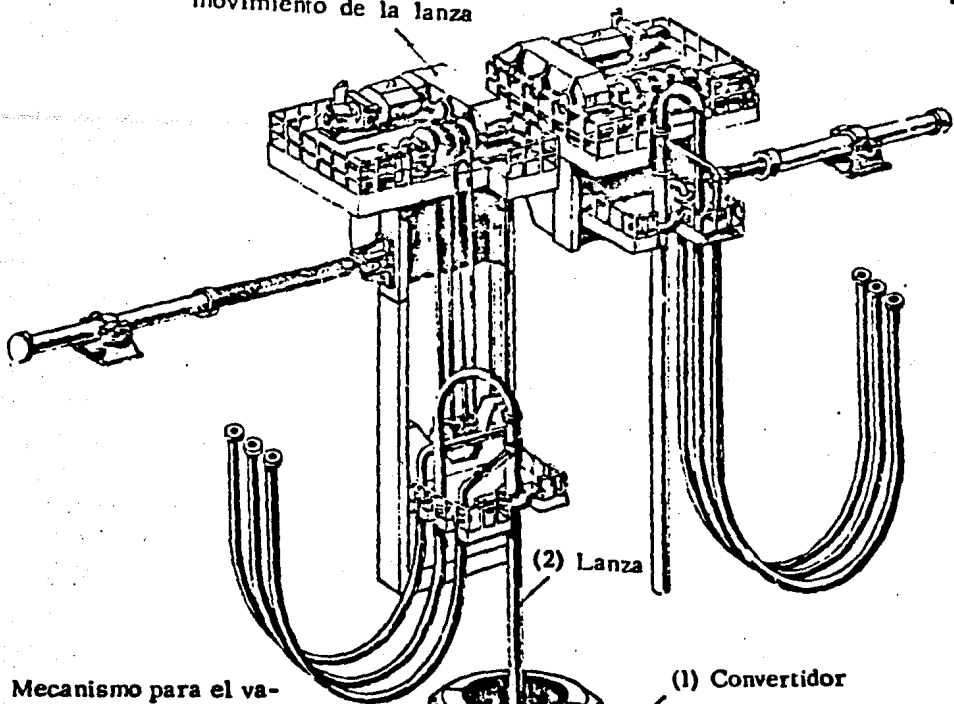
##### Diagrama de Flujo N° 8

Las cantidades mínimas de chatarra y de arrabio necesarias para una colada deben siempre estar preparadas con anticipación, siendo determinados los pasos finales mediante cómputo, en función del análisis final del acero deseado, y de la temperatura y análisis químico del arrabio líquido a utilizarse.

Igualmente se calcularán los pesos requeridos de los diversos fundentes y del mineral de hierro, así como la cantidad de oxígeno que se soplara para colada.

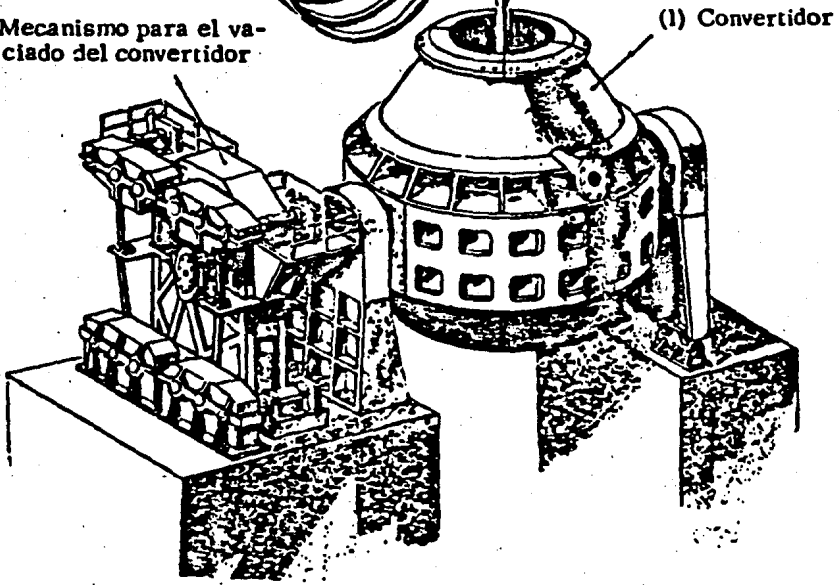
La operación se inicia volcando dentro del convertidor inclinado, el contenido de la caja para la chatarra (9), -

Mecanismo para el movimiento de la lanza



(2) Lanza

Mecanismo para el vaciado del convertidor



(1) Convertidor

FIGURA No. 7

CONVERTIDOR BOF

trás lo cual se gira el convertidor para que caiga y se deposite la chatarra en su fondo. En seguida vuelve a inclinarse el convertidor para que la grúa que transporta el arrabio líquido en la olla de transferencia (5) vacíe su contenido dentro del convertidor (1).

El convertidor es girado inmediatamente a su posición vertical, haciéndose descender la lanza del oxígeno (2) y dándole inicio al soplo de un chorro de oxígeno inyectado a alta presión (6 a 15 atm) - por medio de un tubo refrigerado por agua (2) que se encuentra instalado sobre el convertidor y directamente en la boca del mismo. Este tubo llamado lanza está provisto de un movimiento descendente que le permite situarse a corta distancia de la superficie metálica (1 ó 2 cm.) para que al iniciarse la inyección del oxígeno, éste penetre en la carga metálica. La distancia de la lanza a las superficie del metal dependerá de las condiciones de refinación.

El oxígeno así inyectado forma un cráter y por las reacciones que ahí se originan se alcanza una temperatura alrededor de 3000° C. Las variaciones de esta temperatura ocasionan una efervescencia en el metal que conjuntamente con el desprendimiento de monóxido de carbono (CO) contribuyen a la mezcla de metal escoria, ocasionando con esto una aceleración en la refinación.

En este punto se iniciará la adición de fundentes albaño desde las tolvas de carga (16) las cuales cuentan con un sistema electrónico que pesa la carga e imprime el peso, a través de un conducto tubular que incide sobre la chimenea recolectora de los humos.

Los disparos de metal y escoria que se suceden en la zona de choque del oxígeno, están formados por hierro, óxidos de hierro y por los óxidos de las impurezas del arrabio. Al proceso se le agrega cal, y forma un líquido espumoso que estos óxidos para dar forma a una escoria fluida y altamente reactiva que favorece la buena desulfuración y desforación del metal. Esta escoria por razones metalúrgicas, da origen a un abundante espumado que ocupará gran parte del volumen del convertidor, circunstancia que caracteriza al proceso.

Quando se haya terminado el soplo, de acuerdo con los cómputos previstos, se retira la lanza y se inclina el convertidor en sentido opuesto al de la piquera para acero, cerca de su posición horizontal, con el objeto de obtener una muestra del acero para su análisis químico, así como la determinación-



de su temperatura mediante un pirómetro de inmersión. Dentro de un lapso no mayor de dos minutos un espectrómetro al vacío proporcionará el análisis de los elementos que interesan en el acero (carbono, fósforo, azufre, etc.).

Finalmente, una vez que exista la certeza de qué análisis temperatura son los adecuados, se hará girar para que la piqueta para acero quede en la parte inferior, se proceda a colar el acero sobre la olla correspondiente. (18).

La operación final al terminarse de desalojar el acero, consistirá en girar el convertidor en sentido contrario para vaciar la escoria en la olla respectiva (21) y colocar el convertidor en seguida en posición de recibir la próxima carga.

La duración total del proceso es de 16 a 20 minutos y el tiempo de colada a colada oscila entre 40 y 45 minutos.

Los gases producidos durante el proceso son colectados por una chimenea que se encuentra exactamente sobre la boca del convertidor, una vez depurados son enviados a la atmósfera.

El acero procesado en el convertidor se vacía en una olla en la que se adicionan las ferroaleaciones necesarias según el tipo de acero a obtener.

#### 1.4.2. HORNOS ELECTRICOS DE FUSION.

Se clasifican en:

- HORNOS DE RESISTENCIA.
- HORNOS DE ARCO DIRECTO.
- HORNOS DE ARCO INDIRECTO.
- HORNOS DE INDUCCION:
  - a) Baja frecuencia generalmente con núcleo.
  - b) Alta frecuencia, sin núcleo.

#### HORNOS DE RESISTENCIA.

Los hornos de resistencia para fundir acero usan --

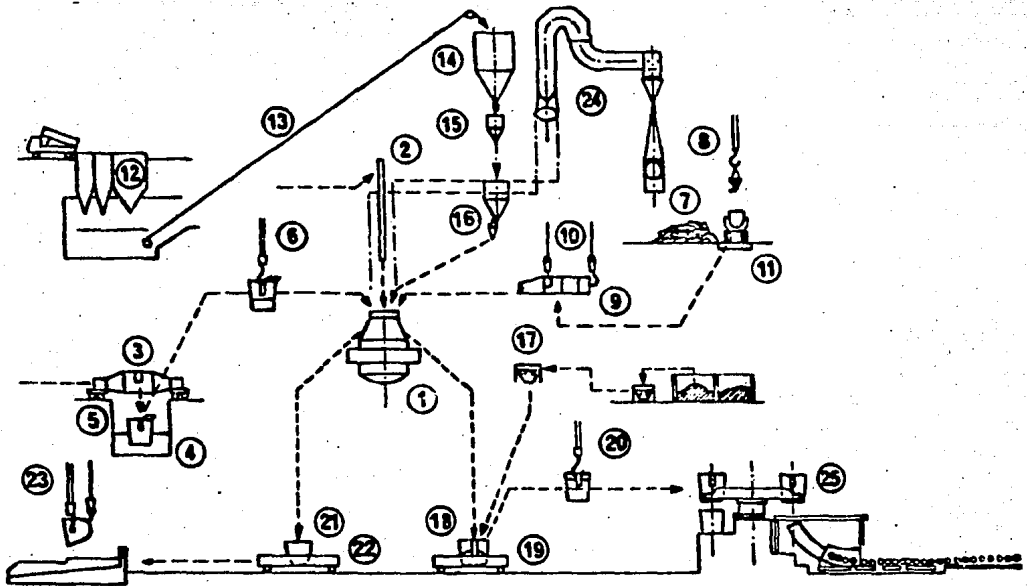


FIGURA No. 8

## DIAGRAMA DE FLUJO EN UN TALLER DE ACERACION BOF

- |   |  |
|---|--|
| 1. Convertidor.                         | 14. Tolvas de consumo diario de adiciones. |
| 2. Lanza de oxígeno                     | 15. Tolva dosificadora.                    |
| 3. Carro transportador de arrabio.      | 16. Tolva de carga.                        |
| 4. Báscula de arrabio.                  | 17. Cajas para ferroaleaciones.            |
| 5. Ollas de arrabio.                    | 18. Ollas de acero.                        |
| 6. Grúa para carga de arrabio.          | 19. Carro transportador para acero.        |
| 7. Patio de chatarra.                   | 20. Grúa de colada.                        |
| 8. Grúa del patio de chatarra.          | 21. Ollas de escoria.                      |
| 9. Cajas para chatarra.                 | 22. Carro transportador de escoria.        |
| 10. Grúa para carga de chatarra.        | 23. Grúa de patio para escoria.            |
| 11. Báscula para chatarra.              | 24. Sistema depurador de gases.            |
| 12. Tolvas subterráneas para adiciones. | 25. Máquina de colada continua.            |
| 13. Transportador de banda.             |  |

barras horizontales de grafito como resistencia, siendo de forma rectangular. Los pequeños de hasta una tonelada de cupo, - cilíndrica los mayores de hasta 2 a 3 toneladas de capacidad.

#### HORNOS DE ARCO DIRECTO.

Estos hornos son los más utilizados para producir acero, y utilizan electrodos verticales de grafito, de carbón --- amorfo, o de pasta de carbón, en número de 2 si los hornos son monofásicos o bifásicos, lo cual queda limitado a los pequeños de menos de 500 kgs. de cupo, y de 3 ó 6 en los trifásicos.

En estos hornos el arco salta entre los electrodos y el metal, por lo cual habiendo circulación de corriente a través del metal, al calentamiento por los arcos se agrega el producto por la resistencia del propio metal.

Las partes esenciales en estos hornos son:

- El casco de lámina o placa de acero (palastro)
- La bóveda o tapa formada por un anillo de lámina de acero y ladrillo refractario.
- Los porta electrodos que constan de dos postes o columnas verticales, los brazos horizontales y las mordazas o portaelectrodos que sujetan los electrodos.
- El mecanismo de volteo.
- Las puertas de carga y de trabajo.
- La canal de colada.
- El equipo eléctrico que comprende:
  - a) Los disyuntores e interruptores de corriente.
  - b) Los tableros con los aparatos de medición de control automático.
  - c) Transformadores de voltaje.
  - d) El sistema de regulación del arco, manual o automático pudiendo ser eléctrico, hidráulico, magnético o mixto.
- En su interior el horno comprende las partes siguientes:
  - a) La solera o piso.
  - b) El crisol.

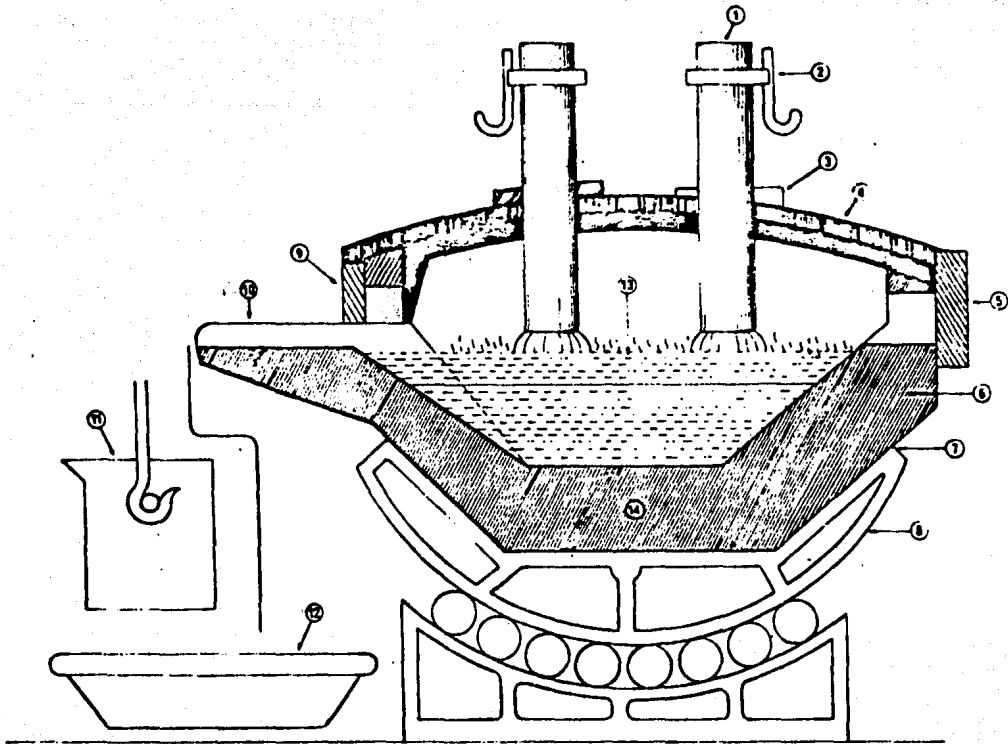


FIGURA No. 9

## ESQUEMA DE UN HORNO ELECTRICO DE ARCO

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. Electrodos.                           | 8. Cremallera de volteo. |
| 2. Mordaza y portaelectrodo.             | 9. Pared lateral.        |
| 3. Boquilla de electrodo.                | 10. Canal de colada.     |
| 4. Bóveda.                               | 11. Olla de colada.      |
| 5. Puerta de trabajo                     | 12. Caja de escoria.     |
| 6. Revestimiento refractario del crisol. | 13. Baño líquido.        |
| 7. Casco de lámina.                      | 14. Piso o solera.       |

- Los electrodos de grafito, o de carbón amorfo, se unen entre si mediante espigas roscadas (Niples o coples).
- El revestimiento refractario del horno puede ser:
  - a) Básico: de magnesita, cromomagnesita y dimelita.
  - b) Acido: de sílice.
 Figura N° 9.

#### HORNOS DE ARCO INDIRECTO.

Se diferencia de los anteriores en la posición de los electrodos que es horizontal o inclinada y en que el arco salta sólo entre ellos, realizándose el calentamiento por radiación.

No son usuales en la industria siderúrgica por el fuerte desgaste de refractario, y están limitados a pequeñas cantidades.

#### HORNOS DE INDUCCION

En los hornos de inducción el calentamiento del metal se efectúa por la resistencia que ésta presenta al paso de la corriente alterna inducida en el metal dentro de un crisol, -- por una o varias bobinas primarias inductoras.

En los de baja frecuencia puede o no existir un núcleo.

Además suelen tener un canal inferior o lateral que conecta con el crisol, el cual siempre se mantiene lleno con metal líquido.

Los hornos de inducción de alta y media frecuencia no requieren núcleo ni canal con metal fundido como los anteriores.

La bobina primaria es tubular, va refrigerada y enrollada alrededor del crisol.

El equipo eléctrico requiere un grupo motor generador

de alta frecuencia, y además un equipo de condensadores para regular la corriente, aparte del transformador para reducir el voltaje.

Este tipo de hornos se emplea de preferencia para la producción de aceros y aleaciones especiales.

Cabe mencionar que recientemente se viene fundiendo acero en hornos de arco o de inducción, al vacío, para obtener acero al carbón o aleados de alta calidad.

#### PROCESO A SEGUIR EN LOS HORNOS ELECTRICOS

##### 1) BASICO:

En éste se pueden efectuar las siguientes variantes:

- Con dos escorias. La primera negra y oxidante y la otra blanca o reductora.
- Con una sola escoria negra oxidante.
- Con una sola escoria blanca o gris reductora.

Cuando se trabaja con dos escorias, la primera es totalmente extraída antes de hacer la segunda.

La operación de descoriado se hace después del período oxidante cuyos objetivos son fundamentalmente:

- a) La descarburación y ebullición que al mismo tiempo realiza la desgasificación y homogeneización del acero.
- b) La desfosforación.

En el segundo período y bajo la escoria blanca se efectúa la desoxidación y la desulfuración, así como la adición eventual de aleaciones y ferroaleaciones y el ajuste del análisis químico.

El colado se hace basculando al horno.

El proceso ácido se trabaja con una sola escoria, ne-

gra y oxidante, en la primera fase del proceso, para descarburar, desgasificar y homogeneizar, y verde clara desoxidante en la segunda fase o final, hay que evitar en ésta, la reducción del silicio o "sobredesoxidación".

A los aceros producidos en estos procesos suelen denominárseles aceros básicos o ácidos de acuerdo con el proceso usado.

#### 1.4.3. PROCESOS SIEMENS MARTIN O DE HOGAR ABIERTO.

Consiste en la afinación del arrabio y la fusión de Chatarra en hornos de reverbedero, también llamado de hogar abierto para la producción de acero, oxidando las impurezas mediante mineral de hierro o por inyección de oxígeno.

El calentamiento de estos hornos se efectúa mediante combustibles gaseosos o líquidos naturales o artificiales inyectados a presión por medio de inyectoras (Quemadores), y pulverizados con aires y vapor.

Los regeneradores son aparatos intercambiadores o acumuladores del calor, consistentes en recintos, conteniendo un emparrillado de ladrillo refractario y trabajando alternadamente a calentamiento o enfriamiento.

Los hornos de hogar abierto, pueden ser fijos o basculantes, estos últimos, pudiendo inclinarse. El proceso de aceración en estos hornos pueden ser básico o ácido, según se requiera o no eliminar el fósforo y azufre.

Como en la gran mayoría se hace necesario dicha eliminación, el proceso más usado es el básico y el producto así obtenido se denomina "Acero Básico" el cual se define como el acero que procede de un horno con recubrimiento básico y fabricado bajo un escoria preponderante básica y el acero ácido es el que procede de un horno con recubrimiento ácido fabricado con escoria preponderante, ácida.

El refractario usado en los hornos básicos, es ladrillo de magnesita y de cromo-magnesita, así como magnesita y dolomita granulados. Los ladrillos pueden ser cocidos o sólo comprimidos dentro de cajas de lámina o aglutinados químicamente.

Los hornos básicos suelen tener la bóveda ácida o ser totalmente básicos.

El horno de hogar abierto llegó a producir la mayor parte del acero en el mundo hasta la primera mitad de este siglo.

A partir del desarrollo del proceso B.O.F. empezó a ser desplazado y cada vez es menor su participación en la producción total de acero.

### 1.5. LAMINACION

Tiene por objeto adelgazar y estirar el acero caliente o frío, pasándolo entre rodillos que giran en sentidos opuestos y pueden tener o no canaladas o ranuras, denominadas-calibres.

Los rodillos o cilindros de laminación van montados en bastidores llamados castillos. Un conjunto de castillos se llama un tren de laminación.

Los castillos pueden tener:

- Dos rodillos (Dúos)
- Tres rodillos (Tríos)
- Cuatro rodillos (Tetra o Dobles Dúos)
- Más de cuatro rodillos (Múltiples).

Todos estos rodillos giran y el acero pasa entre ellos por sus canaladuras en el caso de los dúos o tríos. En los otros castillos sólo entre dos de los rodillos pasa el acero y se llaman de trabajo, mientras sobre éstos apoyan otros de mayor diámetro, que se denominan de apoyo o respaldo.

### PARTES PARA TRENES DE LAMINACION

Los bastidores que contienen los engranes para transmitir el movimiento a los rodillos son llamados: Castillos de engranes o cajas de piñones.



- Los apoyos de los engranes están formados por: las portachumaceras y las chumaceras o cojinetes.
- Rodillos de laminación.
- Los rodillos y engranes se acoplan entre si mediante los manguitos de acoplamiento, coples o uniones; dentro de ellos están los machos o árboles de acoplamiento.
- Otros aditamentos de los trenes laminadores:
  - Guías.- que facilitan la entrada y salida del material.
  - Repetidores.- que guían el material que se está laminando para volver entrar entre los rodillos.

#### DESCRIPCION DEL PROCESO DE OBTENCION DE LAMINA

Los lingotes producidos en la aceración se carga en hornos, donde reciben un calentamiento gradual uniforme hasta obtener la temperatura requerida (1150° C) para su reducción.

**MOLINOS CALIENTES.-** Durante la operación de reducción seccional del acero en caliente (laminado) se aprovechan las características plásticas que presenta a alta temperatura esta operación se efectúa progresivamente en el molino de desbaste y el molino de acabado.

El molino de desbaste, auxiliado por el molino vertical (calentador), trabaja el lingote previamente calentado en los hornos (puede ser tipo fosa) hasta una temperatura de 1150° C, y en reducciones sucesivas se obtiene un planchón de espesor que varía de 12.6 a 25.4 mm. (0.5" a 1").

Dada la elevada temperatura del acero en ambos molinos durante su rolado, se forma óxido en la superficie que se elimina en distintas fases del proceso mediante estaciones des-cargadoras utilizando agua y vapor a alta presión.

El planchón obtenido en el molino de desbaste pasa el molino de acabado donde continúa su reducción. Este molino por la longitud de la cinta así como la caída de temperatura del acero, cuenta en ambos lados con hornos enrolladores, cuyo objeto es mantener su temperatura arriba del punto crítico necesario para continuar su reducción en el calibre. El molino-

de acabado transforma el planchón en una banda de espesor variable hasta 1.21 mm. (0.085"). Una vez terminada su reducción se envía a los enrolladores pasando previamente por estaciones de enfriamiento, en las cuales se controla su estructura interna, de acuerdo con el proceso posterior o uso a que se destine como lámina rolada en caliente.

Durante todo el rolado en caliente se controla estrictamente la temperatura del acero, que es importante no sólo para mantener la plasticidad necesaria en su rolado, sino también para impartirle por medio del control de su estructura interna las características físicas requeridas en la lámina.

**DECAPADO.-** Debido a la alta temperatura del rolado en los molinos calientes, la banda de lámina se ve afectada en su superficie por una capa de óxido, la cual debe ser eliminada para poder continuar su reducción en frío o bien la obtención de lámina rolada, en caliente.

Para eliminar esta capa de óxido se utiliza una línea de decapado, descargadores mecánicos y soluciones de ácido sulfúrico a diferentes concentraciones y temperaturas. A la salida de la línea de la banda de acero pasa por tanques de enjuagado, secadores y después de una completa inspección de superficie, dimensiones y dureza, es enrollada.

**MOLINOS FRIOS.-** Reciben este nombre debido a que reducen en frío por medio de presiones y tensiones combinadas el espesor de la banda producida en los molinos calientes. Para efectuar esta operación se pueden utilizar molinos reversibles.

Debido a las altas presiones de los rodillos sobre la banda de acero y para evitar el aumento de temperaturas por fricción se utiliza una solución a base de aceite soluble que cubre totalmente la sección de trabajo durante el proceso.

El laminado en estos molinos sigue reglas precisas respecto al porcentaje de reducción de la banda. Esta reducción en frío modifica completamente la estructura interna del acero y su restitución posterior en el tratamiento térmico está directamente relacionada con el tipo de acero, porcentaje de reducción en frío y el uso final de la lámina.

**LINEA LAVADORA.-** Previo al tratamiento térmico necesario para restaurar las características de ductilidad del acero rolado en frío, la lámina pasa por la "línea lavadora", donde por me-

dio de soluciones, detergentes alcalinas se eliminan los residuos del aceite utilizado durante su reducción en frío. El objeto de esta operación consiste en eliminar el aceite de la superficie para evitar se carbonice en el horno de recocido.

El sistema de esta línea mecánicamente es parecido al de la línea de decapado, es decir, la banda continua pasa sucesivamente por tanques de detergentes, de enjuagado, restregadores, secadores y enrollado final.

En esta línea se verifica inspección completa de superficies calibre, forma, etc.

**RECOCIDO (TRATAMIENTO TERMICO).**- La estructura cristalina de la banda de acero durante su paso por molinos fríos se distorsiona, elonga progresivamente en el sentido del rolado a expensas de la ductilidad, de tal manera que termina con alta dureza y elevado esfuerzo a la ruptura.

Para restaurar la estructura cristalina y eliminar los esfuerzos internos producidos por el rolado en frío se requiere un tratamiento térmico adecuado, con el cual baja la dureza y consecuentemente aumenta la ductilidad de la lámina. Este tratamiento térmico se realiza en "hornos de recocido" en los cuales se someten los rollos de la lámina a elevación gradual de temperaturas, hasta un punto tal (dependiendo del tipo de acero y factores de reducción en frío), que regeneran su estructura cristalina uniforme. Posteriormente se requiere un enfriador lento usándose capuchas protectoras que sirven además para mantener el acero libre de oxidación mediante una atmósfera reductora que se mantiene durante todo el tratamiento.

**MOLINO DE TEMPLE.**- La lámina recocida, dada su extrema suavidad, no puede utilizarse directamente en trabajos de troquelado, nivelado o dobleces porque produce marcas características en su superficie, las cuales entorpecen dichas operaciones. Para eliminar este problema, la lámina recocida pasa por un molino templador, donde mediante la aplicación de presiones y tensiones ligeras, se aumenta su dureza superficial.

Esta operación viene a constituir el final de un conjunto de variantes que son determinadas por el tipo de acero y uso de la lámina.

**LINEA DE ESCUADRE Y CORTE.**- Para el corte de la lámina pasa -

sucesivamente por mesas niveladoras de rodillos, tijeras de -- discos desorilladores, tijeras voladoras. En estas líneas se corta la lámina de acero a las dimensiones solicitadas, (incluyendo diferentes anchos), inspeccionándose totalmente sus ca--racterísticas físicas mecánicas y de superficie.

Diagrama de flujo de laminado Fig. N° 10.

**DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LAMINACION**

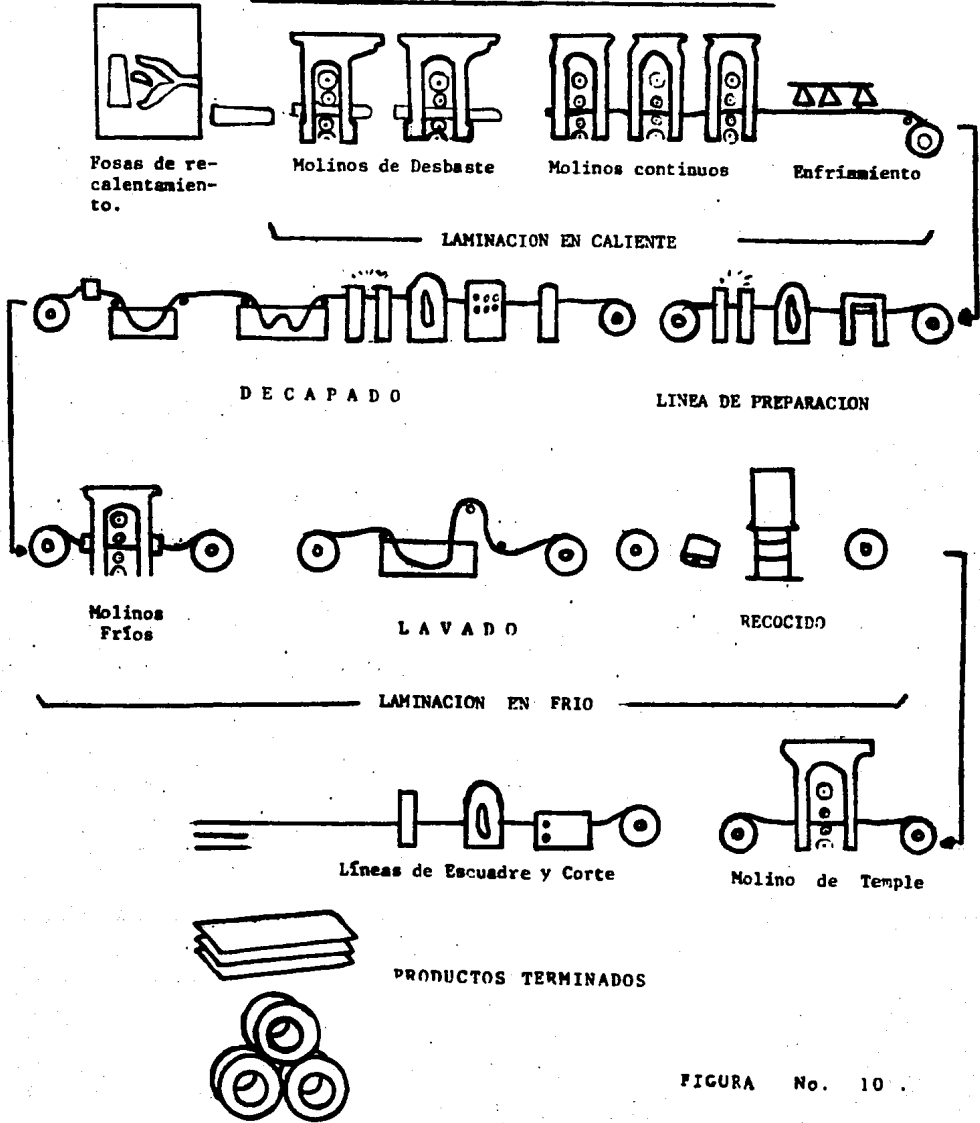


FIGURA No. 10 .

## C A P I T U L O 2

## PROCESO DE GALVANIZADO

La industria moderna manipula y elabora una enorme gama de materiales sólidos y líquidos, calientes y fríos en grandes cantidades y, frecuentemente en procesos continuos.

Aún cuando las instalaciones que se utilizan para estos procesos son cada vez más complicados y en ellas se emplean materiales muy diversos, el material que se usa más es el acero (muchos millones de toneladas en todo el mundo) y cada una de las piezas de acero requiere protección contra la corrosión, por ello, la galvanización adquiere cada vez mayor importancia.

La protección del hierro frente a la oxidación ha sido un problema que se le ha planteado al hombre desde los albores de la Edad de Hierro, pero hasta hace relativamente poco tiempo no se ha encontrado métodos de protección de verdadera eficacia a largo plazo, tal como la galvanización que permite proteger prácticamente cualquier tipo de pieza de acero. Esta circunstancia, unida a una mejor comprensión de la naturaleza de los procesos de la corrosión, así como el enorme costo de la misma, ha permitido que los usuarios del acero puedan elegir el medio más económico para proteger sus productos de acuerdo con sus características, servicio a realizar y duración que se requiere de la misma.

La galvanización es un procedimiento mediante el cual se evita la oxidación del acero.

En esencia consiste en sumergir la lámina de acero cuya superficie ha sufrido un tratamiento químico de limpieza en un baño de zinc fundido que al contacto con el acero reacciona formando sobre su superficie un recubrimiento muy resistente - que lo protege contra la oxidación.

Los fundamentos han permanecido inalterados desde que la galvanización pasó a ser una industria hace más de 200 años, pero las numerosas investigaciones de que ha sido objeto todos los aspectos del procedimiento, hicieron posible que la galvanización sea actualmente una industria técnicamente controlada.

El acero se oxida rápidamente cuando está expuesto a la acción de los fenómenos atmosféricos (lluvia, granizo, nieve, etc.) y aunque no se hagan presentes estos fenómenos, el oxígeno contenido en el aire es suficiente para oxidar el acero cuando éste no está protegido.

Una forma de proteger el acero es cubriendo su superficie con una barrera impermeable para evitar que la humedad - o el aire lleguen a ella.

Las capas de pintura lo logran hasta cierto punto, pero como no son completamente impermeables la humedad logra penetrar en un tiempo relativamente corto, una vez que esto sucede el metal empieza a oxidarse y se deteriora hasta destruirse totalmente.

Por otra parte el recubrimiento de zinc obtenido por medio del galvanizado protege en forma más permanente que la pintura, pues aunque el zinc reacciona ligeramente al contacto con el aire o el agua la película que se forma sobre su superficie es compacta y protectora en alto grado. Incluso si en el recubrimiento de zinc hay pequeñas áreas sin recubrir (tales como raspaduras u otro tipo de daños) éstas quedan igualmente protegidas contra la oxidación, ello se debe a la diferencia de potencial electroquímico entre el zinc y el acero, por lo que el primero se consume lentamente sacrificándose para proteger el acero. Este tipo de protección llamada PROTECCION CATODICA, es una de las virtudes principales de los recubrimientos obtenidos por medio del galvanizado.

## 2.1. PROTECCION CATODICA

La corrosión es el deterioro que sufren los metales - al ser atacados por los más diversos agentes químicos. Este --

ataque se realiza de una manera lenta, pero continua. En algunos casos los productos de la corrosión aparecen bajo la forma de una película fina adherida a la superficie del metal, la cual simplemente mancha o quita brillo y que pueden dificultar o impedir la continuación de la acción corrosiva.

En otros casos los productos de la corrosión forman una capa porosa de mayor espesor, que no ofrece ninguna protección contra la corrosión ulterior.

La causa principal del fenómeno de la corrosión reside en la inestabilidad que tienen los metales en sus formas afinadas, ya que tienden a volver a su estado natural mediante el proceso de corrosión.

**PRINCIPIOS ELECTROQUIMICOS.** - La corrosión es esencialmente un proceso electroquímico que da lugar a que el metal se transforme total o parcialmente pasando del estado metálico al iónico. Para que exista corrosión es necesario que se establezca el paso de una corriente eléctrica entre zonas distintas de una superficie metálica en contacto con un electrolito. Un electrolito es una solución cualquiera que contiene átomos o grupos de átomos cargados eléctricamente, llamados IONES. Por ejemplo el agua pura contiene en cantidades iguales iones hidrógenos cargados positivamente ( $H^+$ ) e iones oxhidrilo cargados negativamente ( $OH^-$ ), por tanto el electrolito puede ser agua natural, agua salada o soluciones ácidas o alcalinas de una concentración cualquiera. Para que el circuito eléctrico esté completo tienen que existir dos electrodos, ánodo y cátodo, -- unidos entre sí, los cuales pueden ser dos metales distintos o zonas distintas de la misma superficie metálica. La unión entre el ánodo y el cátodo puede realizarse mediante un puente metálico, pero en el caso concreto de la corrosión ésta tiene lugar normalmente por simple contacto. Además para que se establezca el paso de corriente, tiene que existir una diferencia de potencial entre los electrodos.

Al ponerse en contacto el metal con el electrolito, los átomos metálicos que constituyen el ánodo pasan a la solución en forma de iones, mientras que las correspondientes cargas negativas o electrones pasan a través del metal a la zona que constituye el cátodo.

Allí los electrones neutralizan los iones cargados positivamente que pasan de la solución al cátodo. Estos iones positivos son normalmente iones hidrógeno, que al neutralizarse se transforman en átomos, los cuales se desprenden en forma de gas hidrógeno, La reacción electroquímica fundamental pue-



de escribirse en la forma:



La corrosión, es decir la desintegración o disgregación de un metal casi siempre tiene lugar en las zonas que desempeñan el papel de ánodo. La cantidad de A que se disuelve es proporcional al flujo de electrones cuyo número depende a su vez del potencial y resistencia del metal.

Ahora bien, para que la corrosión, una vez iniciada prosiga, es necesario que se eliminen de las zonas anódica y catódica los productos de la corrosión. En algunos casos el desprendimiento de gas hidrógeno en el cátodo se realiza con mucha lentitud y la acumulación de una capa de hidrógeno sobre el metal impide que la reacción continúe. Este fenómeno se conoce como polarización catódica. Sin embargo, el oxígeno disuelto en el electrolito puede reaccionar con el hidrógeno acumulado formando agua, con lo que la corrosión puede proseguir. Los iones metálicos se eliminan bajo la forma de óxidos o hidróxidos insolubles.

**FACTORES DE LA CORROSION.** - Uno de los factores más importantes y que más influencia ejerce en el proceso de corrosión es la diferencia de potencial que se establece entre dos metales distintos en contacto mutuo e inmersos en un electrolito. Este potencial depende de la naturaleza química de las regiones anódica y catódica. Se considera que todos los metales que actúan de ánodo en un par galvánico con hidrógeno son electronegativos y los que actúan como cátodo son electropositivos, observándose la serie de potenciales electrolíticos de disolución dada en la Tabla I; en la cual los elementos se encuentran situados en orden decreciente de actividad. Los metales más activos colocados en la parte superior de la tabla tienen más tendencia a disolverse que los de la parte inferior, de tal modo que todo metal desplazará de la solución a los metales situados por debajo de él.

La serie indicada de potencial de los distintos metales es válida únicamente para unas condiciones iguales a aquellas en que se determinó, es decir, para electrolitos formados por concentraciones determinadas de sales del mismo metal objeto de estudio.

TABLA I  
 POTENCIALES NORMALES DE LOS ELEMENTOS

REACCION QUE TIENE LUGAR EN EL ELECTRODO	POTENCIAL (E°) DEL ELECTRODO NORMAL A 25° C; VOLTIOS.	REACCION QUE TIENE LUGAR EN EL ELECTRODO	POTENCIAL (E°) DEL ELECTRODO NORMAL A 25° C; VOLTIOS
K = K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	-2,922	Co = Co <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,277
Ca = Ca + 2e <sup>-</sup>	-2,87	Ni = Ni <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,250
Na = Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	-2,712	Sn = Sn <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,136
Mg = Mg <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-2,34	Pb = Pb <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,126
Be = Be <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-1,70	1/2H <sub>2</sub> = H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	0,000
Al = Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	-1,67	Cu = Cu <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	0,345
Mn = Mn <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-1,05	Cu = Cu <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	0,522
Zn = Zn <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,762	Ag = Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	0,800
Cr = Cr <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	-0,71	Pd = Pd <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	0,83
Ga = Ga <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	-0,52	Hg = Hg <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	0,854
Fe = Fe <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,440	Pt = Pt <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	1,2
Cd = Cd <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0,402	Au = Au <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	1,42
In = In <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	-0,340	Au = Au <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	1,68
Tl = Tl <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	-0,336		

En las condiciones reales en las cuales puede variar la naturaleza de los electrolitos, su comportamiento puede ser diferente. En lugar de la serie de potenciales electrolíticos se suelen utilizar series galvánicas, que guardan cierta semejanza con lo anterior, obtenidas empíricamente observando el comportamiento de distintas combinaciones metálicas en condiciones muy diversas. La tabla II indica el comportamiento en el agua del mar muy agitada de cierto número de metales y aleaciones. Si elegimos una pareja cualquiera de los elementos indicados, el metal más próximo a la parte superior de la serie constituirá el ánodo y por tanto, se corroerá mientras que el otro metal, el cual ocupa una posición próxima al extremo inferior formará el cátodo y recibirá cierta PROTECCION CATODICA. La diferencia de potencial que se establece entre ambos metales guarda relación con la distancia que separa sus posiciones en la tabla.

Si un metal está en contacto con otro que ocupa en la tabla una posición muy próxima a la suya normalmente se corroerá con mucha más lentitud que cuando está en contacto con otro muy distante de él.

En resumen y particularizando en el zinc; y el hierro, la protección catódica del hierro y el acero que proporcionan los recubrimientos de zinc metálico, se basa en el hecho de -- que la corrosión es básicamente un proceso electroquímico.

Entre metales distintos puestos en contacto, y también entre pequeñas zonas de un mismo metal, se producen diferencias de potencial eléctrico.

Estas variaciones de potencial dentro de un mismo metal se deben a diferencias locales de composición, impurezas, tensiones internas, o al contacto con un medio ambiente no uniforme. El medio ambiente, puede ser una atmósfera con gran contenido de vapor de agua, la humedad superficial o un líquido en el que esté sumergido el metal. Todos estos ambientes sirven como electrolitos y permiten la formación de pequeñas células electrolíticas en la superficie del metal.

Cada célula consta de una parte positiva (ánodo) que libera electrones y otra negativa (cátodo). Los electrones -- que son partículas atómicas de carga negativa, fluyen del ánodo, al cátodo. La pérdida de electrones por parte del ánodo convierte algunos átomos del mismo en iones con carga positiva (cationes), los cuales pasan al electrolito y en él reaccionan con otros iones de carga negativa (aniones). Esta reacción entre el ánodo y el electrolito provoca la desintegración (corro

TABLA II  
 SERIE GALVANICA DE LOS METALES Y ALEACIONES EN EL AGUA DEL MAR

EXTREMO ANODICO (CORROIDO)

Magnesio	Latón al aluminio
Zinc	Latón rojo
Aluminio	Cobre
Cadmio	Bronce de aluminio
Aleaciones de aluminio	Aleaciones cobre-níquel
Aceros bajos en carbono	Níquel
Acero aleado	Inconel
Fundición	Plata
Acero inoxidable	Acero inoxidable (pasivado)
Metal Muntz	Monel
Latón amarillo	Titanio

---

EXTREMO CATODICO (PROTEGIDO)

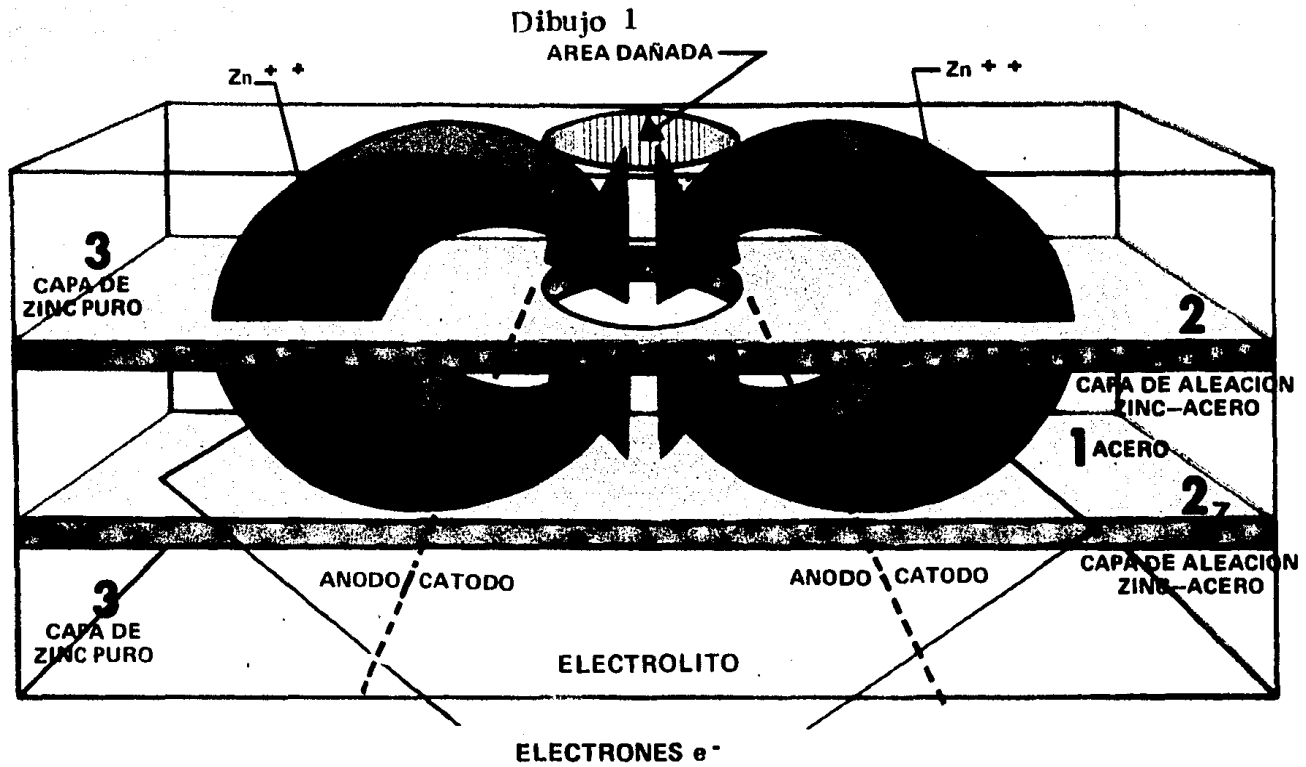
sión) del metal anódico. En el metal catódico no se produce corrosión (Dibujo N° 1).

La dirección del flujo de electrones entre dos metales en contacto, a través de un electrolito depende de su posición relativa en la serie galvánica de los metales (Tabla I).- Cuando se ponen en contacto mutuo dos de estos metales.

Los electrones fluyen desde el metal situado en la parte superior hacia el que está más abajo en esta serie. Esto significa que los metales que están por encima se convierten en anódicos y los situados más abajo en catódicos, el metal que hace de ánodo es el que se corroe y de esta manera, protege al metal catódico.

Este es el fundamento de la protección catódica, llamada así porque el metal que hace de cátodo queda protegido por el metal anódico. También se le determina "protección de sacrificio" porque el metal que actúa como ánodo se sacrifica para proteger el metal catódico.

El zinc está por encima del hierro en esta serie galvánica de los metales. Por ello cuando el acero y el zinc entran en contacto en un electrolito, el zinc pasa a ser el ánodo y el acero el cátodo. El zinc se corroe lentamente y con preferencia al acero el cual queda protegido. De esta manera los recubrimientos de zinc protegen catódicamente al hierro y al acero y evitan su corrosión incluso en los fallos o desperfectos que pueda tener el recubrimiento.



## 2.2. DIFERENTES METODOS DE GALVANIZACION

Antes de empezar a ver los diferentes métodos de galvanización veremos lo que es y lo que significa la galvanización.

La galvanización es un proceso que permite obtener un recubrimiento de zinc, sobre artículos o materiales férreos, - cuya superficie haya sido preparada previamente, mediante inmersión en zinc fundido. Existen otros métodos para obtener recubrimientos de zinc sobre hierro o acero tales como metalización por proyección, depósito electrolítico, sherardización, pinturas a base de zinc, etc., pero estos sistemas tienen campo de acción relativamente limitados, no encontrándose frecuentemente en competencia directa con la galvanización.

¿Cuáles son las características de un recubrimiento galvanizado?

Espesor considerable y uniforme. Los recubrimientos galvanizados suelen designarse generalmente por su peso de --- zinc por unidad de superficie y en algunas normas se especifican los pesos mínimos en función del espesor de la pieza (Tabla III). Los espesores del recubrimiento son con frecuencia, considerablemente mayores que los valores mínimos especificados en las normas, debido a las diferencias en la composición del acero o a la rugosidad de la misma superficie, lo que proporciona a estos recubrimientos una duración útil proporcionalmente mayor.

El zinc fundido cubre ángulos, bordes, costuras, remaches y penetra en los pequeños resquicios y orificios, confi-  
- riendo una protección completa a los que serían puntos débiles en otros sistemas protectores de la corrosión. La galvanización tolera más defectos en la superficie del metal de base -- que la mayoría de otros procedimientos de protección por recubrimientos, aunque una buena condición superficial asegurará un recubrimiento galvanizado de mejor calidad, especialmente - en los casos en que es importante el aspecto del mismo.

Cuando se requiere una duración muy larga (Tabla IV)- pueden conseguirse recubrimientos galvanizados de espesor excepcionalmente grueso, ya que su duración es proporcional al espesor. Estos recubrimientos gruesos tienen a veces, un aspecto gris mate, debido a que la capa de compuestos intermetálicos se extiende hasta la superficie.

TABLA III

P E S O S		ESPESOR TOTAL	
oz/Ft <sup>2</sup>	Gr/m <sup>2</sup>	MICRAS	MILESIMAS DE PULG.
5	1525	215	8.48
4	1220	272	6.77
3	915	120	5.88
2	610	86	3.30
1.25	302.25	53.75	2.12
1.00	305	43	1.60
0.9	274.3	39.5	1.52
0.8	244	34.4	1.35
0.7	213.5	30.1	1.18
0.6	103	29.0	1.02
0.5	152.5	21.5	0.55
0.4	122	17.2	0.63
0.3	91.5	12.0	0.51
0.2	61.0	8.6	0.36
0.1	30.5	4.3	0.27



**Tenacidad.**- El recubrimiento galvanizado posee la característica única de estar unido metalúrgicamente al acero base; es decir, que a temperaturas de 445 y 465° C, se produce una reacción química entre el hierro y el zinc, que da lugar a compuestos intermetálicos de hierro-zinc sobre la superficie del material que se disponen en capas. Al extraer los artículos del baño de zinc queda adherida a su superficie una película de zinc metálico que al solidificarse constituye la capa externa el recubrimiento. En la figura 11 se muestra una micrografía de la sección transversal de un recubrimiento galvanizado en donde puede observarse que estas capas están unidas metalúrgicamente entre sí y el acero base.

Por otra parte, al estar constituido por varias capas de aleaciones hierro-zinc, que es más blanda, constituye un sistema "amortiguador" muy resistente a los golpes y a la abrasión.

Anteriormente mencionamos que el zinc le confiere al hierro y acero una protección catódica evitando su corrosión - incluso en los pequeños fallos o desperfectos que pueda tener el recubrimiento.

Existen cinco métodos para galvanizar el acero:

1. GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE.- Ocupa un lugar preponderante entre todos los demás. En los primeros días de galvanización este método era muy rudimentario y más que una industria podría considerarse como una artesanía, la lámina galvanizada así obtenida aunque ofrecía buena protección contra la corrosión no era capaz de soportar ninguna operación de formado y el recubrimiento del zinc se desprendía al menor doblez, sin embargo, en nuestros días una buena parte de la lámina galvanizada se produce aún en esta forma. Gracias a la aparición de las modernas líneas de galvanizado continua la galvanización dejó de considerarse un arte y pasó a ser una industria técnicamente controlada.

Ahora es posible producir lámina galvanizada en rollos de calidad troquelable y con recubrimientos de zinc uniformemente controlado.

a).- El proceso COOK-NORTEMAN, en el cual se alimenta lámina de acero ya recocida, pasando primeramente, por baños de cloruro de zinc y amoníaco usado como fundente, posteriormente la lámina recibe un precalentamiento antes de entrar al-

TABLA IV  
VIDA DEL RECUBRIMIENTO

oz/ft <sup>2</sup>	gr/m <sup>2</sup>	MICRAS	MILESIMAS	SEGUN MEDIO AMBIENTE EN AÑOS					
				1	2	3	4	5	6
5	1525	215	8.46	36.9	57.8	72.5	83.3	93.9	117.1
4	1220	172	6.77	27.8	44.2	54.7	63.6	72.4	90
3	915	129	5.08	23.8	37.5	46.5	54.0	61.5	76.7
2	610	86	3.39	15.0	24.0	30.0	34.0	40.0	50.0
1.25	381.25	53.75	2.12	8.65	14.1	18	21.35	24.65	30.79
1	305	43	1.69	6.4	10.8	14.0	16.7	19.4	24.4
0.9	274.5	38.5	1.52	5.6	9.6	12.4	14.9	17.5	21.8
0.8	244	34.4	1.35	4.8	8.2	10.7	13.1	15.3	19.2
0.7	213.5	30.1	1.18	4.0	7.1	9.6	11.4	13.5	16.7
0.6	183	25.8	1.02	3.1	5.7	7.64	9.53	11.3	14.2
0.5	152.5	21.5	0.85	2.2	4.4	6.10	7.6	9.20	11.5
0.4	122	17.2	0.68	1.3	3.0	4.4	5.8	7.1	8.8
0.3	91.5	12.9	0.51	0.5	1.7	2.4	4.0	5.1	6.4
0.2	61	8.6	0.34	-0.5	0.4	1.1	2.4	3.1	3.6
0.1	30.5	4.3	0.17	-1.5	-1.0	-0.5	0.4	1.0	1.2

1 = PESADO INDUSTRIAL

2 = INDUSTRIAL MODERADO

3 = SUBURBANO

4 = MARITIMO TEMPLADO

5 = TROPICAL MARITIMO

6 = RURAL

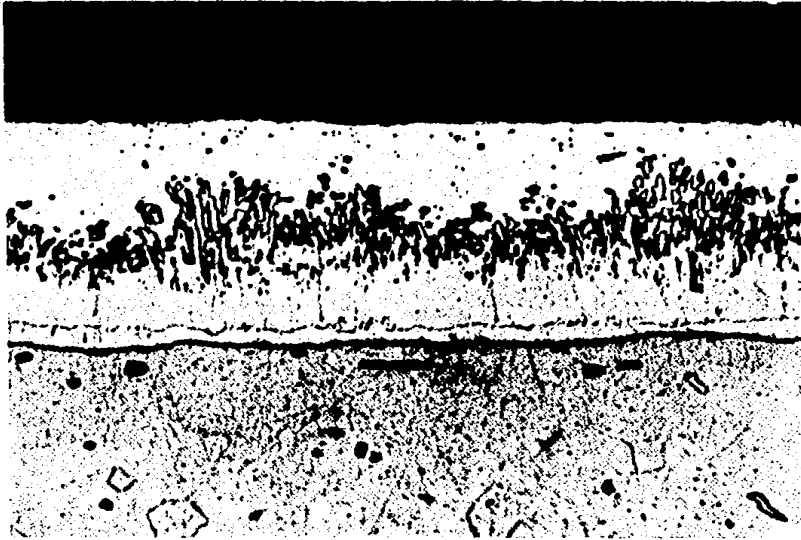


Fig.11 Microsección de un recubrimiento galvanizado normal aumento aprox. X 250.

baño de zinc fundido con objeto de eliminar las quebradizas capas de aleación de hierro-zinc y en esta forma lograr una buena adherencia de la capa de zinc, este es el método más rápido que se opera actualmente. Es posible que en un futuro próximo gran parte de la producción de lámina galvanizada se realice por este método.

b). El proceso ZENDZIMIR.- El recocido del acero se hace en la línea de galvanizado por medio de un tratamiento térmico que consta de dos pasos.

El primero, la superficie del acero se oxida por fuego directo, reduciendo posteriormente en el segundo paso, en el cual se aplica calor por radiación del acero en presencia de una atmósfera reductora a base de hidrógeno, obtenido por disociación del amoníaco.

La combinación de estos dos pasos hace posible controlar la dureza del material (acero) al grado deseado, además de asegurar un alto grado de limpieza a su superficie.

2. GALVANIZADO POR ELECTROLISIS.- La electrogalvanización consiste en la deposición electrolítica de una capa de zinc sobre una superficie limpia de acero utilizando para ello soluciones a base de sales de zinc que pueden ser ácidas o alcalinas, siendo las más comunes: cianuro de sodio y zinc, sulfato de zinc y cloruro de zinc. La uniformidad 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 cadenas, tornillos, tuercas, etc., que pueden recubrirse después de su fabricación y utilizarse sin tener que volver a trabajar roscas, cuerdas o pequeños orificios, sin embargo, la resistencia a la corrosión de los recubrimientos logrados por este método es relativamente pobre debido a los bajos espesores de zinc que por él se obtienen (0.20 Oz/pie<sup>2</sup> como máximo).

3. METALIZACION.- Es otro de los métodos de galvanización, consiste en un rociado de partículas de zinc fundido o semifundido sobre una superficie de metal previamente preparada.

En este proceso no existe un ligamento de carácter químico entre el acero y el zinc; por tanto la unión mecánica debe ser lo suficientemente fuerte para mantener buena adhesión y contacto eléctrico.

La preparación de superficie se lleva a cabo mediante chorreo con arena o grava, ésta deberá remover todo tipo de impurezas y productos de corrosión y además deberá volver áspera y rugosa la superficie, para lograr una buena adhesión-mecánica de la capa de zinc. Este método se utiliza principalmente para proteger grandes estructuras o bien piezas de acero que por su tamaño no es posible introducirlas en baño de zinc-fundido.

4. SHERARDIZADO.- Es el menos conocido, fue descubierto accidentalmente en el año de 1900. El zinc se liga al acero por sublimación y forma una capa dura y uniforme de aleación hierro zinc, de una apariencia gris opaca aún cuando este método es poco usado, se galvaniza tubería, ya sea mecánica, para conducción de fluidos o para instalaciones eléctricas, tornillería y en general partes pequeñas y de forma compleja.

El sherardizado al igual que los demás métodos requiere como paso inicial una limpieza de superficie, después de la limpieza los artículos son colocados dentro de un recipiente metálico al cual se agrega polvo de zinc mezclando con partículas de arena, para lograr una mayor uniformidad del zinc en el interior del recipiente. El cual es entonces sellado para evitar el escape de vapores de zinc y se hace rodar con movimientos vibratorios al mismo tiempo que se calienta por varias horas alcanzando temperaturas de 700° C a 800° C. Los espesores de zinc logrados por este método varían de 0.10 a 0.40 Oz/pie<sup>2</sup>.

5. El quinto método de galvanización lo constituyen las pinturas ricas en zinc, en las cuales el polvo de zinc es el único pigmento activo y está presente en cantidades suficientes para que la pintura tenga cualidades de un recubrimiento metálico, como son: un alto nivel de conductividad eléctrica y la protección catódica al acero. Esta doble propiedad distingue a las pinturas ricas en zinc de otra pintura inhibidores de la corrosión.

Las pinturas ricas en zinc pueden ser:

- a) De base orgánica
- b) De base inorgánica

Para formar un recubrimiento realmente efectivo, estas pinturas deberán aplicarse sobre acero limpio, esto asegura una buena adhesión mecánica y contacto eléctrico, la aplicación puede ser por aspersión, inmersión o con brocha.

### 2.3. SISTEMA CONTINUO DE GALVANIZACION POR INMERSION EN CALIENTE.

(PROCESO ZENDZIMIR)

Nos ocuparemos de este sistema por ser el de mayor importancia y porque mediante él se obtiene un galvanizado de características y calidad muy superiores al resto de los sistemas existentes.

Detalles de una línea de galvanizado continuo por inmersión en caliente (proceso Zendzimir); (diagrama de flujo).

Consta de dos porta-rollos, cada uno alojando a los rollos de acero que serán galvanizados, estos portarollos actúan como desenrolladores y trabajan en forma alternada, es decir uno de ellos contiene al rollo que se está galvanizando, la parte final de este rollo se une por medio de soldadura a la parte inicial siguiente rollo que se encontraba preparado en el otro porta-rollos, la operación de soldadura se hace en una máquina automática por medio de resistencia a través de un electrodo circular de cobre.

El tiempo necesario para llevar a cabo esta operación varía con la velocidad del proceso, la cual a su vez depende del calibre de la lámina. Pero en todos los casos es de sólo unos cuantos segundos.

Durante este tiempo se detienen la sección de entrada más no el flujo de lámina al proceso pues al parar esta sección automáticamente entra en operación el acumulador de entrada proporcionando lámina al proceso a la misma velocidad.

Una vez terminada la operación de soldadura se pone en marcha la sección de entrada a una velocidad mayor que la de proceso con objeto de que el carro acumulador llegue a su posición de lleno y en esta forma estar listo para la siguiente operación.

Una vez en esta posición la velocidad de la sección de entrada es la misma que la del proceso. La lámina negra o materia prima pasa en primer término por la cortadora de bordes o desorillador que como su nombre lo indica sirve para cortar el exceso en ancho cuando la lámina viene con orilla de molino (1/4" en cada extremo aproximadamente). Sin embargo, algunas veces ya viene recortada en cuyo caso como es lógico suponer se omite este paso, pero de cualquier manera, la lámina-

tiene que pasar por el desorillador sólo que en este caso no funciona.

En el diagrama de flujo se observan dos ondas, una antes y la otra después del desorillador cuya finalidad es la de eliminar tensiones en la lámina a su paso por esta máquina para que el corte sea preciso.

A continuación la lámina viaja hacia el acumulador de entrada mencionado anteriormente, en los extremos de este acumulador observamos las bridas 1 y 2 conjuntos de rodillos que tensionan la lámina intermedia entre ellos para que el funcionamiento del equipo automático de alineación pueda ser efectivo (mantener la lámina centrada a su paso por cada rodillo entre estas bridas).

Ahora la lámina se dispone a entrar a lo que es propiamente el proceso cuyo inicio lo constituye el horno de recocido.

Este horno consta de 4 zonas a saber:

1. Zona de precalentamiento.
2. Zona de reducción.
3. Zona de enfriamiento forzado.
4. Zona de mantenimiento de temperatura.

A continuación estudiaremos cada una de ellas:

**ZONA DE PRECALENTAMIENTO.-** Donde la lámina es sometida a fuego directo con objeto de eliminar impurezas tales como residuos de grasas, aceite, humedad, etc., la superficie sufre una oxidación debido al fuego directo, al mismo tiempo que se eleva su temperatura con objeto de que el paso siguiente (reducción se lleve a cabo con mayor eficiencia).

El control de la temperatura depende de la velocidad de la línea y del espesor de la lámina y es un factor determinante en la calidad de la lámina galvanizada, temperaturas superiores o inferiores afecta tanto a la adherencia del zinc como a la dureza final de la lámina.

**ZONA DE REDUCCIÓN.-** Es una zona sellada en cuyo interior exis

te una atmósfera controlada a base de Nitrógeno ( $N_2$ ) y de Hidrógeno ( $H_2$ ) ambos en estado gaseoso y a una presión ligeramente mayor que la atmosférica, esto con el fin de impedir cualquier entrada de aire atmosférico al interior del horno.

El hidrógeno actúa como gas reductor, eliminando de la superficie de la lámina la oxidación provocada en la etapa anterior, esta oxidación primero y reducción posteriormente en combinación con la temperatura de esta zona son los factores determinantes para reorientar la estructura molecular del acero haciendo que los granos alargados (característica del acero crudo) adopten una forma circular desuniforme, bajando la dureza del acero del cual adquiere la propiedad de ser dúctil, entre más baja sea la dureza, la ductilidad será mayor y nuevamente depende de la temperatura alcanzada por la lámina en esta zona, la cual es a su vez función de la velocidad del proceso y del espesor de la lámina. El nitrógeno en este caso actúa como un gas inerte es decir, que no reacciona o se combina con ningún otro elemento para formar un nuevo compuesto y su función es la de formar, en el interior del horno, una presión mayor que la atmosférica y, de esta forma, impedir entradas de aire que además de representar un serio peligro (en caso de entrar) por la presencia de hidrógeno ( $H_2$ ), oxida nuevamente la superficie de la lámina y en esta forma la adherencia de zinc es mala. El oxígeno ( $O_2$ ) contenido en el aire cuando reacciona con hidrógeno ( $H_2$ ) forma agua ( $H_2O$ ) en una reacción muy violenta (explosión).

**ZONA DE ENFRIAMIENTO FORZADO.**- Al llegar la lámina a esta zona su tratamiento térmico ha sido completado y sus características finales en cuanto a dureza y preparación de superficie ya están definidos, la función de esta zona es precisamente bajar o subir la temperatura en forma gradual de tal manera que al salir la lámina del horno y entrar a la paila (baño de zinc fundido) su temperatura no exceda ni sea inferior a  $450^\circ C$  que representa la temperatura óptima de galvanización.

**ZONA DE MANTENIMIENTO DE TEMPERATURA.**- Llamada así porque su función es la de mantener la temperatura de la lámina cuando tiende a bajar más de lo debido ( $450^\circ C$ ) o bien de bajarla cuando sea mayor antes de llegar a la paila.

Por fin llegamos a la paila considerada como la parte más importante de la línea de galvanizado debido a que aquí se lleva a cabo lo que es propiamente la galvanización. Consiste en un gran baño de acero especial con una profundidad de 2.50-m. que aloja en su interior 60 tons. de zinc fundido cuya composición química es la siguiente:



		MIN	MAX
Aluminio	(Al)	0.12%	0.17%
Plomo	(Pb)	- -	0.20%
Antimonio	(Sb)	0.10%	0.15%
Cadmio	(Cd)	- -	0.2 %
Hierro	(Fe)	- -	0.5 %
Cobre	(Cu)	- -	0.006%
Zinc	(Zn)	99.23%	- -

Analicemos el efecto de cada uno de estos:

**ALUMINIO:** Inhibe la formación de la quebradiza capa de aleación hierro-zinc dando lugar a la formación de un recubrimiento dúctil a base de zinc con un alto grado de pureza -- mucho más resistente a la corrosión y con mucho mejor adherencia que un recubrimiento de aleación hierro-zinc.

El aluminio reduce además considerablemente la velocidad de oxidación del zinc fundido disminuyendo las pérdidas de zinc; también proporciona un aspecto más brillante a la lámina galvanizada y aumenta la uniformidad del recubrimiento, impidiendo la formación de grandes floreados.

**PLOMO:** Ayuda a la formación de escoria y que ésta se sedimente en el fondo del baño, al mismo tiempo favorece su extracción, tiene influencia también en la formación del floreado. Por otra parte excesos de plomo en el zinc no originan -- ningún inconveniente ya que se irán al fondo del baño de zinc fundido.

**ANTIMONIO:** Contribuye notablemente a la uniformidad del recubrimiento sobre todo cuando el espesor de éste es grande. Influye también en el tiempo de floreado, regulándolo y dándole una mejor presentación a la lámina galvanizada.

**CADMIO:** Como elemento de aleación en la composición del zinc para galvanizar es indeseable, pero no es posible eliminarlo por ninguno de los métodos prácticos para la obtención del zinc y sólo se logra mantenerlo en porcentajes muy pequeños.

El contenido de cadmio en el zinc es una de las razones por las cuales las normas prohíben el uso de la lámina galvanizada para la fabricación de utensilios de cocina que estén en contacto directo con los alimentos.

COBRE, FIERRO: Al igual que el cadmio no es posible eliminarlos en la obtención del zinc, sin embargo su contenido es tan pequeño que el zinc no sufre prácticamente ninguna alteración debida a la presencia de estos elementos.

Los factores que afectan la operación de la paila - - son:

- a) Calidad del Zinc.
- b) Temperatura del baño.
- c) Nivel del baño.

CALIDAD DEL ZINC.- El contenido de los elementos de aleación mencionados en las proporciones correctas determinan la buena calidad del zinc.

TEMPERATURA DEL BAÑO.- La experiencia demuestra que la lámina puede ser galvanizada satisfactoriamente en un rango de 450° a 465°C siendo la primera la temperatura común de trabajo. La fuente de calor la representa resistencias eléctricas que rodean a la paila, sin embargo éstas se utilizan solamente para fundir la carga inicial de zinc después de un paro en la operación de la línea. Durante el proceso, generalmente se mantiene el baño fundido haciendo llegar la lámina del horno de recocido a una temperatura tal que mantenga el baño de zinc a 450°C de temperatura.

La capa de aleación hierro-zinc crece al elevarse la temperatura del baño al mismo tiempo que el floreado será cada vez más ligero hasta volverse opaco y blanco en este momento el recubrimiento será casi completamente de aleación hierro-zinc disminuyendo la adherencia ya que este recubrimiento es quebradizo, así mismo por el contenido de fierro su resistencia a la corrosión disminuye.

Otras consecuencias de una temperatura alta en el baño son una mayor formación de escoria sobre la superficie del baño debida al aumento en la velocidad de oxidación del zinc fundido y la dificultad para lograr un buen control sobre la -

capa de zinc, pues al aumentar su fluidez tiende a disminuir el peso del recubrimiento.

Por otra parte si la temperatura está por debajo de lo normal, el delineamiento del floreado se vuelve muy áspero y hay una marcada tendencia al acordonamiento de la capa debido principalmente a la falta de fluídos del zinc, lo cual resulta en recubrimientos más pesados.

**NIVEL DEL BAÑO.**- Tiene un efecto determinante en el control del peso del recubrimiento (capa de zinc) pues representa la distancia a la cual debe actuar el equipo que lleva a cabo este control.

Además este nivel es crítico pues actúa como sello para impedir la entrada de aire al interior del horno.

Existe una tolva (o tubo de bajada) que va del final del horno al baño de zinc, si el nivel de éste baja hasta el extremo de la tolva, nada impedirá la entrada de aire al interior del horno.

**SISTEMA DE CONTROL DE PESO DE RECUBRIMIENTO:** A cierta distancia del nivel de baño de zinc de donde sale la lámina cubierta de zinc aún en estado líquido se encuentran las boquillas de aire, un juego frente al otro y entre ambos pasa la lámina, de esta manera la presión del aire actúa sobre ambas caras de la lámina y a todo lo ancho escurriendo el exceso de zinc y dando como resultado el espesor de recubrimiento perfectamente uniforme. El aire es suministrado a las boquillas por dos ventiladores especiales, la presión es controlada para cada cara de la lámina independientemente por medio de válvulas, esto permite obtener diferentes espesores de zinc para cada cara (lámina galvanizada diferencial).

Para verificar y controlar la uniformidad del recubrimiento de zinc, existe un moderno sistema llamado "EL SISTEMA-ELECTRONICO NUCLEONIC" que a base de longitudes de onda detecta el espesor de zinc de cada cara separadamente y a todo lo ancho de la lámina a medida que ésta pasa a través del emisor de rayos que constantemente está viajando a todo lo ancho de la lámina y lo traduce dando su resultado en peso en onzas/pie<sup>2</sup> de cada cara de la lámina independientemente. Esto permite al operario hacer cualquier corrección inmediatamente pues el sistema está colocado a una distancia relativamente corta de las boquillas que controlan el espesor de zinc o peso del recubrimiento, al mismo tiempo se da cuenta si su acción correctora -

fue efectiva. Esta acción correctora consiste en variar la presión del aire o bien, la distancia de las boquillas a la cara de la lámina o ambas cosas a la vez. Esta distancia así como la presión del aire, van de acuerdo a la velocidad de la línea, al peso del recubrimiento que se desee obtener y si así se desea obtener diferente o igual espesor de zinc en cada una de las caras de la lámina.

Al salir de la paila o baño de zinc y pasar por las boquillas de aire que determinan el espesor de zinc con que será recubierta la lámina continúa su viaje ahora hacia los ventiladores de aire que bajarán su temperatura que como primer paso consiste en solidificar el recubrimiento de zinc, este enfriamiento tiene una marcada influencia en la formación del floreado. Además de los ventiladores de aire, el enfriamiento se logra por simple contacto con el medio ambiente, esto, sucede en su viaje de ida y vuelta a los ventiladores.

Antes de entrar la lámina al horno (cuando aún es lámina negra cruda) pasa por la brida N° 2 y después de pasar por los ventiladores de enfriamiento llega a la brida N° 3, pues bien estos dos conjuntos de rodillos, llamados bridas representan los principales puntos de apoyo de la lámina en la parte más importante de su proceso y le dan una tensión que bien aplicada y en combinación con el calor del horno corrigen los defectos que la lámina negra en mayor o menor grado pudiera traer de las plantas de acero.

La lámina está ya galvanizada y se dispone a pasar los baños de tratamiento químico, para de ahí ir al acumulador de salida.

El acumulador de salida actúa en una forma similar al acumulador de entrada, pero a diferencia de éste, su posición normal es vacío. Por ejemplo adelantémonos un poco a la sección de salida; en donde podemos ver que la lámina galvanizada se enrolla o bien se corta en hojas pues bien cuando un paquete (de hojas) o rollos de lámina galvanizada ha alcanzado un determinado peso o bien ha llegado la unión (que por medio de soldadura fue hecha en la sección de entrada) indicando el final de un rollo y al mismo tiempo el principio del siguiente, la sección de salida es detenida para extraer el rollo paquete de lámina galvanizada (según el caso) en ese momento se eliminan las puntas y colas así como la unión, se corta un tramo pequeño que servirá para efectuar las pruebas de control de calidad y se procede a enrollar o cortar nuevamente.

Como ya dijimos, el proceso es continuo y no puede su

frir interrupciones que provocarían desbalanceamientos en las temperaturas del horno de la paila, en el control del peso del recubrimiento, en los tiempos de inmersión en los baños de tratamiento químico, etc.

Al detenerse la sección de salida automáticamente entra en acción el acumulador de salida que como ya dijimos su posición normal es vacío y al desplazarse aloja la lámina galvanizada que sale del proceso durante el tiempo que dura parada esta sección. Este tiempo desde luego está limitado y será menor entre mayor sea la velocidad de la línea.

En su viaje de regreso del acumulador de salida la lámina pasa finalmente por dos niveladores de rodillos de posición variable que eliminan cualquier defecto que la lámina pudiera traer en su forma (ondulaciones, aglomeraciones, etc.) pueden trabajar los dos niveladores a la vez o solamente uno de ellos dependiendo del defecto y su intensidad. De aquí pasa la lámina como ya dijimos a enrollarse o a cortarse. Entre la brida N° 4 y la enrolladora proporciona a la lámina la tensión necesaria para que al extraer el rollo ya formado éste no se aplaste y conserve uniforme su diámetro interior.

Los rollos así obtenidos alimentan la línea de corte y acanalado continuo.

En el caso de la lámina cortada en hojas, el flujo es desviado y en lugar de bajar a la enrolladora se sigue hacia la cuchilla que la corta, la onda que precede a la cortadora tiene por objeto eliminar tensiones a la lámina para dar exactitud al corte.

En seguida de la cortadora la mesa transportadora de bandas lleva cada hoja de lámina galvanizada a un nivelador de hojas el cual bien operado puede dar una planeza perfecta a la lámina.

Es necesario analizar la galvanización de hoja ya que dicho análisis es la base de la galvanización continua por inmersión en caliente, ya que éste sirve básicamente al segundo procedimiento.

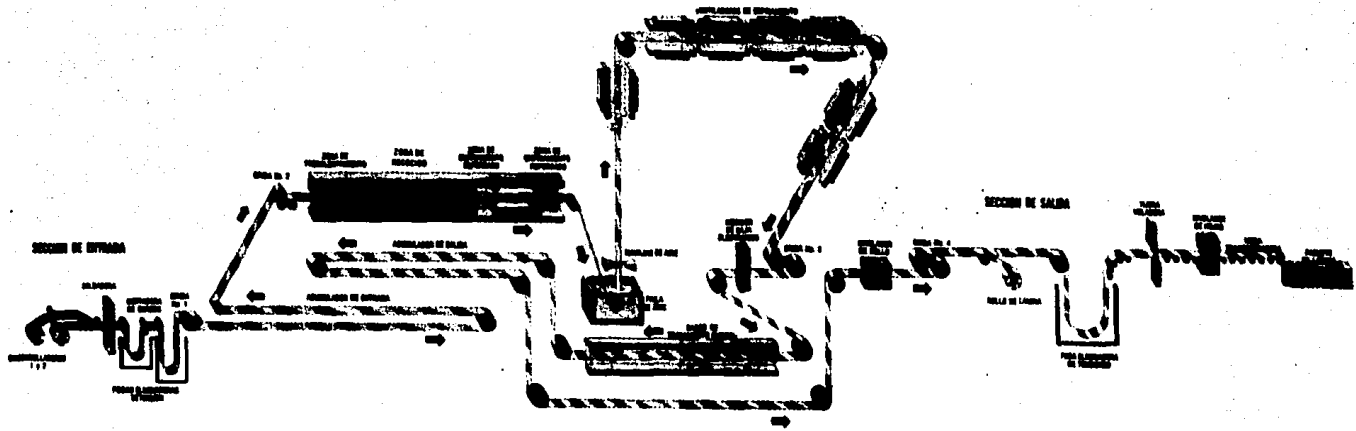
La galvanización es una operación de superficie y por lo tanto tiene que verse en términos totales de áreas, así como de peso. Cuando se calcula la producción total en términos de peso tiene que hacerse ajustes para cubrir la pérdida -

de peso en el curtido y la subsecuente adición de peso en la galvanización, pero si la producción total se expresa en términos de área, tales ajustes son innecesarios, ya que el área no es afectada por estas operaciones.

Al discutir las áreas se entiende que (excepto cuando se cite lo contrario) el término se refiere al área superficial de las hojas; por ejemplo, si el área superficial de una hoja que mide 3 X 6 pies es:

$$3 \times 6 \times 2 = 36 \text{ pies cuadrados.}$$

# DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA DE GALVANIZADO CONTINUO



## 2.4. LA RESISTENCIA A LA CORROSION DEL ACERO GALVANIZADO.

Para evitar confusiones, el índice de corrosión viene expresado siempre como la pérdida de peso en  $\text{g/m}^2$  (gramos por metro cuadrado) de la superficie metálica de que se trate.

En la Tabla V se indican los factores de conversión para las unidades relacionadas y afines.

Conociendo el espesor del recubrimiento original y el valor del índice de corrosión se puede calcular, la duración aproximada de un determinado recubrimiento.

Los índices de corrosión que se mencionan son promedios y no incluyen los tipos especiales de corrosión, tales como el picado, la corrosión filiforme, y la corrosión intercristalina, a menos que se especifique lo contrario.

TABLA V.- Tabla de conversión para los índices de corrosión y los espesores de los recubrimientos.

1 M (micra)	= 0.001 mm.
1 M año	= 7.2 $\text{g/m}^2/\text{año}$
$\text{lg/m}^2/\text{año}$	= 0.14 M/año = 0.027 mdd
1 mdd	= 1 $\text{mg/dm}^2/\text{día}$ = 36.6 $\text{g/m}^2/\text{año}$
1 oz/ft <sup>2</sup> (onza/pie cuad)	= 305 $\text{g/m}^2$ = 4 M
1 oz (onza)	= 28 g (aprox.)
1 ft (pie)	= 30 cm. (aprox.)
1 mil (milésima de pulg.)	= 25.4 M.

### CORROSION ATMOSFERICA.

La corrosión atmosférica se clasifica como:

Rural, marina, industrial y tropical.



El ataque es mínimo en los trópicos y máximo en la atmósfera industrial. Con acero galvanizado en caliente y espesores de recubrimiento entre 300 - 1.000 g/m<sup>2</sup>, la duración de éste es aproximadamente proporcional a su espesor. El espesor del recubrimiento, depende de la forma dimensional y composición del acero, así como las condiciones de galvanización.

Cuando los recubrimientos son excesivamente gruesos - tienden a exfoliarse y a mostrar una adherencia débil. No obstante mediante una técnica operatoria adecuada durante la galvanización se obtienen recubrimientos lisos y uniformes de óptimo espesor que presentan una adherencia excelente.

El zinc se corroe mucho más lentamente que el acero - y, además, en su corrosión forma una capa protectora que reduce la velocidad de ataque. Los recubrimientos de zinc protegen el acero sacrificándose en su favor; de tal manera que, incluso, aunque en algunas zonas el acero queda al descubierto por corrosión del zinc, el acero no se oxida aunque esté expuesto a la atmósfera.

Investigaciones realizadas por el Instituto Holandés de la corrosión han revelado que la agresividad de la atmósfera resulta afectada por la composición y las propiedades del agua de lluvia especialmente en su conductividad eléctrica.

KHV Leafalang ha demostrado que los cationes Ca<sup>++</sup> (calcio), Mg<sup>++</sup> (magnesio), Na<sup>+</sup> (sodio) y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (amonio) y los aniones Cl<sup>-</sup> (cloruro), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrato), SO<sub>4</sub><sup>=</sup> (sulfato) y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (bicarbonato), son los iónes que se encuentran con más frecuencia y los más importantes; en la tabla VI se dan los análisis típicos del agua de lluvia en cuatro estaciones de ensayo del citado Instituto.

En la costa, en Scheveningen, el alto contenido de cloruro de sodio del agua de lluvia es debido a la proximidad del mar del Norte. En la zona minera que rodea la planta de fijación del nitrógeno de Lutterade, predomina el contenido en sulfato de amonio, siendo aquí los iónes sulfato los más fuertes promotores de corrosión.

El agua de lluvia de Amsterdam es, naturalmente, más agresiva que la del área rural de Weurt.

La corrosión queda también afectada por la cantidad de gases disueltos en el agua de lluvia. En una atmósfera ru-

TABLA VI

IONES HALLADOS EN EL AGUA DE LLUVIA DE CUATRO ESTACIONES DE ENSAYO  
(CANTIDADES EN Mg/L)

	LUTTERADE	SCHEVENINGEN	AMSTERDAM	WEURT
$\text{Ca}^{++}$	45	7	4	2
$\text{Mg}^{++}$	4	4	1	1
$\text{Na}^+$	11	35	6	3
$\text{NH}_4^+$	252	1	2	2
$\text{Cl}^-$	7	61	7	6
$\text{NO}_3^-$	71	3	2	1
$\text{SO}_4^{=}$	803	21	25	11
$\text{HCO}_3^-$	4	3	2	2

ral, el promedio de gases disueltos es de 30 - 35 cc por litro, con la composición siguiente:

27	-	32 %	de oxígeno
62	-	64 %	de nitrógeno
6	-	9 %	dióxido de carbono

#### MANCHAS BLANCAS:

El almacenamiento de artículos galvanizados en condiciones húmedas (por ejemplo, en la bodega de un buque) ocasiona a veces la formación de un abundante depósito gris o blanco conocido como manchas blancas. Vestigios de cloruros o ácidos aceleran este tipo de ataque motivado principalmente por la humedad condensada, conteniendo en disolución  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono). Particularmente en los trópicos entre el día y la noche favorecen la condensación, es aconsejable almacenar las planchas galvanizadas verticalmente con el objeto de evitar la acumulación de humedad. Las manchas blancas se componen de un carbonato básico de zinc, ( $2\text{Zn-CO}_3$ ,  $\text{Zn (OH)}_2$ ) con algo de óxido de zinc. La formación de dichas manchas pueden evitarse -- por un tratamiento de cromatación o almacenando los artículos galvanizados en sitios secos, en algunos casos pueden eliminarse limpiando la superficie manchada con una solución química -- 100 partes de talco y 20-40 partes de sosa cáustica al 10%, y seguido de un lavado con agua abundante. Los depósitos ligeros y grisáceos, pueden limpiarse con una solución diluida de ácido tartárico y carbonato amónico enjuagando a continuación con agua. Las manchas blancas, aunque desmerecen la apariencia -- del recubrimiento, una vez contrarestadas, no influyen la resistencia a la corrosión del mismo.

#### CORROSION EN ATMOSFERAS RURALES.

La corrosión del acero galvanizado en caliente es muy lenta en el campo, y son principalmente los nitratos, nitritos y el bicarbonato amónico disueltos en el agua de lluvia los -- que ejercen una ligera influencia corrosiva. La figura 12 -- muestra la relación entre el espesor del recubrimiento de zinc y la duración del mismo en un ambiente rural. En este tipo de ambiente el acero se corroe 30 veces más rápidamente que el -- zinc, mientras que en una ciudad o en una atmósfera industrial lo hace unas 15 veces más rápidamente (fig. 13).

Las pérdidas por corrosión halladas en un mástil de -

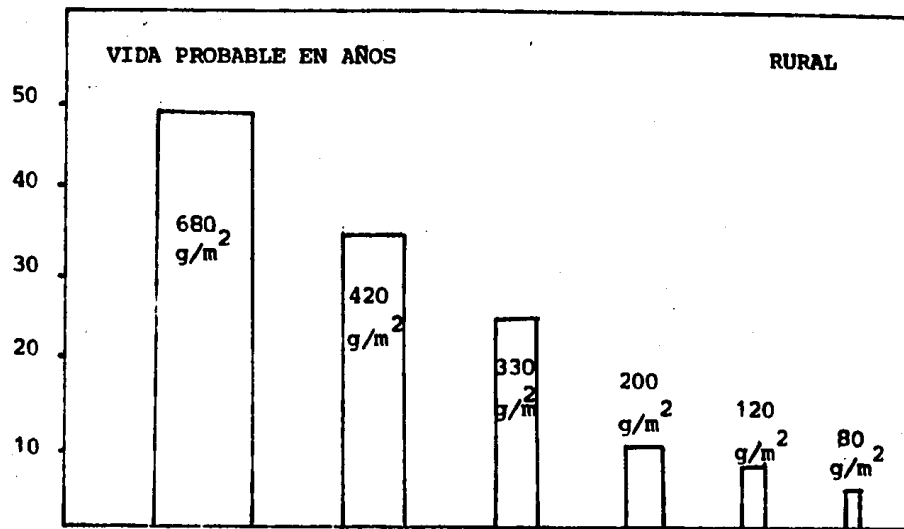


Fig. 12 Relación entre la vida probable del recubrimiento rural y el espesor medio del mismo.

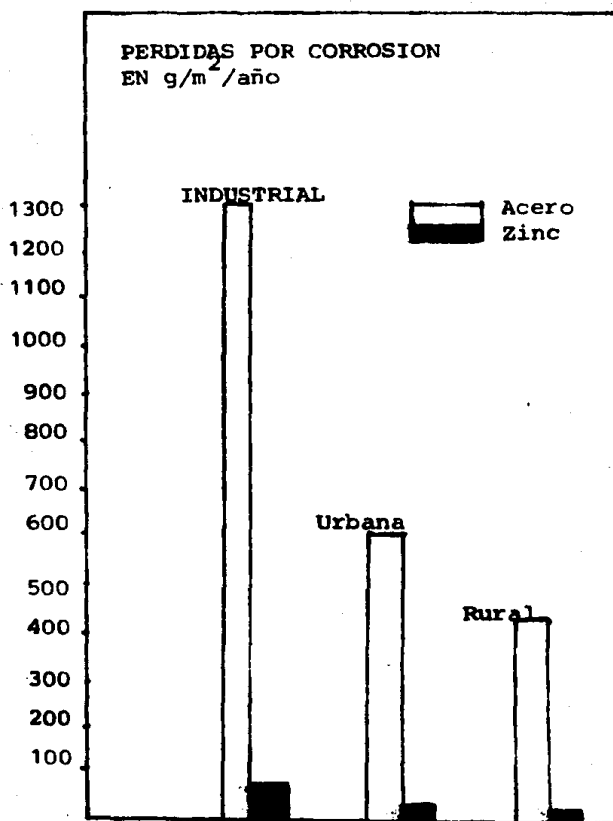


Fig. 13 Pérdidas por corrosión de acero y zinc en atmósfera industrial, urbana y rural.

la televisión británica (tabla VII), indican que el índice de corrosión no varía apreciablemente con la altura.

#### CORROSION EN ATMOSFERA MARINA.

El ataque en atmósfera marina está influido por la elevada temperatura y el contenido en sales de la misma y disminuye al aumentar la distancia al mar, debido principalmente a la disminución del contenido en sales (véase Tabla VIII). En atmósferas marinas sin embargo, el acero galvanizado en caliente posee un grado de resistencia a la corrosión considerablemente superior, proporcionando por otros recubrimientos metálicos, tales como el cadmio, aluminio, estaño o plomo.

Normalmente existe proporcionalidad entre los espesores de los recubrimientos y su duración, por lo que los recubrimientos más gruesos son naturalmente mejores. Los recubrimientos con 600 - 700 g/m<sup>2</sup> de zinc protegen al acero durante 30 - 35 años en los ambientes marítimos. (Fig. 14).

El zinc se corroe mucho más lentamente que el acero en atmósfera marina, siendo las cifras respectivas para la pérdida en peso debida a la corrosión de 18 - 20 g/m<sup>2</sup>/año para el primero y 750 g/m<sup>2</sup>/año para el segundo. Sin embargo, la acción de la arena impelida por el viento, que puede erosionar la capa protectora que se forma con los productos de la corrosión, pueden aumentar el índice de corrosión del zinc. Las pinturas empleadas para pintar sobre galvanizado deben ser de buena calidad, a causa de que, las de calidad inferior pueden hacerse porosas, absorben humedad salina y aumentar de esta manera el ataque sobre el zinc. En la fig. 15 se comparan los límites de los índices de corrosión que pueden esperarse en atmósfera marina, rural, industrial y urbana.

#### CORROSION EN ATMOSFERA INDUSTRIAL.

Es el tipo de corrosión atmosférica más agresiva debido a que siempre están presentes, los óxidos de azufre (SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>) en el humo y en los gases residuales, convirtiendo el zinc y su capa protectora de carbonato básico de zinc en sales de zinc, solubles.

Las partículas de polvo, cenizas, etc., llevadas por el aire se depositan en la superficie y aceleran la corrosión local; otras impurezas del aire industrial tales como: ozono -

TABLA VII  
VELOCIDADES DE CORROSION A DIFERENTES  
ALTURAS SOBRE EL NIVEL DEL SUELO

ALTURA (m)	PERDIDAS POR CORROSION (g/m <sup>2</sup> /año)
10	35
70	44
140	42
190	42

## TABLA VIII

IONES  $\text{Cl}^-$  Y  $\text{Na}^+$  PRESENTES EN EL AGUA DE  
LLUVIA A DIFERENTES DISTANCIAS DE LA  
COSTA (SCHEVENINGEN)

DISTANCIA DE LA COSTA (KM)	$\text{Cl}^-$ (mg/L)	$\text{Na}^+$ (mg/L)
0.4	16	8
2.3	9	4
5.6	7	5
48	4	2
86	3	-



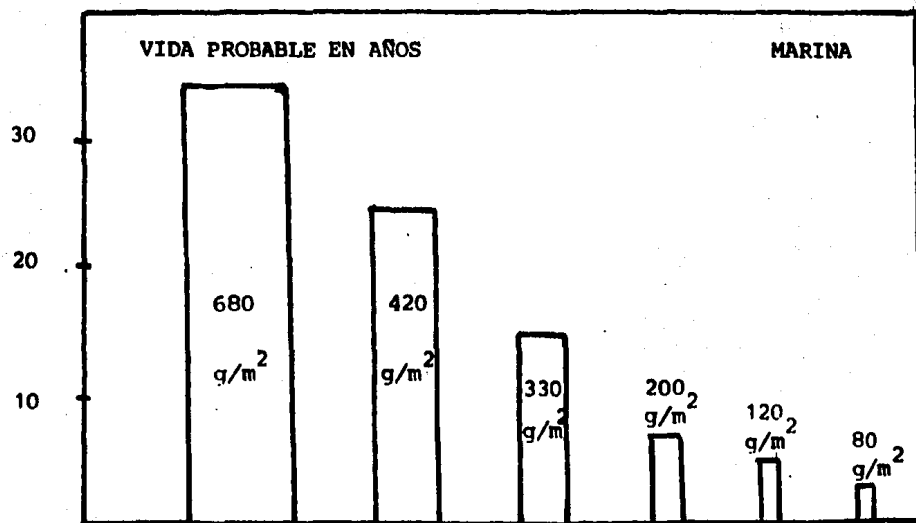


Fig. 14 Relación entre la vida probable del recubrimiento en un ambiente marino y el espesor medio del mismo.

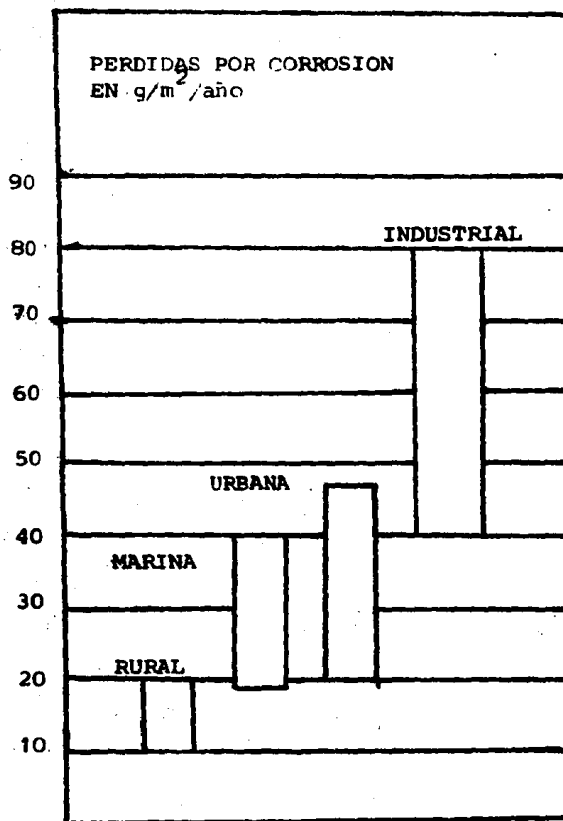


Fig. 15 Pérdidas máximas de zinc por corrosión en diferentes ambientes.

aldeídos, ácido fluorhídrico y fluoruros activan también el -- ataque. Los resultados de una investigación alemana (Fig. 16) muestran el efecto del  $\text{SO}_2$  sobre la corrosión del zinc, siendo el ataque más severo en el período noviembre-febrero, debido al mayor consumo de combustibles (en estufas, quemadores abiertos, etc.) que producen una mayor contaminación en la atmósfera con el  $\text{SO}_2$ . En las figuras 13 y 15 se ve claramente la mayor agresividad de la atmósfera industrial. En las zonas muy industrializadas el acero sin proteger se corroe a una velocidad veinte veces superior que la del acero galvanizado en caliente, cuya vida media es de unos 6 - 9 años. La pintura proporciona una vida adicional, pero es esencial que el acero esté galvanizado para que no se oxide cuando la pintura se deteriora. Gracias a ello se facilita la conservación que no necesita ser tan frecuente. Los productos de corrosión que se forman en atmósferas muy contaminadas, son a menudo de composición compleja. A continuación se comparan dos análisis de productos de corrosión; uno que corresponde a la corrosión en atmósfera industrial y la otra a corrosión del tipo urbano o rural.

#### COMPOSICION DE LOS PRODUCTOS DE CORROSION.

##### ATMOSFERA INDUSTRIAL

36.5 %	de zinc	, $\text{ZnO}$
20.9 %	agua de recristalización	
17.4 %	carbonato de zinc	
9.0 %	Sulfato de plomo,	$\text{PbSO}_4$
5.2 %	Sulfato de zinc,	$\text{ZnSO}_4$
4.5 %	Silicatos como	$\text{SiO}_2$
2.5 %	Oxido férrico	$\text{FeO}_3$
1.8 %	Sulfato sódico como	$\text{Na}_2\text{SO}_4$
1.1 %	Carbonato cálcico	$\text{CaCO}_3$
0.5 %	Partículas de hollín	
0.4 %	Carbonato magnésico	$\text{MgCO}_3$
0.2 %	Cloruro de zinc,	$\text{ZnCl}_2$

## ATMOSFERA RURAL O URBANA

52.6 % ZnO, Zn(OH)<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O

18.1 % ZnSO<sub>4</sub>

18.1 % ZnCO<sub>3</sub>

11.2 % Zn CO<sub>3</sub>

La tabla IX muestra las relaciones entre los espesores del recubrimiento y la duración en una atmósfera industrial muy viciada, tal como nos indica la ecuación:

$$L_{zn} = 0.0085 w + 0.5$$

donde:

L = equivale a la duración en años hasta que se cubra de orin, el 5% de la superficie.

w = Representa el peso medio del recubrimiento en g/m<sup>2</sup> (un lado de la superficie).

La corrosión de todos los metales de base está agudizada en las atmósferas industriales muy viciadas y las ecuaciones para el aluminio y el cadmio son:

$$L_{Al} = 0.017 w + 0.9$$

$$L_{Cd} = 0.0036 w + 0.1$$

Los datos para el zinc en la atmósfera de Londres, ligeramente menos agresiva, se dan en la tabla X.

Afortunadamente el número de zonas en las que se encuentran reunidos factores muy desfavorables para el zinc es pequeño y, en general, el ataque sobre las superficies galvanizadas es relativamente lento.

En las plantas de galvanización, cobertizos de fábricas de cemento o de trituradoras de carbón por ejemplo en donde el aire húmedo y caliente contiene indicios de SO<sub>2</sub> se han encontrado pérdidas por corrosión tan bajas como 15 y 4 g/m<sup>2</sup>/año, respectivamente.

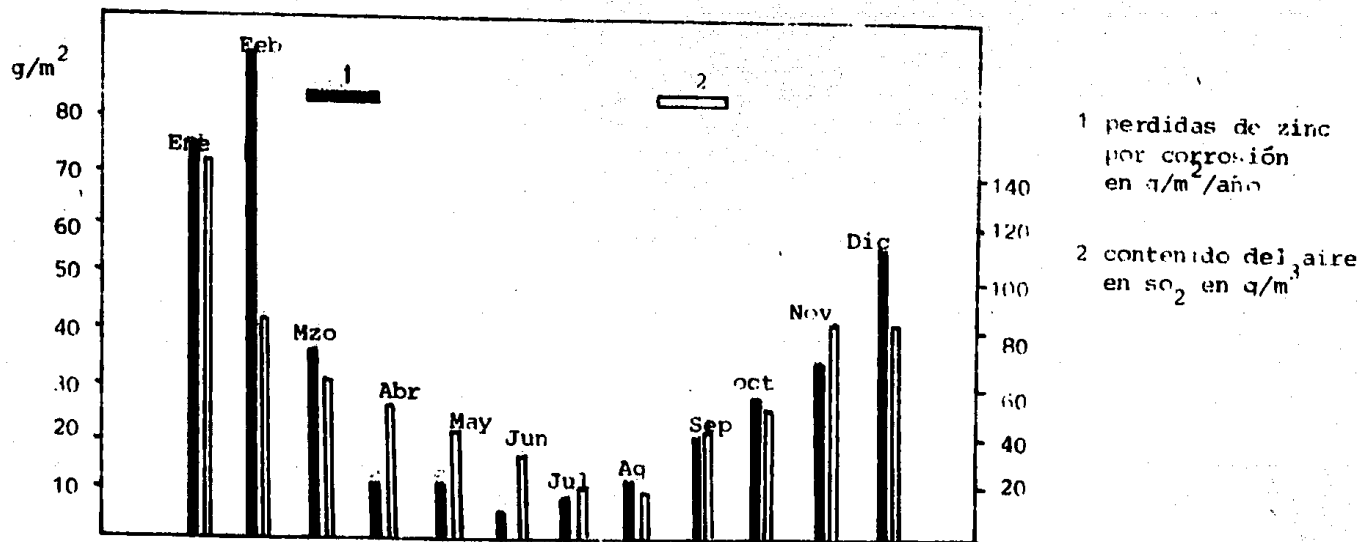


Fig. 16 Relación entre las pérdidas por corrosión de zinc y el contenido en dióxido de azufre del aire.

TABLA IX  
VIDA DE LOS RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS EN  
UNA ATMOSFERA MUY CONTAMINADA

RECUBRIMIENTO MEDIO PESO ( $\text{g/m}^2$ )	ESPELOR DEL RECUBRIMIENTO (MICRAS)	VIDA MEDIA (AÑOS)
305	42	3
400	56	5
490	68	6
760	105	9

TABLA X  
VIDA DE LOS RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS  
EN EL CENTRO DE LONDRES

RECUBRIMIENTO MEDIO PESO (g/m <sup>2</sup> )	ESPESOR DE RECUBRIMIENTO (MICRAS)	VIDA MEDIA (AÑOS)
305	42	5
370	52	6
490	68	8
610	87	10
730	101	12
910	130	15

## LA CORROSION EN LOS TROPICOS

La corrosión de todos los metales en las zonas tropicales secas es más ligera incluso en las regiones húmedas en las que la corrosión es algo más marcada, sigue siendo sustancialmente menor que en Europa Occidental. Excepto en el clima egipcio que es muy seco, en el que el índice de ataque es lentísimo, el zinc es mucho más resistente a la corrosión que el acero. En las regiones costeras, el contenido salino de la atmósfera afecta, como es natural a la velocidad de la corrosión. En la playa Lighthouse (Lagos, Nigeria), por ejemplo, la corrosión en la línea de los rompientes es extremadamente severa debido al intenso calor solar, al elevado contenido salino de la atmósfera y a las rociaduras intermitentes. El índice de ataque disminuye, rápidamente al aumentar la distancia a los rompientes.

## CORROSION EN SOLUCIONES QUIMICAS

El zinc metálico tiene un doble (anfótero) carácter, es decir es disuelto por los alcalis y por los ácidos fuertes. La fig. 17 ilustra claramente como influye el PH en las pérdidas por corrosión y demuestra que los recubrimientos de zinc no deben exponerse a la acción continua de soluciones cuyo PH esté por debajo de 6 ó por encima de 12.5. En el intervalo de PH 8 hasta PH 11 la corrosión del zinc es muy pequeña. El ataque ejercido sobre los recubrimientos de zinc en varias soluciones salinas neutras o temperatura ambiente se indica en la tabla XI.



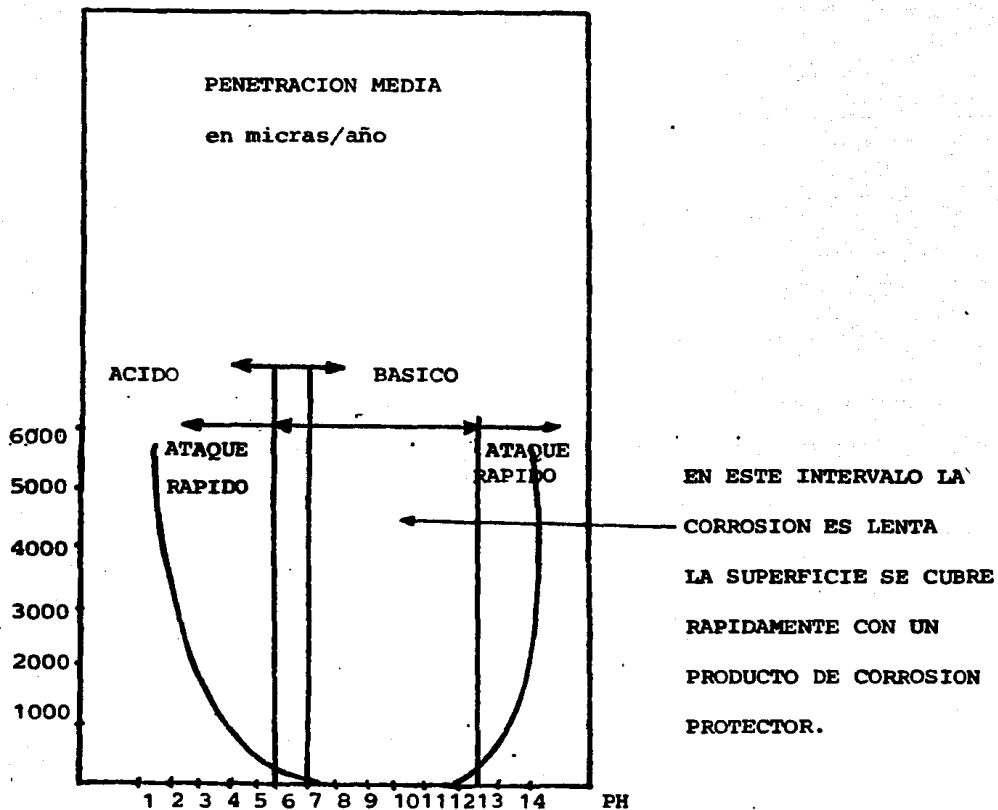


Fig. 17 Efecto del pH sobre la velocidad de corrosión del zinc.

TABLA XI

PERDIDAS POR CORROSION EN VARIAS SOLUCIONES  
SALINAS NEUTRAS A LA TEMPERATURA AMBIENTE.

SOLUCIONES ACUOSAS	DURACION DEL ENSAYO (MESES)	PERDIDA POR CORROSION g/m <sup>2</sup> /año.
Cloruro sódico 0.5 -50%	2	660-95
Cloruro cálcico 0.5 -30%	2	360-330
Nitrato potásico 0.5 -10%	6	110-40
Sulfato sódico 0.5 -30%	2	440-65
Sulfato potásico 0.5 -10%	2	440-180
Amoniaco 10%	1	1450 (aprox.)

El acero galvanizado en caliente es excepcionalmente resistente al ataque en soluciones que contienen cloruro de calcio empleadas frecuentemente en las plantas de refrigeración. En gasolina y en disolventes como el benceno y el tolueno, su resistencia al ataque es también muy elevada, pero no es tan buena en los productos petrolíferos que contienen ácidos nafténicos y compuestos de azufre y en carburantes que contengan alcohol.

El acero puede protegerse en un amplia variedad de condiciones mediante la galvanización en caliente. Este recubrimiento no sólo aísla al acero del contacto con los ambientes corrosivos sino que también lo protege catódicamente en todos los puntos en los que el recubrimiento esté deteriorado debido a los daños mecánicos.

Siempre que un objeto de acero lleve el espesor adecuado de zinc, según su naturaleza y forma y se tomen adecuadas precauciones en los ambientes más agresivos, su resistencia a la corrosión difícilmente podrá ser superada por cualquier otra forma de protección.

## CAPITULO

3

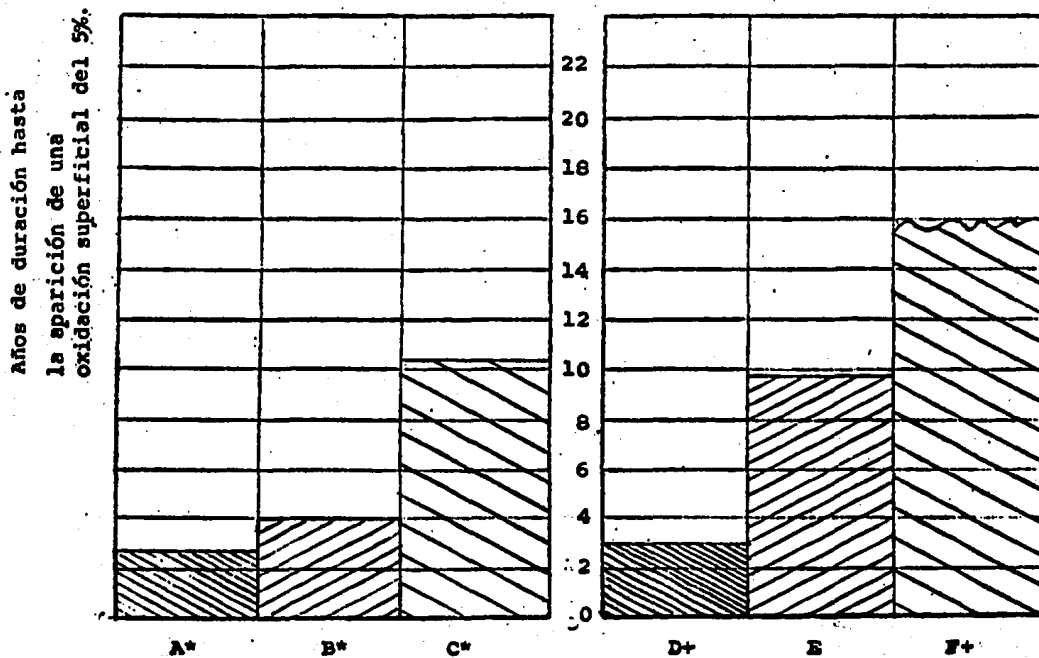
PROCESO DE PINTADO CONTINUO  
DE LAMINA GALVANIZADA

La galvanización en caliente, constituye el mejor procedimiento de protección del acero frente a la corrosión, como lo demuestra el hecho de que anualmente se protejan en el mundo por este método más de 20 millones de toneladas de acero. Los recubrimientos galvanizados en caliente son tenaces y resistentes a la abrasión y su velocidad de corrosión en la atmósfera es solamente del 3% al 10% de la correspondiente al acero sin recubrir. Por otra parte, los recubrimientos galvanizados protegen catódicamente al acero, por lo que éste no se corroe aunque queden al descubierto pequeñas zonas producidas por daño mecánico o por maquinado del material. No obstante, por motivos funcionales o decorativos puede considerarse necesario pintar las superficies de acero galvanizado, algunas veces la aplicación de color puede ser deseable por razones de estética o de señalización, y otras por motivos de camuflaje. Las pinturas pueden utilizarse también para aumentar la duración de la protección proporcionada por el recubrimiento galvanizado cuando el ambiente es muy corrosivo. En estos casos, un sistema de pintura adecuado que se aplique correctamente proporcionará una protección mucho mayor que un sistema similar aplicado sobre el acero en negro, ya que el substrato de zinc evita la corrosión que se inicia en los poros y grietas y que se propaga por debajo de la capa de pintura. Mediante ensayos realizados en estructuras de acero, se ha puesto de manifiesto que una pintura dura tres veces más sobre acero galvanizado que otra pintura equivalente sobre acero sin galvanizar. En la tabla 11 se muestran los resultados de los ensayos de corrosión en atmósfera industrial de acero galvanizado y pintado. Estos resultados demuestran que un recubrimiento galvanizado de 100 a 150 gramos de zinc por metro cuadrado de superficie

proporciona una duración de unos cuatro años, hasta que aparece óxido de hierro en el 5% de la superficie.

Un sistema de pintura de dos capas sobre acero sin galvanizar, dura unos tres años, y este mismo sistema aplicado sobre acero galvanizado proporciona una duración de unos diez años. Los pñeles de ensayo con el mismo sistema aplicado sobre recubrimientos galvanizados de 375 a 750 gramos por metro cuadrado continuaban en buen estado después de 16 años de exposición.

En la actualidad existe una gran variedad de recubrimientos protectores de diferente grado de complejidad y duración que proporcionan a su vez un aspecto agradable a los productos de acero. La tarea principal de un proyectista es la elección del mejor método de protección, al menor costo posible, tomando en consideración la duración probable en servicio de la instalación a proteger. Para alcanzar el éxito en esta elección es necesario combinar los principios económicos con los de la ingeniería y los de ciencia de la corrosión.



- A. Pintura sobre acero en negro  
 B. Lámina galvanizada en continuo ( $150 \text{ g/m}^2$ )  
 C. Lámina galvanizada más dos manos de pintura.  
 D. Pintura sobre acero en negro  
 E. Acero galvanizado ( $750 \text{ g/m}^2$ )  
 F. Acero galvanizado más dos manos de pintura

- \* Sistema de pintura utilizado: Imprimación de plumbato cálcico y mano de pintura alquídica.  
 \* Sistema de pintura utilizado: Wash primer y mano de pintura epoxídica.

TABLA 11

### 3.1. MATERIA PRIMA

#### PINTURAS:

- |                  |                               |
|------------------|-------------------------------|
| a) Alquidálicas. | e) Acrílicas                  |
| b) Poliester     | f) Epoxi-fenólicos (barnices) |
| c) Vinílicas     | g) Pintura de fondo (Primer)  |
| d) Plastisoles.  | h) Primer tipo epoxi.         |

Las pinturas se componen de dos partes, una sólida y otra volátil y las hay de horneado y secado al aire.



**Resina.-** Es el elemento sólido de la pintura.

**Pigmento.-** Es el color, que generalmente es polvo.

**Solvente.-** Es la parte líquida.

### 3.2 TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LA PINTURA

El recubrimiento metálico del zinc, es capaz por si solo de resistir una amplia gama de ambientes. Existen sin embargo algunos casos en que resulta ventajoso utilizar este recubrimiento metálico y la pintura conjuntamente y con esto beneficiar la estructura o instalación que se trate, por la mayor duración de la protección que así se obtiene, que resultar superior a la suma de las duraciones que tiene la pintura y el recubrimiento metálico actuando separadamente.

El tipo de pintura para garantizar una mayor protección, son aquellas pinturas ricas en zinc, en las cuales el polvo de zinc es el único pigmento activo y está presente en cantidades suficientes para que la pintura adquiera las cualidades de un recubrimiento metálico como son: un alto nivel de conductividad eléctrica y la protección catódica al acero. Esta doble propiedad distingue a las pinturas ricas en zinc de las otras pinturas inhibidoras de la corrosión.

Las pinturas ricas en zinc pueden ser:

- a) Base orgánica.
- b) Base inorgánica.

En el primer caso las pinturas de base orgánica, se formulan utilizando resinas epóxicas, ésteres epóxicos, polies-tireno o hule clorinado y algunos otros compuestos menos comunes además del polvo de zinc y algunos aditivos como óxido de calcio o algún otro compuesto que al reaccionar elimine cualquier cantidad de agua presente, ya sea en la resina o en los solventes se requiere aproximadamente un 90% de zinc en la película seca para tener una pintura de base orgánica realmente rica.

Las pinturas de base inorgánica, contienen silicatos de litio, potasio y sodio, como materia base y depende de una reacción entre el zinc y el medio de mezcla para formar una película, contrastan con las pinturas orgánicas en las que se procura justamente evitar una reacción entre el polvo y el medio. La reacción entre el silicato y el polvo de zinc empieza tan pronto como se mezclan. El polvo de zinc y el medio de mezcla se suministran en envases separados y se mezclan precisamente cuando se va a utilizar la pintura.

La cantidad de zinc en la pintura inorgánica es menor,

que en una de base orgánica, debido a que el medio de mezcla es más denso.

Las características relevantes de cada recubrimiento dependen de las condiciones de trabajo, sin embargo es posible generalizando hacer una breve descripción de cada tipo de recubrimiento con sus ventajas y desventajas.

Los recubrimientos alquidálicos. Las resinas alquidálicas, pueden ser descritas simplemente como polímeros formados a partir de la estrificación de varios alcoholes y varios ácidos.

Este tipo de resinas ha sido el primer tipo de recubrimiento usado en la línea de pintado continuo.

Para reaccionar la resina alquidálica en el tiempo de horneado requerido fue necesario modificarlas con otro tipo de resinas las cuales provocarán una verdadera reacción química al ser horneadas.

Estas resinas modificadoras fueron las amínicas (compuesto de carbono, hidrógeno y nitrógeno).

Esta combinación tiene una buena duración al exterior, buena dureza, resistencia a la abrasión pero muy pobre flexibilidad, ya que en el caso de la lámina pre-pintada, que vaya hacer post-formada, es necesario realizar esta operación en un corto tiempo después de aplicada la pintura, ya que durante el almacenaje, la flexibilidad disminuye notablemente, por lo cual no es posible formar la lámina después de mucho tiempo de pintada.

La adherencia de este tipo de materiales sobre lámina galvanizada es mala, evidenciándose por el desprendimiento de la pintura, después de un tiempo de exposición en el exterior. Debido a lo anterior es necesario utilizar recubrimientos vinílicos que permiten hacer el troquelado y formado de lámina pintada.

Estos recubrimientos están fabricados a base de resinas que son polímeros de vinilo, los cuales proporcionan excelente color y flexibilidad, así como una buena dureza y resistencia a la abrasión, buena duración al exterior y adherencia sobre lámina galvanizada sin primer siendo únicamente sus des-



ventajas: la pobre resistencia a solventes y altas temperaturas así como su alto costo.

Para solucionar los problemas encontrados con los recubrimientos vinílicos, se utilizan los organosoles y plastisoles en este tipo de recubrimientos la resina empleada es generalmente un polímero de cloruro de vinilo.

Esta resina no se disuelve, sino que se dispersa en un solvente (organosol) o en un plastificante (plastisol); una vez aplicado el recubrimiento, es necesario alcanzar en el horno la temperatura de fusión de la resina, de tal modo que las partículas dispersadas formen una película continua. Hay varias ventajas de este tipo de materiales, respecto a los vinílicos. Los principales son: mayor resistencia a la abrasión, mejor resistencia química, sólidos de aplicación mucho mayores y por lo tanto menor costo por unidad de área aplicada; las características de flexibilidad, resistencia a solventes y temperaturas, son básicamente las mismas que las vinílicas.

Los plastisoles se usan generalmente para acabados -- que van a ser posteriormente grabados o embozados, ya que se adaptan maravillosamente para este uso. Debido a su formulación, es necesario usar un primario ya que los plastisoles no tienen buena adherencia a los metales por si mismos.

Por otro lado tenemos los recubrimientos orgánicos -- que son de mayor duración al exterior aunque no muestra la flexibilidad de las vinílicas.

Las resinas acrílicas, tienen excelente color y retención de éste, buena resistencia química y duración al exterior, regulares propiedades de post-formado y flexibilidad, pobre resistencia al impacto y un costo menor que las vinílicas. Su uso principal, en láminas para fachadas y línea blanca, su adherencia sobre lámina galvanizada es satisfactoria.

Otro recubrimiento que conserva las cualidades de los acrílicos, pero tiene mayor flexibilidad y cualidades post-formado son los poliésteres. Estos materiales tienen buen color y retención del mismo, buena resistencia química y duración al exterior, buena flexibilidad, resistencia al impacto y propiedades de post-formado, así como un costo menor o igual a los acrílicos, únicamente que por sus cualidades de post-formado, su campo de aplicación es mucho más amplio, siendo este tipo de recubrimientos de mayor uso actualmente tanto en la industria como en la construcción.

Actualmente un material que es una innovación en cuanto a duración al exterior, son los recubrimientos modificados con silicón. De este modo surgieron las resinas: Alquid-silicón, poliéster-silicón y acrílico-silicón, las propiedades de cada uno de estos elementos dependen en gran parte del silicón con el cual esté modificada la resina, mientras mayor es ésta, las características del recubrimiento se asemejan a las de las resinas de silicón y por lo tanto tienen mejor color y retención del mismo, mucha mayor duración al exterior y resistencia a más altas temperaturas. El principal uso de estos materiales, es en techos, bardas o fachadas, las cuales requieren de una muy buena duración al exterior.

Por último tenemos los acabados epóxicos y fenólicos, los cuales se clasifican en un grupo aparte, debido a que no se usan en acabados que van a ser expuestos al exterior, y son notables por su alta resistencia química.

Las resinas epóxicas, por si solas no forman películas, es decir no pueden usarse para fabricar recubrimientos, sino que necesitan ser modificadas con otras resinas o compuestos químicos, con lo cual reaccionan para producir un nuevo polímero.

Los materiales usados en las líneas de pintado continuo, son generalmente epóxi-fenólica.

Estos recubrimientos se caracterizan por su alta resistencia química, adherencia a casi todas las superficies, resistencia a la abrasión, dureza y flexibilidad, sin embargo no son adecuados para ser usados al exterior. Su uso principal es en primarios y recubrimientos para el interior de envases y acabados de alta resistencia química.

Los recubrimientos Fenólicos basados en resinas del mismo nombre las cuales son producto de la reacción del fenol con el formaldehído, se caracterizan por su extraordinaria resistencia química, pobre flexibilidad y color, solamente se emplean cuando se requiere una resistencia química superlativa, en productos que no llevan mucho trabajo de formado.

En general los diferentes recubrimientos de pintado que se pueden aplicar deben ser seleccionados tomando en cuenta varios puntos antes de dar un acabado específico, algunos de estos puntos los cuales tienen que ver con el último uso a que se destinará la lámina son:

- a) Uso interior o exterior.
- b) Tipo de fabricación (doblado, troquelado, engargolado, etc.)
- c) Severidad de fabricación (radio del doblado, profundidad del troquelado)
- d) Si será subsecuente pintado, decorado, etc.
- e) Condiciones de corrosión que deberá soportar.
- f) Uso final específico.
- g) Ambiente o productos corrosivos con los que estará en contacto.

Una vez considerados estos factores, es posible seleccionar el acabado adecuado en la lámina y de esta manera garantizar una buena duración en la misma.

### 3.3 PROCESO DE PINTURA

Las superficies de acero galvanizado pueden pintarse fácil y satisfactoriamente utilizando técnicas y sistemas de pintura adecuados. Es necesario utilizar procedimientos y vehículos diferentes a los que se emplean para el acero sin galvanizar.

Como la superficie del acero recién galvanizado es generalmente muy lisa, la adherencia de las capas o películas de pintura sobre esta superficie no suele ser buena. Otras veces, la falta de adherencia se pone de manifiesto más tarde, como consecuencia de la formación de sales solubles de zinc en la interfase pintura-substrato, por la acción de las sustancias ácidas que tienen algunas pinturas o por los ácidos orgánicos de bajo peso molecular que se producen en el proceso de secado, durante el cual tiene lugar la oxidación de los ácidos grasos no saturados que forman parte de los aceites de las pinturas. Por este motivo, el primer tratamiento que se aplica sobre el acero galvanizado debe producir una reacción con la superficie de zinc que de lugar a una unión satisfactoria y, al mismo tiempo, ha de constituir una base adecuada para las capas de pintura subsiguientes.

#### TRATAMIENTOS PREVIOS

Para preparar una superficie galvanizada para su pintado, es fundamental dejarla previamente limpia de grasa, aceite o cualquier otra sustancia extraña, así como que esté bien seca. Las superficies de acero galvanizado están exentas de grasa cuando salen del baño de galvanización, pero pueden contaminarse durante el transporte y almacenamiento.

Cuando un recubrimiento galvanizado ha estado expuesto a la intemperie durante algún tiempo y su superficie inicialmente brillante ha pasado a ser gris mate, lo que indica que se ha formado una capa pasivante de óxidos y carbonatos básicos de zinc, algunas pinturas se adhieren bien y pueden aplicarse sin más tratamiento previo que la limpieza de la superficie mediante un simple cepillado.

En la práctica no se recomienda exponer deliberadamente el acero galvanizado a la intemperie por las razones siguientes:

1. Supone una pérdida, aunque pequeña, de recubrimiento de zinc.

2. No siempre es fácil determinar por simple examen visual cuándo está la superficie preparada para pintar. El tiempo varía mucho con las condiciones de exposición; en una atmósfera moderadamente agresiva puede oscilar entre seis y doce meses.
3. En las atmósferas industriales muy agresivas no se forma fácilmente esta capa pasivante y mientras tanto, se puede producir un ataque severo del recubrimiento galvanizado.
4. Muchas veces no es posible esperar a que se complete esta pasivación superficial, por razones económicas o de organización del trabajo en la obra o taller.

#### TRATAMIENTO MECANICO

Algunas veces se recurre al esmerilado de la superficie galvanizada con carborundo u otros materiales abrasivos para mejorar el agarre mecánico entre la pintura y el metal. Con este método se consigue mejorar la adherencia inicialmente, pero al no evitar las reacciones químicas causantes del problema, no es una solución a largo plazo.

#### TRATAMIENTO DE ATAQUE QUIMICO

Tampoco puede considerarse como adecuado el tratamiento con las soluciones ácidas denominadas "mordientes", a base de ácido clorhídrico diluido, sulfato de cobre, etc. Estos tratamientos no pueden controlarse fácilmente y, con frecuencia, producen un ataque excesivo del recubrimiento. Por otra parte, y al igual que el tratamiento mecánico, no es una solución para conseguir una buena adherencia a largo plazo.

#### TRATAMIENTO DE CONVERSION QUIMICA

Existen una serie de tratamientos químicos que actúan convirtiendo la superficie de zinc del acero galvanizado en compuestos complejos de zinc insolubles y de espesor suficiente como para neutralizar la posible interacción entre el zinc y las pinturas, así como para proporcionar una buena base adherente para éstas los más utilizados de estos tratamientos son el fosfatado y el cromatado.

## FOSFATADO

Mediante el tratamiento de fosfatado, que produce una transformación química de la superficie del acero galvanizado, puede lograrse una excelente adherencia permanente de muchas clases de pintura. La superficie resultante posee mayor resistencia a la corrosión y proporciona una adherencia excelente, tanto inicialmente como a largo plazo, para muchos sistemas de pintura.

El tratamiento de fosfatado se realiza normalmente -- por inmersión en una solución fosfatante caliente, pero también puede hacerse por rociado o mediante brocha (EN ESTOS DOS ULTIMOS CASOS CON SOLUCIONES ESPECIALES QUE SE APLICAN EN FRIO)

Los recubrimientos galvanizados que se hayan de fosfatar no deben pasivarse por cromatado, ya que el fosfatado no "agarra" sobre las películas de cromato.

### FOSFATADO EN CALIENTE.

El tratamiento de fosfatado en caliente da lugar a un recubrimiento integral, no metálico y muy adherente. Se utiliza especialmente en las líneas de pintado en continuo de lámina. Se requiere equipo especial y el tratamiento completo incluye normalmente cinco etapas:

1. Limpieza: se utiliza generalmente agentes de limpieza débilmente alcalinos. Los agentes de limpieza muy enérgicos pueden dar lugar a la formación de recubrimientos de fosfatos de grano relativamente grueso. La limpieza con disolventes está generalmente desaconsejada y en ningún caso debe utilizarse ácidos para este fin.
2. Enjuagado: Antes de fosfatar es necesario enjuagar bien con agua caliente para eliminar completamente todos los restos de álcali. Frecuentemente se agregan sales de titanio al agua de lavado o al agente limpiador, las cuales actúan como afinadores de grano en la formación del recubrimiento de fosfato.
3. Fosfatado: Se utiliza una solución de ácido fosfórico y fosfato de zinc con nitrato y fluoruro de níquel como activadores. El ácido fosfórico reacciona con el zinc dando lugar a una sobresaturación local de fosfato de zinc que precipita sobre la su

perficie. Se forma así una unión pseudometálica - ya que los cristales de fosfato de zinc tienden a alinearse con los del zinc subyacente. Para obtener buenos resultados es necesario un control muy cuidadoso de la concentración y de la temperatura.

El peso del recubrimiento de fosfato está en relación con su función. Así por ejemplo, para el material que haya de someterse a una conformación -- por laminación se utilizan recubrimientos de grano fino (1.4) a 1.9 g/m<sup>2</sup> de espesor), mientras que para el que no haya de sufrir deformación se prefieren los recubrimientos más gruesos, del orden de 1.9 a 3.6 g/m<sup>2</sup>.

4. Enjuagado: Después de la fosfatación es esencial - un lavado cuidadoso con objeto de eliminar tanto - la solución fosfatante que no haya reaccionado como los barroes que se forman durante la fosfatación.
5. Pasivación: Finalmente, mediante un aclarado con solución de cromato o de ácido crómico se consigue sellar el recubrimiento de fosfato, ajustar la acidez de la superficie para la mejor recepción de la pintura y mejorar la resistencia a la corrosión -- del sistema. Si el agua corriente disponible no es muy pura será necesario utilizar agua desionizada.

## CROMATADO

El tratamiento de cromatado se utilizaba originariamente para evitar la aparición de las llamadas manchas blancas, que se producen cuando el acero galvanizado se almacena o -- transporta en condiciones de humedad. La solución utilizada -- inicialmente era de dicromato potásico disuelto en ácido sulfúrico diluido. Esta composición se ha ido modificando con el -- tiempo y actualmente los productos utilizados contienen ácido crómico o una de sus sales, un generador de cromo hexavalente y compuestos mordientes y activadores. Al igual que el fosfatado este tratamiento puede impartirse por inmersión, rociado o mediante brocha, pero siempre en frío y mediante él se convierte la superficie de zinc en un recubrimiento amorfo de cromato/óxido que posee una gran resistencia a la corrosión y buenas características de adherencia de la mayoría de las pinturas. Esta película es relativamente blanda y flexible y puede teñirse fácilmente. Este tratamiento de cromatado exige un riguroso control de todas las variables del proceso.

Quando es necesario pintar los artículos o componentes de una construcción que estén fabricados con lámina galva-

nizada, la mejor solución es utilizar desde un principio la de nominada prepintada.

La aplicación de la pintura a esta lámina se realiza en líneas de pintado continuo que trabajan a alta velocidad y que se conocen con el nombre de líneas de "coilcoating". En estas líneas se logra un recubrimiento de calidad estándar y de gran uniformidad, que no puede alcanzarse por ningún otro método.

El pintado de los productos es con frecuencia la operación más cara y que lleva más tiempo en un proceso de fabricación. La utilización de lámina galvanizada prepintada, por ello, permite la eliminación de muchas operaciones de acabado en la planta del usuario, con su repercusión favorable en relación con el espacio, ahorro de tiempo y eliminación de costos de operación e inversiones.

La lámina prepintada, sin sufrir deterioro del recubrimiento, puede someterse a la mayoría de las operaciones de manufactura, tales como corte, troquelado, estampado, embutición profunda y conformación por laminación.

Las primeras instalaciones de este tipo trataban lámina de 60-100 mm. de ancho y 0.5 mm. de espesor, a una velocidad de 13 m. por minuto, aproximadamente. Las instalaciones más modernas pueden tratar láminas de hasta 1.850 mm. de ancho, 2 mm. de espesor, y trabajar a velocidades de unos 300 m. por minuto.

#### PROCESO DE LINEA DE PINTADO

Primeramente, la lámina pasa de la desbobinadora a la engrapadora, en donde la punta de la bobina que entra se une a la cola de la bobina precedente, y después se almacena en un acumulador de rodillos, para permitir que la línea trabaje de manera continua mientras se introduce una nueva bobina.

Luego se hace un tratamiento químico, que es una operación crítica para la calidad del producto final, consta de seis etapas principales separadas por cierto número de lavados intermedios. En cada etapa la lámina se rocía por ambos lados con chorros a presión y a la entrada y salida de cada una de estas etapas, unos rodillos "exprimidores" evitan la contaminación de un tratamiento con el producto del tratamiento precedente.



El primer paso consiste en una limpieza en álcali caliente, al que sigue un tratamiento de limpieza mecánica mediante unos cepillos que eliminan cualquier material extraño que pueda estar presente. A continuación la lámina se somete a otra operación de limpieza alcalina y, después de un lavado, pasa a la sección de fosfatado en donde se aplica un recubrimiento de conversión de fosfato de zinc. Finalmente, la lámina pasa por una solución ácida de cromato para sellar el recubrimiento de fosfato y aumentar su resistencia a la corrosión. Después de su secado, la banda queda preparada para recibir la pintura.

Otras veces, cuando las bobinas de lámina galvanizada han sido pasivadas previamente, el tratamiento de conversión consiste en un recubrimiento de cromato amorfo.

Su aplicación requiere un número análogo de etapas al del tratamiento descrito anteriormente. El espesor de las películas de cromato es del orden de los 550 mg/m<sup>2</sup>. La aplicación de la pintura se hace por medio de una máquina de cilindros con movimientos inversos que va equipada con dos cabezales superiores y uno inferior, y todos ellos pueden trabajar con dos o tres cilindros para aplicar diferentes recubrimientos a la lámina en el sentido de la marcha o en el inverso. Puede aplicarse el recubrimiento sobre los dos lados de la lámina simultáneamente.

La pintura se bombea desde los tanques a una bandeja situada debajo del cilindro de toma de pintura, que tiene su superficie cromada, este cilindro transfiere la pintura a otro cilindro de gaucho sintético, que es el que la aplica sobre la lámina. Este sistema es el que se utiliza para las pinturas diluidas, pero para la aplicación de los recubrimientos pastosos, tales como los de tipo plastisol y organosol, se requiere un dispositivo especial de tres cilindros.

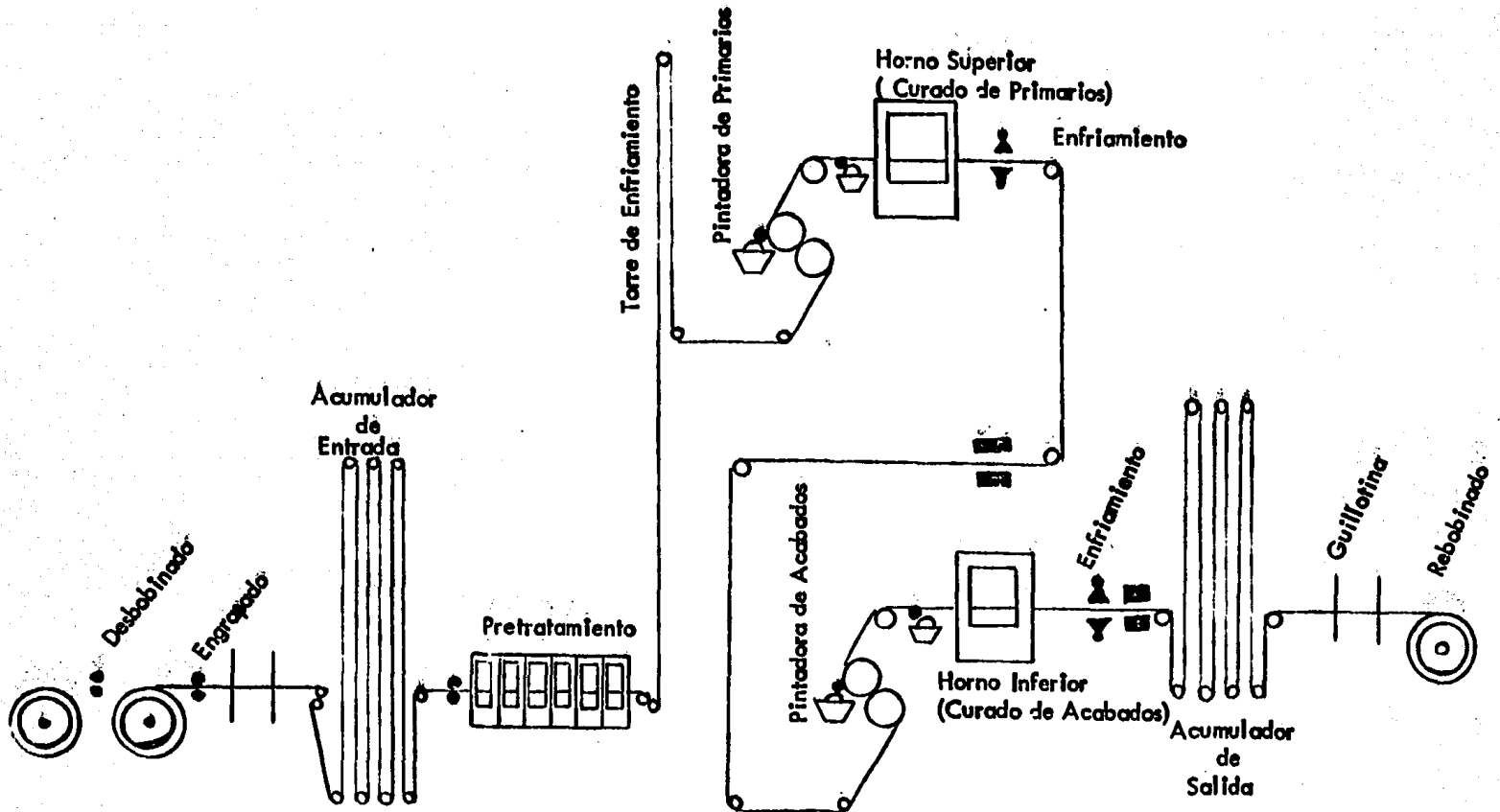
El espesor del recubrimiento viene determinado por la utilización final del producto, el costo y la duración en servicio deseada. Los recubrimientos estándar obtenidos con soluciones de resinas tienen un espesor aproximado de 25-30 mm.

Primeramente se aplica una pintura anticorrosiva (Primer), mediante el sistema de cilindros con movimientos inversos que se han descrito anteriormente, y después se seca pasado por un horno. Tras un enfriamiento, se aplica la pintura orgánica (pintura de acabado) mediante otro sistema análogo de cilindros y se deja un intervalo de unos siete metros de recorrido antes de que la banda entre en el horno de curado (hor-

no de pintura de acabado), que tiene unos 50 m. de longitud y se calienta generalmente con gas de coque desulfurado. Este horno está dividido en cuatro zonas de calefacción, controladas independientemente, para ir eliminando el disolvente de manera progresiva y evitar la vesiculación o levantamiento de la pintura. El ciclo de curado viene dispuesto de tal manera que la temperatura máxima del metal de base se alcanza en la tercera zona. Esta temperatura máxima varía para cada tipo de pintura, pero es del orden de 200° C-250°C. La lámina no se apoyó en ningún punto desde el momento que sale de los rodillos aplicadores hasta que es enfriada después al salir del horno. La catenaria que se forma tiene una longitud aproximada de 70 m.

El enfriamiento inicial es mediante aire a presión y después se completa con chorros de agua. El equipo completo incluye un segundo acumulador para regular la salida de las líneas durante el tiempo requerido para retirar las bobinas de las bobinadoras.

# DIAGRAMA DE UNA LINEA DE PREPINTADO



## C A P I T U L O 4

PROCESOS EFECTUADOS EN  
LAMINA GALVANIZADA

El problema que atañe a la producción de elementos de lámina galvanizada estampada se puede considerar como uno de los más importantes en el campo industrial de la producción en serie. En los últimos años se han incrementado las aplicaciones del estampado de lámina galvanizada en todos los sectores industriales, desde las construcciones más pequeñas a las más grandes. La producción mecánica continuamente está experimentando la urgente demanda de mayores cantidades y mejores productos; es debido a esto, la necesidad de adoptar el sistema del estampado de lámina galvanizada en ciertos problemas cuya solución, apenas hace algunos años parecía imposible poder llegar a realizar, como embutidos, dobleces severos y una serie de operaciones requeridas en la fabricación de muchos productos de acero, en lámina galvanizada.

Hoy el elemento de lámina galvanizada estampada es empleada en una vasta escala: la fabricación de artículos tales como partes automotrices, filtros, placas para automóviles, partes de equipo electrónicos, cubetas, perfiles, ductos de aire acondicionado, panales, frigoríficos, fondos de aparatos acondicionadores, partes de aparatos para el hogar (Tales como gabinetes de cocina, estufas, lavadoras, refrigeradores, etc.) y partes con engargolados o dobleces severos.

El elemento de lámina galvanizada estampada sustituye, en muchos casos a la fundición con la ventaja de una mayor ligereza y resistencia mecánica.

#### 4.1 GENERALIDADES SOBRE LOS CICLOS DE ESTAMPADO

Se llama estampado al conjunto de operaciones con las cuales se somete a una lámina plana galvanizada a una o varias transformaciones, con el fin de obtener una pieza teniendo forma geométrica propia, ya sea ésta hueca o plana.

Para llevar a la práctica estas operaciones se requieren dispositivos especiales llamados estampas o matrices y se aplican, según sus fines, sobre máquinas generalmente llamadas prensas.

Las operaciones del estampado de lámina generalmente se sub-dividen en: punzonar, doblar y embutir.

Las dos primeras operaciones se realizan generalmente en frío, mientras que la última se puede realizar en frío o -- en caliente según las necesidades requeridas. Otra operación característica que se puede realizar en frío, es la del engargolado.

Para obtener una pieza acabada de lámina galvanizada, a veces basta sólo con recurrir a un doblado, punzonado o a un embutido y, de un modo particular al punzonado. Pero no siempre se puede realizar este objetivo en una sola fase, porque frecuentemente y según los casos es necesario recurrir por lo menos a dos fases, ya sea: punzonar-doblar o punzonar-embutir.

Estos pares de fases pueden ser aparentes o nominativos, debido a que cualquiera de ellos, según las necesidades requeridas, podrían tener una subdivisión ulterior de un determinado número de operaciones semejantes y auxiliares para definir operación por operación. Esto sucede con frecuencia con las piezas huecas que se obtienen mediante la operación de embutido.

El ciclo de estampado que es una sucesión ordenada de operaciones técnicas que transforman parte de una lámina galvanizada en una pieza de forma definida, depende de varios factores, como son:

1. La forma de la pieza a obtener.- Esta nos impone, de un modo fundamental, un cierto número de operaciones directamente proporcional a la complejidad-

de la forma misma; por ejemplo, para obtener una simple cazoleta pueden ser suficientes dos operaciones: cortar el disco de lámina galvanizada y embutirlo.

2. Las dimensiones de la pieza.- Estas influyen igualmente sobre la determinación del número de operaciones necesarias; por ejemplo: Para obtener una cazoleta demasiado profunda en relación a su diámetro se requiere, además de la operación de cortar el disco de lámina galvanizada, dos o más operaciones de embutido.
3. La calidad del material que constituye la lámina galvanizada a trabajar.- También ésta influye en el número de operaciones requeridas para obtener una pieza. En efecto: mientras que un disco de lámina galvanizada muy plástica permite un embutido profundo, otro disco de lámina galvanizada de igual diámetro y de igual grueso que el anterior, pero de lámina galvanizada menos plástica, admite un embutido menos profundo. O sea para obtener una pieza es necesario un menor o mayor número de operaciones en relación a la mayor o menor plasticidad de la lámina galvanizada empleada. Estos factores se consideran todos al mismo tiempo, aunque no exista relación entre ellos. Para efectos de la determinación del ciclo de estampado.

Otro detalle que tiene que considerarse al iniciar el ciclo del estampado es la posibilidad de extraer la pieza de la matriz.

También deben tenerse previstas las condiciones térmicas, en el momento de estudiar las fases de trabajo, es decir, si el estampado debe realizarse en caliente o en frío. Por lo general, se realiza el trabajo en caliente en aquellos casos en que la pieza al cambiar de forma sufre una considerable transformación (además de su propia forma), en la cual debe tenerse en cuenta el grueso de la lámina. En otras palabras: no siempre es posible obtener en frío y en una sola fase una transformación plástica en frío de una lámina galvanizada gruesa (más de 7 mm.), requiere el estampado en caliente.

En el estudio de trabajo de una pieza determinada, es bueno preveer el modo y la posibilidad de construir las matrices, ya que adoptando simples y eficaces métodos de trabajo, se puede obtener el máximo rendimiento con el mínimo de operaciones. Sin embargo, muchas veces, según el tipo y la forma del objeto a obtener, es necesario aumentar el número de operaciones de trabajo con otras operaciones intermedias.

de la forma misma; por ejemplo, para obtener una simple cazoleta pueden ser suficientes dos operaciones: cortar el disco de lámina galvanizada y embutirlo.

2. Las dimensiones de la pieza.- Estas influyen igualmente sobre la determinación del número de operaciones necesarias; por ejemplo: Para obtener una cazoleta demasiado profunda en relación a su diámetro se requiere, además de la operación de cortar el disco de lámina galvanizada, dos o más operaciones de embutido.
3. La calidad del material que constituye la lámina galvanizada a trabajar.- También ésta influye en el número de operaciones requeridas para obtener una pieza. En efecto: mientras que un disco de lámina galvanizada muy plástica permite un embutido profundo, otro disco de lámina galvanizada de igual diámetro y de igual grueso que el anterior, pero de lámina galvanizada menos plástica, admite un embutido menos profundo. O sea para obtener una pieza es necesario un menor o mayor número de operaciones en relación a la mayor o menor plasticidad de la lámina galvanizada empleada. Estos factores se consideran todos al mismo tiempo, aunque no exista relación entre ellos. Para efectos de la determinación del ciclo de estampado.

Otro detalle que tiene que considerarse al iniciar el ciclo del estampado es la posibilidad de extraer la pieza de la matriz.

También deben tenerse previstas las condiciones térmicas, en el momento de estudiar las fases de trabajo, es decir, si el estampado debe realizarse en caliente o en frío. Por lo general, se realiza el trabajo en caliente en aquellos casos en que la pieza al cambiar de forma sufre una considerable transformación (además de su propia forma), en la cual debe tenerse en cuenta el grueso de la lámina. En otras palabras: no siempre es posible obtener en frío y en una sola fase una transformación plástica en frío de una lámina galvanizada gruesa (más de 7 mm.), requiere el estampado en caliente.

En el estudio de trabajo de una pieza determinada, es bueno prever el modo y la posibilidad de construir las matrices, ya que adoptando simples y eficaces métodos de trabajo, se puede obtener el máximo rendimiento con el mínimo de operaciones. Sin embargo, muchas veces, según el tipo y la forma del objeto a obtener, es necesario aumentar el número de operaciones de trabajo con otras operaciones intermedias.

Para artículos pequeños de lámina galvanizada que deban ser perforados en varios puntos y después doblados, será conveniente emplear un ciclo de trabajo combinado, es decir: - la estampa, formada por varios punzones y matrices, completará el trabajo de manera consecutiva y en un solo ciclo. En otros casos se prevé una sola estampa que realice al mismo tiempo la operación de cortar y embutir. De cualquier manera, racionalizando el proceso del estampado, será posible realizar un producto técnicamente perfecto y en gran escala, con lo cual será notablemente bajo el precio de cada objeto.



## 4.2 PUNZONADO O CORTE DE LAMINA GALVANIZADA

El punzonado es una operación mecánica, mediante la cual y con la aplicación de herramientas adecuadas para el corte (troqueles) se consigue separar una parte metálica de otra y obtener una figura de carácter geométrico determinada, en forma de superficie plana. Es una operación que va unida como todas las operaciones del estampado, a los fenómenos de transformación plástica y que, por otro lado, en la práctica, resulta casi siempre ligada al proceso del estampado propiamente dicho. El punzón, en el primer tiempo y prosiguiendo la presión que ejerce sobre la lámina galvanizada, completa su labor con una compresión del material, con lo cual da lugar a una deformación plástica del medio interpuesto; se origina en esta primera fase, un vientre cóncavo, fig. 18. Luego el punzón, prosigue su acción provocando una expansión lateral del medio plástico, sin remontar el material. El esfuerzo de compresión, un instante, igual a la resistencia de cortadura.

En estas condiciones, sobreviene un desgarro brusco y el trozo de lámina galvanizada sujeto al punzón se separa del resto y cae al fondo de la matriz fig. 19; hemos realizado un trabajo de punzonado.

Como podemos observar de la fig. 20 que cuando el corte o punzonado se realiza con un claro correcto, durante el proceso se forma un radio R que depende del espesor, la dureza de la lámina y también del afilado de la herramienta.

En todo el perímetro de la pieza hay una franja lisa, recta y pulida cuya altura es de  $D = 1/3e$ .

En los otros 2/3 del borde, el material es prácticamente arrancado y la superficie es áspera e inclinada y cuando el claro entre el punzón y matriz no es el correcto o bien la herramienta está desafilada, se producen rebabas en esta zona.

De la fig. 21 podemos observar que cuando el claro entre el punzón y la matriz es insuficiente se aprecia lo siguiente:

1. R es menor que el normal.
2. Sobre el borde de la pieza se forma una doble franja lisa.

3. El ángulo B de rotura es menor que el normal.
4. Se requiere de mayor presión para producir la pieza.

De la fig. 22 observamos que cuando el claro es excesivo se tiene:

1. R es mayor que el normal.
2. La franja lisa es más estrecha.
3. El ángulo B de rotura es mayor que el normal.
4. Queda rebaba en la pieza.

#### CALCULO DEL CLARO

Para lograr un corte correcto en la lámina, se requiere que al dimensionar los punzones y matrices se tome en consideración el claro que debe existir entre ellos. Un método muy bueno para determinar ese claro es aplicar la fórmula y tabla siguiente:

$$c = \frac{e}{k}$$

c = claro

k = constante

e = espesor

<u>MATERIAL</u>	<u>CONSTANTE (k)</u>
COBRE	21
LATON	20
ACERO SUAVE (e < 6 mm)	17
ACERO MEDIO (e < 6 mm)	16
ACERO DURO (e < 6 mm)	14
ALUMINIO	10

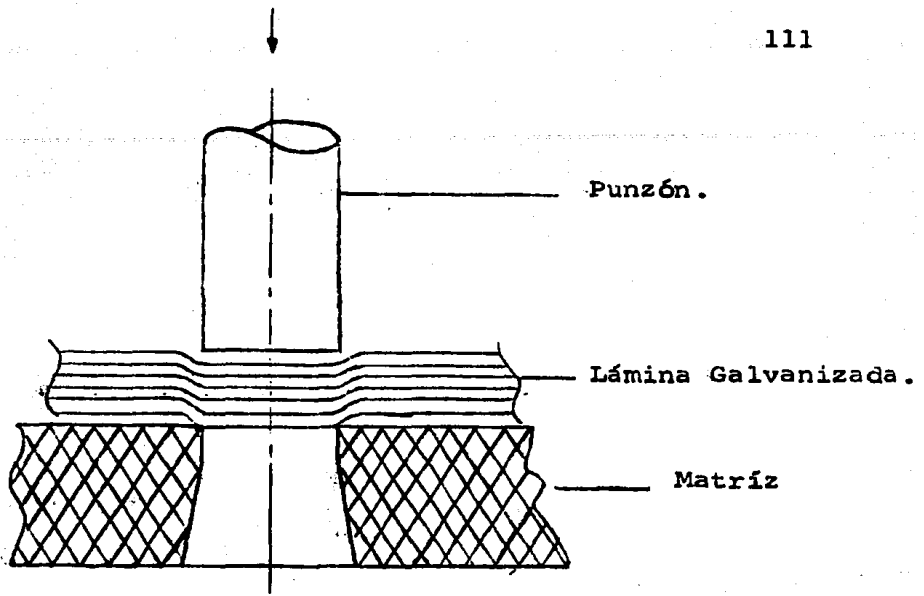


Fig. 18

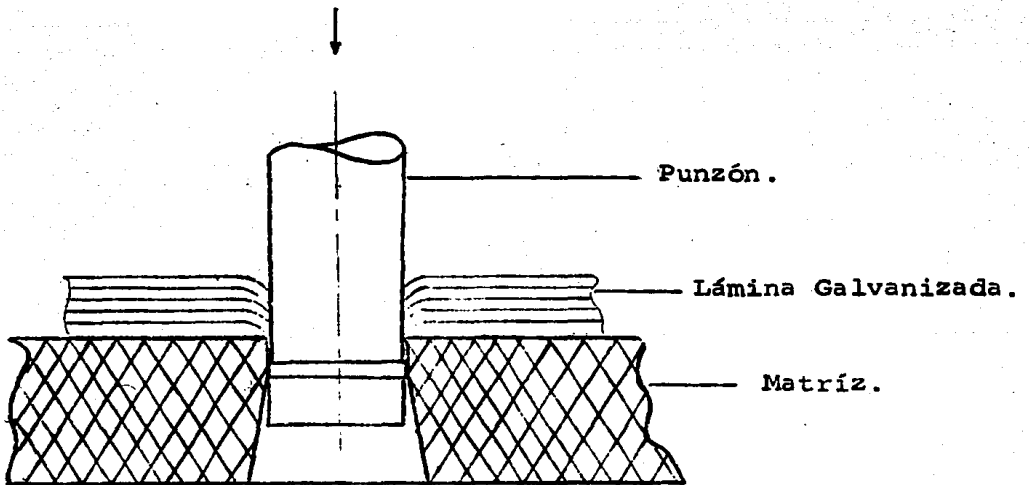


Fig. 19

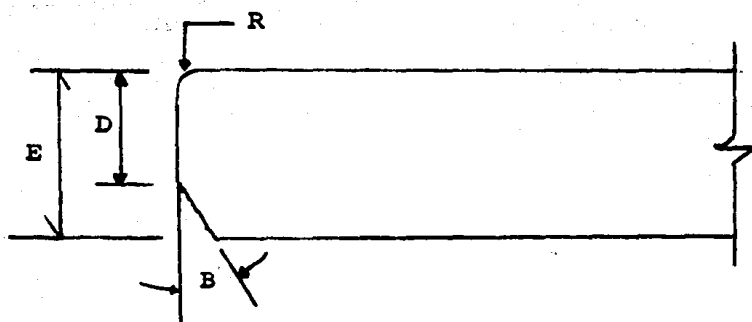


fig. 20

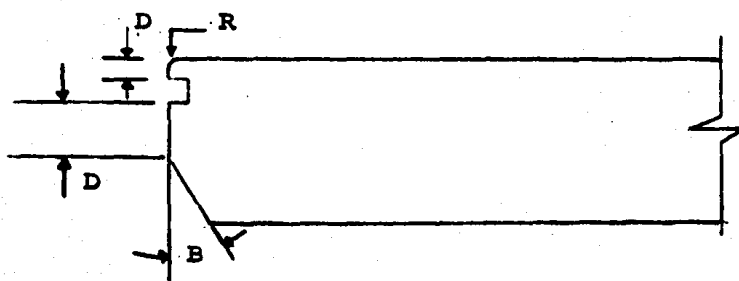


fig. 21

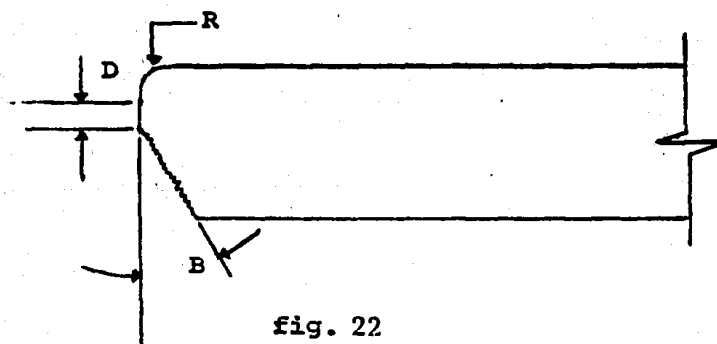


fig. 22

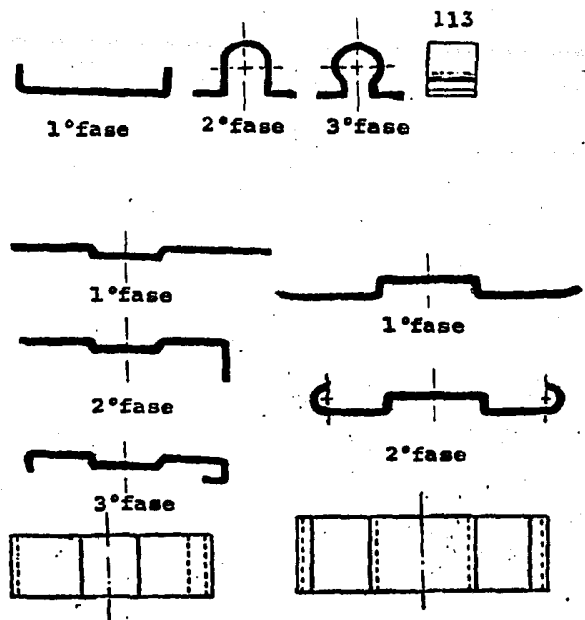
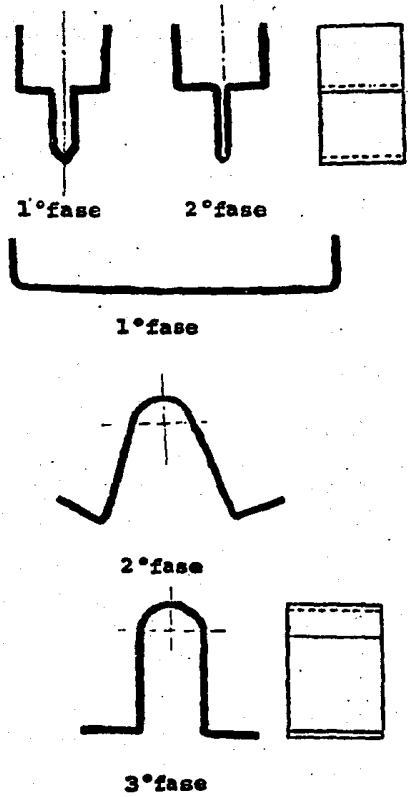
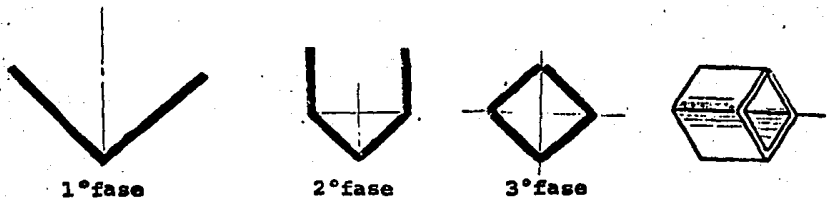


Fig. 23 Fases del Doblado Realizables con una sola estampa.



1° estampa.      2° estampa.  
Fig. 24 Fases de doblado Realizables con dos estampas.

### 4.3 DOBLADO DE LAMINA GALVANIZADA

El doblado es la operación más sencilla después de la del corte, en ésta se debe tener en cuenta los factores siguientes: El radio de curvatura y la elasticidad del material. De ser posible, deben de eliminarse los cantos vivos; se recomienda para esto fijar los radios de curvatura internos, mayores o iguales al espesor de la lámina galvanizada a doblar, -- los radios de curvatura son normalmente:

De 1 a 2 veces el espesor, para materiales dulces.

De 3 a 4 veces el espesor, para materiales más duros.

Una vez realizada la acción deformante que ha originado el doblado, la pieza tiende a volver a su forma primitiva en proporción tanto mayor cuanto más duro es el material de la lámina galvanizada; este fenómeno se debe a la propiedad que tienen los cuerpos de ser elásticos. Debido a este motivo al construir las estampas se fija, por tanteo, un ángulo de doblado más acentuado para que, una vez que haya cesado la presión, consiga dar a la pieza el ángulo deseado.

Algunas veces, antes de terminar por completo una pieza, es necesario efectuar más fases de doblado, que puedan llevarse a cabo con varias estampas o con una sola; ello depende:

- a) De la forma de la pieza o de la posibilidad de realización que ésta ofrece.
- b) De la cantidad de piezas a obtener.

Muchas veces, dada la forma de la pieza y sus principales dimensiones no se puede ni es conveniente realizar todas las fases con una sola estampa.

#### METODOS DE DOBLADO Y FUERZA REQUERIDA PARA EL MISMO.

Existen prácticamente dos métodos por medio de los cuales se obtienen piezas dobladas, estos son:

Método I.- Doblar en "V"

Método II.- Doblar en "U"

Pudiera ser que en algunos casos fuera diferente la forma de doblar, pero debido a la semejanza del método al de vigas que soportan cargas transversales podemos obtener los esfuerzos requeridos y las cargas.

#### METODO I.- DOBLADO EN "V"

Este método es el comportamiento de una viga simplemente apoyada con carga concentrada. En nuestro caso la viga viene siendo la lámina. La fuerza requerida para su deformación se determina por medio de las fórmulas usuales.

$s$  = Espesor de la lámina en mm.

$b$  = Ancho de la tira por doblar en mm.

$L$  = Distancia entre apoyos.

$P$  = Fuerza requerida para el doblado en Kg.

$M_f$  = Momento flector en  $\text{kg./mm}^2$ .

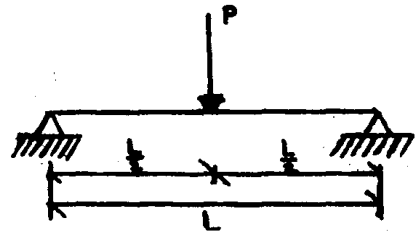
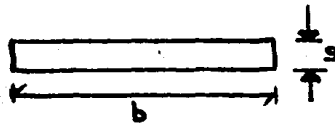
$s$  = Tensión de seguridad por flexión en  $\text{Kg./mm}^2$ .

$d$  = Tensión por flexión requerida para la deformación permanente y para el prensado en el fondo en  $\text{kg./mm}^2$ .

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal con respecto al eje neutro en  $\text{mm}^4$ .

$Z$  = La distancia máxima en mm. de las fibras a el eje neutro.

$\frac{1}{Z}$  = Momento resistente en  $\text{mm}^3$ .



Entonces como  $M_f$  = momento flector de la fuerza exterior es igual a:

$$M_f = \frac{P \cdot L/2 \cdot L/2}{L} = \frac{P \cdot L^2}{4L} = \frac{P \cdot L}{4}$$

Y el momento flector de la reacción molecular interior es igual a:

$$M_{fi} = \sqrt{d} \cdot \frac{I}{2}$$

Por otro lado  $\frac{I}{2} = \frac{b \cdot s^2}{6}$  para la sección rectangular suponiendo el momento resistente mínimo.

Ahora si sustituimos valores e igualamos  $M_{fi}$  y  $M_f$  tendremos:

$$\frac{P \cdot L}{4} = \frac{\sqrt{d} \cdot b \cdot s^2}{6} \quad \text{entonces} \quad P = \frac{2 \sqrt{d} \cdot b \cdot s^2}{3 \cdot L}$$

Esta última fórmula es la que se utiliza para calcular la fuerza requerida para doblar una lámina por el método I cuando el eje se encuentra en el eje centroidal.

**Ejemplo:** Se desea doblar una lámina galvanizada por el método de doblado en "V". Como la mostrada en la Figura.

**DATOS:**

$$a = 60 \text{ mm.}$$

$$b' = 60 \text{ mm.}$$

$$b = 100 \text{ mm.}$$

$$s = 6 \text{ mm.}$$

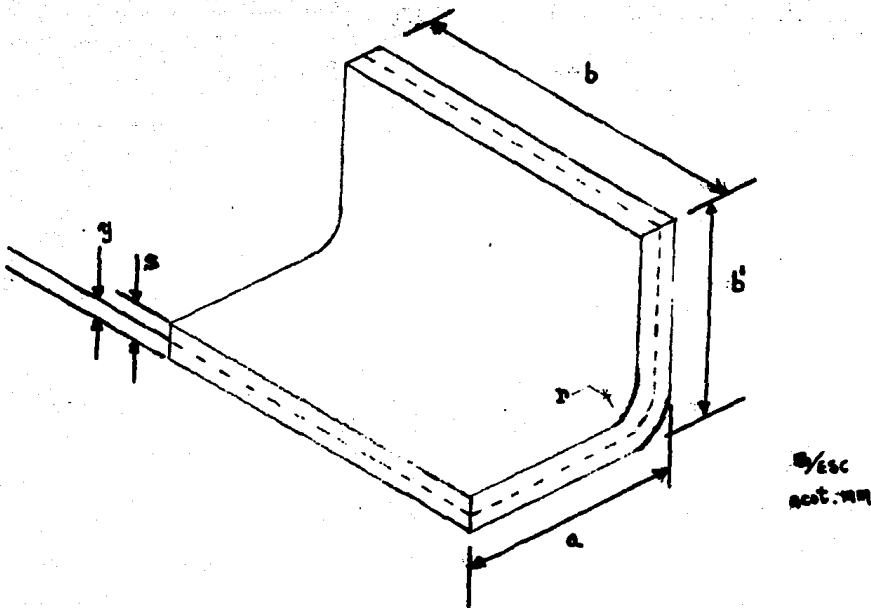
$$\sqrt{r} = 40 \text{ mm.}$$

$$\sqrt{d} = 3 r$$

$$y = 1/2 s$$

$$r = s$$





Solución:

$$L = a - (s + r) + b' - (s + r) + \pi/2 (r + y)$$

$$L = 60 - (6 + 6) + 60 - (6 + 6) + 1.57 (6 + 3)$$

$$L = 48 + 48 + 14.13 = 110.13 \text{ mm.}$$

Si sustituimos estos valores en la ecuación tendremos:

$$P = \frac{2\pi d b s^2}{3L} = \frac{2 \times 3 \times 40 \times 100 \times (6)^2}{3 (110.13)} = \frac{24000 \times 36}{330.39}$$

Entonces:  $P = 2615.09 \text{ Kg.}$

## METODO II.- DOBLADO EN "U"

En este método, se dobla según la forma indicada en la fig. 25. Considerando que la lámina durante la operación de doblado es cargada constantemente contra la cara del punzón por el efecto de un órgano elástico colocado debajo de éste; el sólido en este método, puede considerarse sometido a flexión como si fuera una ménsula. La fuerza máxima para doblar la lámina, no es un valor único para toda la operación; sin embargo, el macho al hacer contacto con la lámina obliga por sus bordes a resbalar lentamente sobre los planos inclinados (Por lo general a 45°) en esta primera operación los brazos a doblar tienen una longitud "a" y se requiere una fuerza inicial P<sub>1</sub> en el terminado punto que corresponda a las esquinas interiores de los planos inclinados, el macho debe actuar con una fuerza P<sub>2</sub> mayor que P<sub>1</sub> o que el brazo de doblado tome el valor mínimo -- "s" que es el espesor de la lámina, por lo que tenemos:

$$M_f = \frac{P}{2} (s + a) \quad \text{Si igualamos } M_f \text{ y } M_{fi} \text{ tenemos:}$$

$$\frac{P}{2} (s + a) = \frac{\sigma_d I}{c} \quad \text{presión máxima cuando}$$

$$a = 0$$

Entonces:

$$P = \frac{2\sigma_d I}{c} \quad \text{fuerza requerida para doblar una lámina por el Método II.}$$

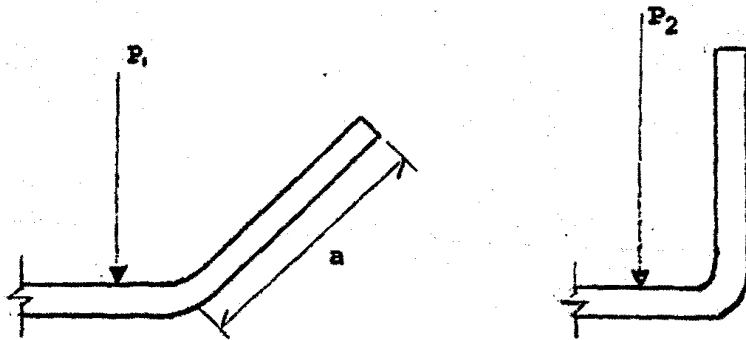
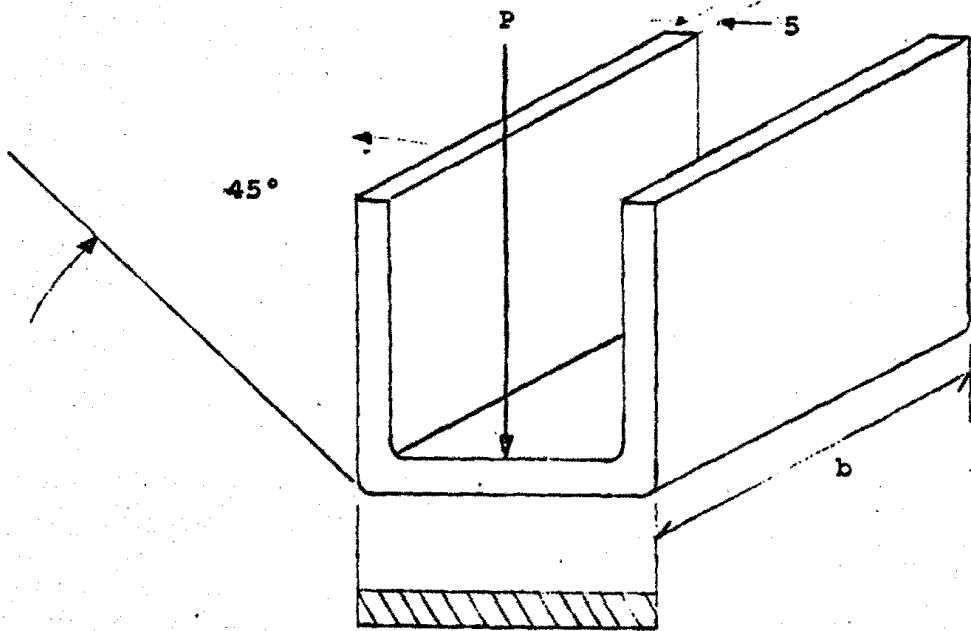


Fig. 25 Fuerza requerida para el doblado mediante el doblado en "U".

#### 4.4 EMBUTICION O ESTIRADO DE LAMINA GALVANIZADA

Es la operación que consiste en transformar una lámina galvanizada de metal en un cuerpo de revolución prismática, procediendo para ello gradualmente mediante una o varias operaciones.

El desarrollo base que proporciona el concepto del embutido es el de obligar a un trozo de lámina galvanizada metálica a pasar, mediante la presión ejercida por un punzón a través de un agujero de la matriz sufre una compresión que impide la formación de los pliegues que, de otro modo, serían inevitables. La compresión se produce en todo el borde del recipiente, mientras el fondo debe resistir el empuje del punzón. No siempre se puede embutir con un procedimiento sencillo como el que hemos expuesto. A causa de las grandes dimensiones de ciertas piezas y para grandes profundidades de embutido, cuando se trata especialmente de láminas galvanizadas muy delgadas, la operación debe realizarse con mucha destreza a fin de mantener fijo el contorno de la lámina galvanizada. Para realizar esta operación, se coloca el borde de la lámina galvanizada metálica entre dos planos que sujetan la misma mientras en la parte central se desarrolla el embutido; de esta manera el material es obligado a estar extendido superficialmente agarrándose al borde y resbalar enseguida lentamente, ver fig. 26.

Con esta operación se consigue eliminar la formación de pliegues. Es obvio que el material de la lámina, a pesar de todo, también sufre un "estiramiento"; éste será tanto mayor cuanto mayor sea la presión ejercida por los órganos de sujeción del borde de la lámina; ver fig. 26.

A continuación se describe una estampa para embutir.

Examinemos uno de los más corrientes modelos construidos de lámina galvanizada, para embutir piezas de pequeñas y medianas dimensiones. La fig. 27 nos proporcionará la primera idea.

Supongamos que la lámina galvanizada a embutir se ha introducido bajo la pieza de retención 7 y que de ahí debe escurrirse suavemente. El punzón 1 está fijo al portapunzón 2 mediante uno o varios tornillos. Este conjunto 1-2 se fija en la parte móvil de la prensa; el macho 1, durante su descenso hacia la lámina galvanizada, penetra en la matriz 3 y moldea el objeto. El casquillo 4, que al iniciarse el embutido se enclava en el borde del plano superior, es bajado por la pre-

si3n del macho 1 acompa1ando a la l1mina galvanizada al mismo tiempo que comprime el muelle 5.

La misi3n del casquillo 4 es impedir el arrollamiento de la l1mina galvanizada. El disco de retenci3n 7 garantiza un buen embutido sin arrugas. Al terminar la operaci3n, el macho 1 retrocede y abandona libremente al casquillo 4, que bajo la acci3n del muelle 5 (o de dispositivo de goma el1stica) asciende y expulsa el objeto embutido. Al hacerse la operaci3n, deber1 colocarse, convenientemente la l1mina galvanizada a embutir. La matriz 3 va fija a la base 6 que a su vez se fija en la mesa de la prensa.

Dos simples lenguetas, que encajan en dos entallas laterales del portapunz3n 2 (pero independientemente de 3ste), sirven para actuar sobre la franja sobrante del recipiente embutido y extraer a 3sta del macho 1 durante la carrera de retorno. Todo lo anterior expuesto sirve para formarse un concepto esquem1tico sobre los procedimientos de embutido.

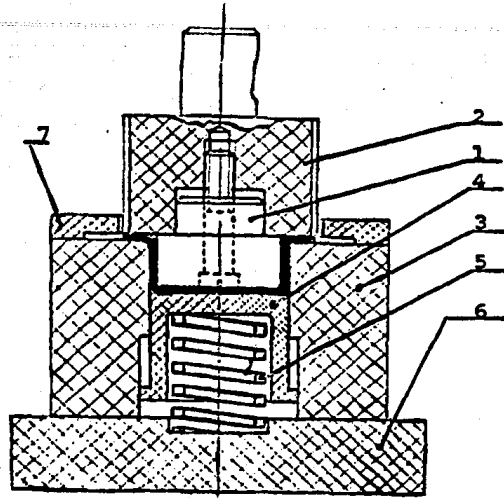


Fig. 27 Esquema de una estampa sencilla de embutir.

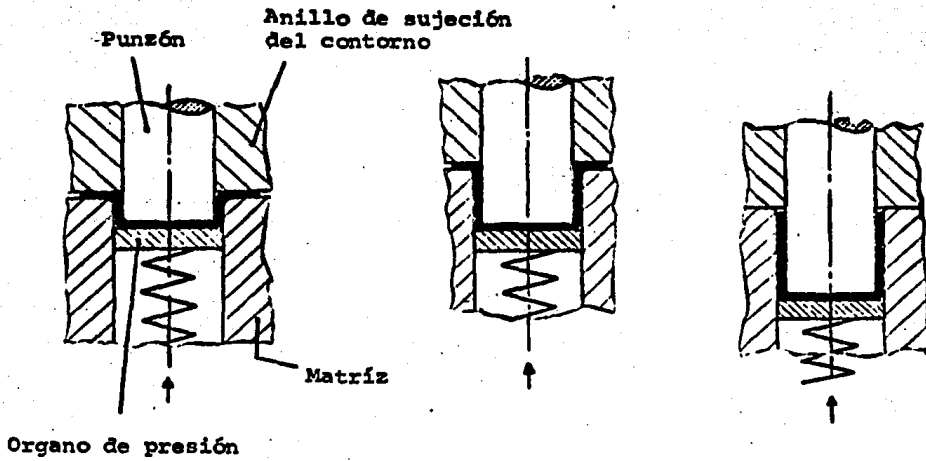
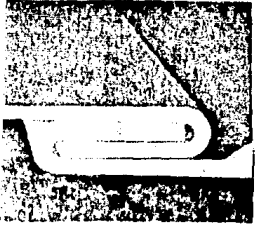


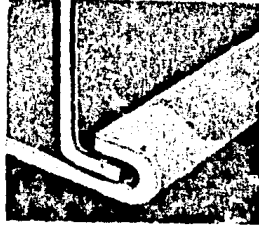
Fig. 26 Algunas fases durante la operación de embutido.

#### 4.5 ENGARGOLADO DE LAMINA GALVANIZADA

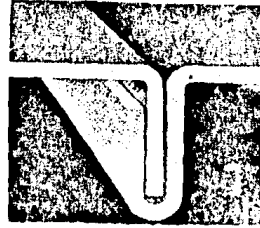
Esta operación consiste en unir dos piezas de lámina separadas, o los extremos de una tira de lámina galvanizada -- curvada, con el fin de obtener una unión hermética. El engargolado puede ser realizado interior o exteriormente, y puede hacerse en forma redonda, cuadrada, rectangular, ovalada y recta o lineal. Con la ventaja de la unión hermética el engargolado ha encontrado amplia aplicación en el uso de lámina galvanizada destinada a techos.



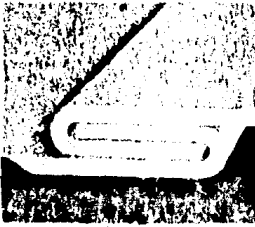
Engargolado sencillo.



Engargolado sencillo  
para solución de esquina. •



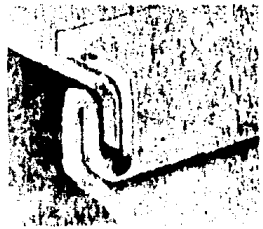
Engargolado sencillo  
saliente.



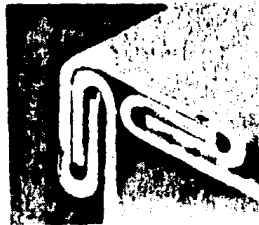
Engargolado sencillo  
con ranura.



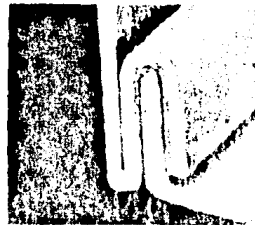
Engargolado doble saliente. •



Doble engargolado con  
ranura para solución de  
esquina.



Solución de esquina  
con doble engargolado  
y refuerzo.



Doble engargolado para  
solución de esquina.



## CAPITULO 5

## CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad se inicia con la comprobación de la calidad de las materias primas e invariablemente se hacen determinaciones para verificar, si tanto el acero como el zinc, que constituyen básicamente las materias primas, tienen la característica necesaria para que a su vez el producto terminado, la lámina galvanizada tenga buena calidad.

Como se ha analizado el sistema de galvanización continua por inmersión en caliente, nos ocuparemos básicamente en el control de calidad en este sistema.

En México existen proveedores de acero que lo producen en hornos de hogar abierto, horno básico de oxígeno y horno eléctrico. Sin embargo el acero que proporcionan presenta exactamente las mismas características esto es, lámina de acero calidad comercial rodada en frío y sin recocer, es decir -- cruda en calibres hasta el 14, en calibres mayores normalmente se usa rolado en caliente.

Al tenerse, la lámina por medición directa se determina su ancho y sus espesores (esto último sólo es posible hacerlo en la parte inicial y final del rollo) así mismo, se verifica el peso y antes de almacenar se le rocían las partes laterales del rollo con aceite antioxidante a fin de prevenir la oxidación atmosférica durante el tiempo de almacenamiento.

Una vez que el rollo entra a proceso resulta más fá--

cil observar sus características y determinar si se encuentran dentro de las especificaciones establecidas, aquí se puede observar el acabado superficial de la lámina, el grado de ondulación y camber y por medio de un aparato de rayos X, su espesor a todo lo largo del rollo y en distintos puntos a lo ancho. En caso de que un rollo no reúna los requisitos necesarios para obtener lámina galvanizada con la calidad que se requiere será sacado del proceso.

En lo referente al zinc, los rangos de variación en - que deben mantenerse algunos elementos que intervienen en la - composición del zinc son muy estrechos y además porque ligeras variaciones ocasionan serios problemas en la calidad de la lámina galvanizada tales como:

Adherencia de la capa de zinc, apariencia, dificultad para controlar el espesor de la capa depositada, uniformidad - del revestimiento, etc.

Es necesario mantener todos los elementos de aleación que integran la composición química del zinc, utilizado para - galvanizar dentro de los límites especificados.

La determinación se hace cuando el zinc se está usando para galvanizar.

Se recaba una muestra líquida directamente de la paila al metro de profundidad aproximadamente y utilizando métodos calorimétricos se determina el porcentaje de: Aluminio - - (Al) Antimonio (Sb) y Plomo (Pb). Si el contenido de estos - - elementos es incorrecto, se agrega a la paila la cantidad que necesita de cada elemento.

La lámina galvanizada debe cubrir básicamente los requisitos establecidos por las especificaciones DGN B-9 y B-55- en lo que a requisitos generales se refiere y además deberá sujetarse a las especificaciones de la NOM B-71 (Ver apéndice).

La diferencia entre las calidades mencionadas estriba básicamente en el grado de recocido que se da a la lámina, - pero además tiene una marcada influencia el análisis químico - del acero principalmente en el contenido del carbono. El grado de recocido que nos determinará las características finales de troquelabilidad de la lámina de la tabla de "Especificaciones de propiedades físicas para la lámina galvanizada" nos - - muestra la dureza máxima así como la mínima elongación que debe

ESPECIFICACIONES DE PROPIEDADES FISICAS PARA LAMINA GALVANIZADA

CAL.	ESPEJOR EN PULG.	MIN.	MAX.	TROQUELADO ELONG. MINIMA MM.	MEDIO DUREZA Rock-B Máxima	TROQUELADO ELONG. MINIMA MM.	PROFUNDO DUREZA Rock-B Máxima	TROQUELADO ELONG. Mínima MM.	EXTRA- PROFUNDO DUREZA Rock-B Máxima
30	0.0141	0.0111	0.0171	7.65	60	8.35	55	8.95	46
28	0.0170	0.0140	0.0200	7.85	"	8.50	"	9.10	"
26	0.0200	0.0170	0.0230	8.25	"	8.85	"	9.45	"
24	0.0230	0.0200	0.0260	8.35	"	9.25	"	9.75	"
22	0.0320	0.0280	0.0360	9.25	"	9.75	"	10.30	"
20	0.0380	0.0340	0.0420	9.70	"	10.20	"	10.70	"
18	0.0499	0.0449	0.0549	10.45	"	10.95	"	11.35	"
16	0.0619	0.0559	0.0679	11.10	"	11.50	"	11.90	"
14	0.0768	0.0688	0.0848	11.70	"	12.05	"	12.35	"
13	0.0918	0.0838	0.0998	12.30	"	12.40	"	12.60	"
12	0.1067	0.0987	0.1147	12.60	"	12.80	"	13.00	"
11	0.1217	0.1137	0.1297	12.80	"	13.10	"	13.30	"
10	0.1366	0.1286	0.1446	13.20	"	13.30	"	13.50	"

soportar la lámina antes de ocurrir la fractura para cada calibre al efectuar el ensayo de copa Erichsen de acuerdo a estos resultados se clasifica la lámina en calidad troquelado medio, troquelado profundo y troquelado extra profundo.

Las pruebas a las que se somete la lámina galvanizada después de que sale de su proceso son las siguientes:

**DETERMINACION DEL PESO DE RECUBRIMIENTO DE ZINC.-** Esta prueba se lleva a cabo por un medidor de capa electrónico "NUCLEONIC" que se coloca a muy corta distancia de la paila por lo que la medición de la capa de zinc se hace casi inmediata después de que la lámina ha sido galvanizada y en esta forma la acción correctiva en caso de que sea necesaria se lleva a cabo inmediatamente. Este equipo mide exactamente la capa de zinc por cada cara de la lámina en esta forma se tiene la seguridad de que la capa de zinc es uniforme y está perfectamente bien repartida en ambas caras.

**PRUEBA DE ADHERENCIA DE LA CAPA DE ZINC AL METAL BASE.-** De cada rollo se toma una probeta a todo lo ancho de la lámina y se somete a la acción de una roladora que dobla la lámina sobre sí misma varias veces a  $180^\circ$  en todos los casos. A esta prueba se somete la línea en calibres hasta el 18 como máximo, en calibres mayores, la prueba se hace doblando las probetas de la lámina en varios puntos a lo ancho sobre sí misma, formando un ángulo de  $180^\circ$  utilizando un tornillo de banco o bien haciendo el dobles a golpes de martillo.

En ambos casos la capa de zinc no deberá mostrar desprendimientos o agrietamientos en el área sometida a prueba.

**PRUEBA DE DUREZA.-** La dureza es el ensayo que más frecuentemente se utiliza en los metales porque es de realización sencilla y sus resultados pueden correlacionarse con la resistencia a la tracción y el límite elástico para determinar el grado de troquelabilidad de la lámina.

El ensayo de dureza se basa en medir la resistencia del metal a la penetración de un cuerpo esférico, cuando un penetrador bien diseñado es forzado contra el metal con una carga, se produce una impresión y la dureza se mide con una magnitud inversamente y proporcional a las dimensiones de la impresión.

Existen varios tipos de aparatos probadores de dureza,

en este caso se utiliza un Rockwell que es especial para materiales delgados debido a que sus huellas de penetración son -- muy pequeñas.

El aparato Rockwell mide la profundidad de huella o - impresión producida por una bola de acero de 1/16" de diámetro, cada cifra Rockwell corresponde a una penetración de 0.002" -- (0.05 mm.).

**ELOGACION (ENSAYO DE COPA ERICHSEN).**- Consiste en someter la lámina a un alargamiento en forma de copa hasta que la lámina se fractura. La prueba se hace en una máquina especial. Erichsen la copa la forma un punzón con punta de bola de 20 mm. de diámetro y una matriz que permite el deslizamiento de la lámina entre ésta y el punzón además existe una pieza que apoya -- firmemente la lámina en el área inmediata a la elongación para evitar estiramiento. Para el éxito de esta prueba intervienen varios factores como son la velocidad de embutición y la lubricación de la probeta y la colocación de la misma en la máquina así como la aplicación de la carga de apoyo correcta.

La máquina mide la elongación en milímetros que alcanza la capa en el momento de ocurrir la fractura, así como la - carga necesaria en kg. para elongar la lámina y llevarla hasta la fractura.

El resultado de esta prueba se complementa con el dedureza y con base en ambos resultados se clasifica la lámina en cuanto al grado de troquelabilidad.

**PRUEBA DE IMPACTO.**- Esta prueba se aplica solamente a la lámina galvanizada, destinada a una operación posterior del pintado.

Consiste en aplicar una carga repentina en ambas caras de la lámina provocada al dejar caer una barra de 4 libras de peso desde una altura de 40" a través de un bástago sobre un punzón con punta de bolsa de 5/8" de diámetro, la barra cae sobre el punzón que a su vez está apoyado sobre la superficie de la lámina provocándole una deformación de forma semiesférica dada por la punta del punzón.

El recubrimiento de zinc no debe presentar desprendimiento ni agrietamiento después de aplicar sobre la parte deformada cinta adhesiva Scotch 600, la cual primero se fija firmemente y se quita en forma repentina.

**PRUEBAS DE MEDICION.-** Por medición directa de la lámina galvanizada cuando es cortada a hojas se verifica: Longitud, ancho, escuadre, planez, camber y espesor. Al llevar a cabo estas mediciones sus resultados deberán de estar de acuerdo con las tablas contenidas en la norma B-55 de la dirección general de normas (DGN).

Todas las pruebas mencionadas hasta ahora se llevan a cabo invariablemente sobre toda la producción de lámina galvanizada pero además de llevar a cabo otras pruebas tales como:

**PRUEBA DE ROCIO SALINO (ASTM B-117).-** Que lleva a cabo en una cámara salina donde las muestras son rociadas con una solución de agua con 5% de cloruro de sodio (NaCl) o sal común a una temperatura de 35° C. Mediante esta prueba se determina la duración de la lámina galvanizada en un ambiente salino como el de las costas.

**PRUEBA DE HUMEDAD (ASTM D - 2247).-** Llevada a cabo en una cámara de humedad donde las muestras son expuestas a una humedad constante de 100% de humedad relativa.

Esta prueba nos determina el comportamiento de la lámina galvanizada en un ambiente húmedo.

**PRUEBA DE INTEMPERISMO ACELERADO (ASTM D - 822).-** Se lleva a cabo en un aparato llamado WEATHER-OMETER en donde la lámina es expuesta a períodos de rayos de luz ultravioleta con una humedad relativa de 100% esta prueba nos determina el comportamiento superficial o sea los cambios en apariencia que sufre la lámina galvanizada al ser expuesta a la intemperie en cualquier clase de clima ya que este aparato somete a la lámina a una gran variedad de climas.

En la lámina pintada se practican, básicamente, 8 pruebas; principalmente:

**PRUEBA DE CURADO.-** Esta prueba consiste en tratar de evaluar la calidad del horneado que tuvo la pintura en ambas caras de la lámina y su resistencia a los solventes, se lleva a cabo con una gasa doblada en 4 partes y se empapa con un solvente bastante fuerte (MEC metil etil cetona) y se frota la lámina con dicha gasa aplicando fuerza hasta que la pintura se reblandezca y se levante.

**PRUEBA DEL IMPACTO.-** Que es exactamente la misma prueba que

analizamos anteriormente.

**PRUEBA DE FLEXIBILIDAD.**- Esta se hace doblando la lámina a -- 180° sobre sí misma, que se llama o mide en "T" y en este caso está a "Cero T" aplicando cinta scotch 600 y desprendiendo vio lentamente.

Para medir a una T en dos T, etc., se dobla la lámina a 180° poniendo en medio una, dos, etc., láminas del mismo espesor.

**PRUEBA DE DUREZA.**- Se mide la dureza de las pinturas con lápices de dibujo; esto es que a los lápices (H, HB, 2H, etc.) se les achata la punta y en un ángulo de 60° se talla para ver si hay desprendimiento de pintura y qué dureza de lápiz aguanta.

**PRUEBA DE BRILLO.**- Se mide con un aparato llamado GALVEN-OMETER que mide la intensidad de luz sobre unos patrones de base uno blanco y otro negro (100 y 0 respectivamente).

**PRUEBAS DE COMPACTACION DE TONOS.**- Esta se lleva a cabo en -- una cámara que nos proporciona, por medio de focos, una luz de horizonte y una luz de día llevando a cabo la comparación de tonos visualmente con unos patrones de colores establecidos.

**PRUEBA DE INTEMPERISMO ACELERADO.**- Es la prueba ya analizada.

**PRUEBA DE LA CAMARA SALINA.**- Prueba ya analizada.

## DEFECTOS MAS COMUNES QUE SE PRESENTAN EN LA LAMINA GALVANIZADA.

Los principales elementos que intervienen en la composición del acero son las siguientes:

### CARBON

en un porcentaje que varía entre .08% y .13%

### MANGANESO

.30% y .60%

FOSFORO.- No debe contener más de: 0.04% de la misma manera - no debe contener más de .05% máximo de azufre, además de estos elementos es usual que contenga otros, tales como el cobre, silicio, cromo, níquel en pequeñas cantidades.

Ahora veremos qué función desempeñan cada uno de estos elementos al formar parte del acero.

CARBON.- Recordemos que la dureza del acero es impartida principalmente por el carbono a mayor contenido de éste mayor dureza, la resistencia a la tensión también crece hasta que el porcentaje de carbono alcance aproximadamente 0.85%. La calidad de la superficie en los aceros vivos se deterioran a medida que se incrementa el contenido de carbono, la ductilidad y facilidad de soldarse decrece a medida que el contenido de carbono aumenta.

MANGANESO.- El manganeso contribuye a la resistencia y dureza del acero el incremento de esta propiedad es función inversa - del contenido de carbono o sea, este incremento disminuye conforme aumenta el contenido de carbono. El manganeso produce incremento también al grado de penetración del carbono durante la carburación, aunque en una proporción menor que el carbono, la ductilidad y la facilidad de soldarse de un acero disminuye a medida que el contenido de manganeso aumenta.

FOSFORO.- Generalmente al incrementar el contenido de fósforo se aumenta la resistencia y la dureza del acero, pero decrece la ductilidad. Esto es, particularmente cierto en los aceros de alto carbón que son templados. La presencia del fósforo mejora la resistencia a la corrosión atmosférica.

AZUFRE.- Actúa disminuyendo la calidad de la superficie en particular en los aceros de bajo carbón y bajo manganeso. En



general un aumento del contenido de azufre trae como consecuencia una disminución de la ductilidad, soldabilidad y tenacidad, pero produce sólo un ligero efecto en las propiedades mecánicas así como en la dureza por el contrario un mayor contenido de azufre mejora notablemente la maquinabilidad y ésta es la única razón para especificar contenidos de azufre en el acero.

**SILICIO.-** Su acción es menos efectiva que la del manganeso en lo que se refiera a la incrementación de la resistencia y dureza del acero. Su incremento disminuye la calidad de la superficie de los aceros de bajo contenido de carbono y esta condición es más pronunciada en los aceros de bajo carbón resultados.

**COBRE.-** Como este elemento no es eliminado por ninguna de las prácticas convencionales de fabricación del acero es muy difícil mantener su contenido dentro de un rango estrecho de valores máximos; el cobre perjudica la calidad de superficie y amplifica los defectos de superficie a los aceros de alto contenido de azufre, en apreciables cantidades también perjudica el trabajo en caliente del acero pero si bien afecta la soldabilidad por forjados no la modifica mediante el empleo de arco eléctrico y oxiacetileno. Las pequeñas cantidades de cobre presentes en los aceros, al carbón no afectan de manera significativa sus propiedades mecánicas, sin embargo mejora la resistencia a la corrosión atmosférica cuando ésta está presente en proporciones mayores.

#### CONSECUENCIAS DE LOS DEFECTOS DEL ACERO EN LA FABRICACION DE LAMINA GALVANIZADA POR INMERSION EN CALIENTE EN UN PROCESO CONTINUO.

**TERSURA DE LA SUPERFICIE.-** Como lo vimos anteriormente, la calidad de la superficie está regulada por el contenido de ciertos elementos en el acero tales como el carbono, azufre y cobre, pero también depende desde luego del equipo utilizado o sea de los rodillos del molino laminador en frío o bien del molino de temple ya que éstos normalmente imprimen la apariencia de sus superficies a la superficie del acero que está rolado.

En el caso de la lámina galvanizada normalmente se parte de acero acabado brillante, pues con un acero de mayor rugosidad se dificulta lograr uniformidad en la capa de zinc sobre todo si se desean espesores mayores.

**OXIDO DE ROLADO.-** Cuando el lingote al rojo vivo se pone en

contacto con la atmósfera se cubre de una cáscara de óxido de hierro la cual se elimina con agua o vapor de agua a altas presiones y el óxido del rolado es debido a partículas de esta cáscara que por deficiencia del debastado no lograron eliminarse de la superficie del acero. Este óxido de rolado contribuye notablemente en la apariencia de la lámina galvanizada ya que se presenta en forma de granos o rayas abultadas en su superficie; esto representa un gran inconveniente cuando la lámina galvanizada va a ser pintada posteriormente.

**PERFORACIONES.**- Es originado al vaciar el acero líquido a la lingotera, son salpicaduras en las paredes de esta última que, al solidificarse, dejan una cavidad en el lingote; el cual, al ser rolado, va alargando estas salpicaduras hasta parecerlas como una perforación, o bien, como una escama. En este último caso es cuando no se llega a perforar la superficie.

**TUBO.**- Este defecto se presenta como una lámina formada por dos capas sobrepuestas. Se debe a burbujas de aire en el interior del lingote, las cuales, al alargarse durante el rolado, forman una cavidad intermedia que puede presentarse a todo lo ancho de la hoja, o bien, sólo en una parte, dependiendo del tamaño de la burbuja.

Estas burbujas normalmente se presentan en los extremos del lingote, por lo cual, siempre deben ser cortados del mismo; casi siempre que se presente este defecto, lo más probable es que se trate solo de unos cuantos metros.

**CAMBER.**- Se define como la máxima desviación que presenta la orilla del material cuando se compara con una línea recta. La medición de la desviación debe hacerse sobre el lado cóncavo del material. Generalmente se forma al momento del rolado en la planta de acero se debe a la diferencia de tensión durante la operación de los molinos en las plantas de acero, su principal consecuencia en la fabricación de la lámina galvanizada es la dificultad de mantener la tira alineada, lo que trae como consecuencia la formación de ondulaciones en uno de los extremos y en grandes proporciones el riesgo de que se arruge una orilla, e incluso que se reviente la lámina por la desviación de ésta hacia uno de los extremos de la línea de galvanizado.

**ONDULACIONES.**- Pueden presentarse en los extremos o en el centro de la lámina al igual que en el caso anterior normalmente son provocados por diferencias de tensiones en un equipo de laminación si éstas no son muy pronunciadas pueden ser parcial o totalmente eliminadas por el equipo nivelador de la línea de galvanizado.

Su principal consecuencia es la dificultad para lograr una capa uniforme de zinc ya que constantemente estaría variando la distancia de la superficie de la lámina a las boquillas de aire que controlan el espesor de zinc.

**DESCALIBRE.-** Son diferencias en que se presentan fuera de las tolerancias permitidas cuando estas diferencias son muy marcadas, nos trae, como consecuencia, una calidad desuniforme debido a las diferencias de temperatura que se presentan durante el recocido provocadas por la mayor o menor cantidad de acero que pasa para el tiempo que fue calculado, dependiendo si el espesor es mayor o menor que el indicado.

**OXIDACION ATMOSFERICA.-** Originada por exposición del acero desnudo en un ambiente húmedo. En nuestro caso es muy importante prevenir las a base de aceite antioxidante, debido a que los problemas que originan son bastante graves y se manifiestan principalmente en falta de adherencia del acero, además la apariencia del galvanizado se ve notoriamente afectada, pues por limitaciones existentes en los equipos mexicanos, es imposible eliminar esta oxidación por lo que, no es posible procesar un rollo de acero en estas condiciones; en cuanto a la apariencia de la lámina galvanizada, la oxidación atmosférica en el acero base se manifiesta en manchas blancosas normalmente abultadas y casi siempre acompañadas de pequeñas áreas sin recubrir, llamadas comúnmente "PUNTOS NEGROS".

**LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE.-** Para el proceso analizado en particular, el cual carece de un decapado o limpieza de la superficie del acero es de vital importancia, tener el acero perfectamente limpio; es decir, libre de grasas o aceite sucio, pues ésta no logra eliminarse completamente en el paso de precalentamiento u oxidación de la superficie y nos trae como consecuencia la aparición de áreas sin recubrir o puntos negros cuyo tamaño depende del tamaño de estas manchas, además provoca una adherencia deficiente del zinc al acero. Esta es la principal razón por la cual el aceite antioxidante usado para prevenir la oxidación atmosférica es sumamente ligero y volátil.

#### DEFECTOS MAS COMUNES QUE SE PRESENTAN EN LA LAMINA GALVANIZADA DURANTE SU PROCESO

Hablamos anteriormente de cuando el acero presenta en su superficie manchas de grasa o aceite, o bien cuando éste es atacado por la oxidación atmosférica; se nos refleja en la lámina galvanizada como puntos negros o bien, adherencia defectuosa, pero estos últimos defectos también pueden ser originados aún --

cuando la superficie a galvanizar esté en buenas condiciones en cuyo caso se debería a deficiencias del equipo; tal como temperatura mal controlada, ya sea en la zona de precalentamiento o reducción; o bien a velocidades inadecuadas de la línea de galvanizado o en el caso más drástico una parada de línea. En general estos problemas se pueden presentar en mayor o menor grado y casi siempre son debidos a un recocido defectuoso. La mala adherencia puede manifestarse desde el completo desprendimiento de la capa de zinc al menor doblez sufrido por el metal base o bien tener una adherencia aparente y solamente detectable al hacer un troquelado profundo.

Otro de los factores que intervienen en la adherencia, es el espesor de zinc depositado, entre mayor sea este, aumentará la tendencia a desprenderse al trabajar con la lámina.

**DUREZA.**- Esta es una de las propiedades que diferencia el sistema continuo por inmersión en caliente del sistema de hoja -- por hoja.

El acero que se necesita es acero crudo, es decir dureza máxima. A través del recocido, se gradua esta dureza para dar, en cada caso, la más conveniente dependiendo del uso final que tenga la lámina, por ejemplo, en el caso de la lámina que va a ser destinada a techos, se necesita mantener una dureza más o menos alta y uniforme en todos los casos. Esto es muy importante, pues de acanalar lámina con distinta dureza, nos trae como consecuencia distintos anchos, debido a la diferente ductilidad que tiene el material a causa de la dureza: un problema típico en este caso es el hecho de que no coinciden los acanalados entre sí mientras que en el caso de uso industrial se necesita bajar la dureza al máximo, sobre todo en los casos en que la lámina va a ser sometida a troquelados profundos, pues de no ser así la lámina se rompería antes de llegar a su elongación final.

El control de esta dureza se lleva a cabo en la zona de recocido en cuyo interior existe una atmósfera controlada de hidrógeno la cual contribuye también a preparar la superficie para tener una adherencia de calidad troquelable.

La dureza del material es función directa de las temperaturas en las diferentes zonas del horno de recocido y de la velocidad de la línea de galvanizado.

Entre mayor sea la temperatura y menor la velocidad, el contacto que el acero tendrá con la temperatura de recocido

será mayor y su dureza bajará más, estamos suponiendo que la composición del acero se encuentra dentro de los límites especificados pues, si por ejemplo, el contenido de carbono aumenta, será imposible lograr troquelados profundos con la lámina.

En general, entre menor sea el contenido de carbón será más fácil lograr baja dureza.

**ONDULACIONES.**- Como vimos anteriormente, se deben, principalmente, a defectos de forma provocados durante la operación de la planta de acero.

Hablamos también de que éstos se pueden corregir en la línea de galvanizado pero también existe la posibilidad de originarlos por mala operación de las tensiones de las bridas o bien por algún rodillo defectuoso en el interior del horno.- Como vimos anteriormente, también esto nos provoca dificultad para dar un espesor de zinc uniforme, además de que este material presenta problemas para su uso final. Por ejemplo al acanalar la lámina con material ondulado tendremos problemas para dar la forma correcta al acanalado de que se trate provocando normalmente ensambles defectuosos debido a la ondulación y que pueden provocar filtraciones de agua en un techo instalado.

**ESPESOR DE ZINC.**- La principal dificultad que se nos presenta para enrollar lámina galvanizada sobre todo en los calibres -- delgados es una capa de zinc desuniforme pues en las áreas de mayor espesor debido a la continuidad de la cinta de acero -- siempre está localizada en el mismo punto, originando deformaciones en el rollo que traerá como consecuencia defectos de -- forma, tales como ondulaciones, marcas, etc., sin embargo, este problema no existe cuando el material es cortado a hojas directamente y se puede dar cualquier espesor sin ningún problema. A medida que el espesor de zinc deba aumentarse son mayores los problemas para lograr un espesor uniforme a todo lo ancho de la lámina por consecuencia había una tendencia errónea a disminuir el espesor de zinc durante la fabricación de rollos.

Actualmente se puede decir con satisfacción que este problema se ha superado gracias al moderno sistema de control de capa de zinc Nucleonic el cual permite lograr recubrimientos de cualquier espesor de zinc por grande que sea con absoluta uniformidad. Desde luego que el equipo no puede hacer por sí solo todo el trabajo y para obtener de él la máxima utilidad es necesario mantener un estricto control en los elementos de aleación del baño de zinc tales como aluminio, plomo, antimonio, etc.; para que estén presentes en los porcentajes adecuados. Para lograr esto en el laboratorio se analiza dia-

riamente la composición del baño a fin de agregar las cantidades necesarias de estos elementos.

## DEFECTOS DE SUPERFICIE EN LA LAMINA GALVANIZADA

Uno de los defectos más comunes que se presentan en la superficie de la lámina galvanizada, es provocado por el óxido de rolado en el metal base y que se manifiesta como pequeños granos o rayas abultadas. Pero además de este defecto se puede provocar durante el proceso un defecto parecido que se debe principalmente a la adición de impurezas en la paila que pueden ser desde granos muy pequeños y hasta plastas de zinc del tamaño considerable. Para evitar esto, es necesario estar removiendo continuamente la capa de óxido fundido así como demás impurezas debido al ambiente o, de lo contrario, existe el riesgo de que éstas se adhieran a la superficie de la lámina al salir del baño de zinc, provocando los defectos mencionados.

Uno de los defectos que más problemas ha ocasionado hasta ahora es la llamada OXIDACION BLANCA que se presenta en la superficie de la lámina galvanizada durante su transporte o almacenamiento en un ambiente húmedo, provocada por la gran actividad del zinc. Anteriormente se atacaba este problema recubriendo la superficie de la lámina galvanizada con una ligera capa de aceite antioxidante que además de no proporcionar una protección efectiva crea grandes problemas de manejo, por lo deslizante que convierte a la superficie de la lámina. Actualmente este problema, se ha minimizado y en lugar del aceite antioxidante se da a la lámina galvanizada un tratamiento químico de superficie o pasivado haciéndola pasar por inmersión por un baño que contiene una solución a base de cromato de zinc y ácido crómico principalmente.

Las consecuencias de esta oxidación blanca, que no es mas que la formación de óxido de zinc por el contacto entre la superficie del zinc y la humedad del ambiente en un medio sin ventilación, varía desde afectar simplemente la apariencia de la lámina galvanizada hasta cortar considerablemente la vida útil, dependiendo de la intensidad del ataque que a su vez es proporcional al tiempo que dure el almacenamiento en condiciones de humedad sin ventilación entre láminas.

DEFECTOS MAS COMUNES QUE SE PRESENTAN  
EN LA LAMINA GALVANIZADA PINTADA

Estos pueden ser causados en la línea debido a la concentración de detergentes y a la concentración del agua de enjuague, representándonos todo esto mala adherencia de la pintura cuando varía la temperatura de limpieza se forma una nata en los fosfatos representando el mismo problema, mala adherencia.

Otro de los problemas es la variación de temperaturas en el horno dándonos un mal curado de la pintura observándose esto en la cámara salina: cuando existe subhorneo (baja temperatura de horneado) se bota la pintura en cámara salina.

En lo que se refiera a la viscosidad debe ser óptima para lograr un espesor uniforme al aplicar la pintura.

El problema de "CASCARA DE NARANJA" consiste en que a la hora de estar horneando existe una reacción de la pintura en que quedan solventes atrapados y esto se debe al exceso de aditivos que físicamente se observa con pequeñas huellas entre la superficie pintada.

El caleo que consiste en que la pintura empieza a degradarse por medio de un polvo blanco que se forma en la superficie de la pintura. Esto se debe a la degradación que van sufriendo los componentes de la pintura.

La decoloración que es un comportamiento natural de la pintura en el transcurso del tiempo, es un proceso que se presenta prematuramente debido a la degradación del bióxido de titanio, substancia contenida en la pintura.

## CONCLUSION

El recubrimiento de zinc proporciona características que difícilmente podrían ser superadas por otro tipo de recubrimiento metálico.

Esto nos demuestra que el acero que sería de otra manera rápidamente corroido puede protegerse en una amplia variedad de condiciones mediante la galvanización continua por inmersión en caliente. Este recubrimiento no sólo aísla el acero del contacto con los medios corrosivos, sino también lo protege catódicamente en todos los puntos en los que el recubrimiento esté deteriorado debido a los daños mecánicos. Siempre que un objeto de acero lleve el espesor adecuado de zinc, según su naturaleza y forma y se tomen precauciones adecuadas en los ambientes más agresivos, su resistencia a la corrosión difícilmente podrá ser superada por cualquier otra forma de protección.

Los recubrimientos con pintura no únicamente son protectores de la lámina galvanizada contra la corrosión, sino -- que vienen a dar a la misma un aspecto de apariencia; mejor -- que cualquier lámina galvanizada simplemente.

La pintura como recubrimiento cumple una función decorativa y estética; además de que por la característica de cada una de las pinturas éstas pueden ser dobladas o troqueladas, engargoladas, etc.

Aún cuando las características de la lámina galvaniza



da permiten usarla tanto en la construcción como en la industria, en nuestro país en la actualidad el porcentaje de lámina galvanizada destinada a la industria continúa representando -- una minoría con relación a la lámina destinada a la construcción.

La aplicación de la lámina galvanizada como materia prima, se realiza principalmente, en las siguientes industrias:

**LA INDUSTRIA DE LA REFRIGERACION.-** Representa uno de los mayores consumos de lámina galvanizada industrial. Utilizada en la fabricación de equipos para aire lavado, aparatos de clima artificial y ductos utilizados para el mismo fin.

**INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.-** Existen gran cantidad de industrias -- que se dedican a la fabricación de accesorios que serán utilizados, posteriormente, por armadoras de automóviles, entre las que podemos mencionar:

Las que fabrican carrocerías para camión de pasajeros (en unidades destinadas para la costa).

También se utiliza en la fabricación de mofles, de condensadores y evaporadores, en partes para el sistema de frenos de disco y en algunas partes del sistema de alumbrado de los autos.

**INDUSTRIA ELECTRONICA.-** En la fabricación de chasis para radio televisores y equipos electrónicos de medición.

**INDUSTRIA AVICOLA.-** Siendo sus usos más comunes la fabricación de comederos para aves y ganado y para partes que intervienen en la fabricación de comederos para aves y ganado y para partes que intervienen en la fabricación de incubadoras para aves.

**INDUSTRIA AGROPECUARIA.-** La utilizan principalmente los fabricantes de silos en almacenes para granos.

**INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.-** Además de la lámina acanalada destinada a techos y muros, se realiza en la fabricación de polines y travesaños, perfiles que sirven como uniones o envolventes de elementos de construcción fabricadas (Paneles), tu--

bos mecánicos, tubos conduit, tubos utilizados como postes para cercas de alambre, etc.

Existen otros usos como son la fabricación de piezas de refuerzo normalmente ocultas, en la fabricación de muebles de oficina y para el hogar, tapas de motores eléctricos, botones metálicos, etc.

En los últimos años el uso de la lámina galvanizada debe su aceptación al sistema de galvanizado en línea continua, con el cual se obtiene lámina galvanizada troquelable que es una de sus características principales, además de su adherencia del recubrimiento de zinc al acero, de tal manera, que al hacer una operación de troquelado sobre la lámina es más probable que el acero se rompa si no tiene la dureza adecuada para resistir este troquelado, pero, de ninguna manera, el zinc se desprende.

Es debido a esto que la lámina galvanizada y pintada es una materia prima que está desplazando, tanto en duración, como en apariencia, a la lámina negra, aún cuando ésta se pinte.

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

1. SEMINARIO SOBRE LA REDUCCION DIRECTA DE LOS MINERALES DE FIERRO.  
Instituto Latino Americano del Fierro y el Acero (ILAFA).  
Mayo de 1975.
2. COMPENDIO SIDERURGICO  
Altos Hornos de México, S. A.  
Septiembre de 1978.
3. TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES.  
Ing. Carlos Sordo e Ing. Carlos Ordoñez
4. VOLUMEN N° 2 DEL CENTRO MEXICANO DE INFORMACION DEL ZINC Y PLOMO, A. C.  
Abril de 1977.
5. ESTAMPADO DE LA CHAPA  
Ing. Rossi.
6. ESTAMPACION  
Ing. Navarro

7. INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA  
Sidney H. Avner.  
México, 1975.
8. BOLETIN N° 14 DE LA ASOCIACION EUROPEA DE GALVANIZACION  
EN CALIENTE.  
ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA DE GALVANIZACION  
Marzo de 1973.
9. RESISTENCIA A LA CORROSION DEL ACERO GALVANIZADO.  
ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA DE GALVANIZACION.  
Junio de 1976.
10. MANUAL DE INDUSTRIAS MONTERREY (IMSA).

**A P E N D I C E**



**SECRETARIA DE PATRIMONIO  
Y  
FOMENTO INDUSTRIAL**

**NORMA OFICIAL MEXICANA**

**"LAMINA DE ACERO AL CARBONO GALVANIZADA POR  
EL PROCESO DE INMERSION EN CALIENTE PARA  
USO GENERAL"**

**STEEL SHEET, ZINC-COATED (GALVANIZED) BY  
THE HOT-DIP PROCESS COMMERCIAL QUALITY**

**NOM-8-9-1979**

**DIRECCION GENERAL DE NORMAS**

**P R E F A C I O**

En la elaboración de esta Norma participaron las siguientes Empresas e Instituciones:

**DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y NORMAS DEL FOVISSSTE.**

**SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS.**

**CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.**

**D. H. NACIONAL, S. A.**

**LA FLORIDA, S. A.**

**INDUSTRIAS MONTERREY, S. A.**



NORMA OFICIAL MEXICANA

"LAMINA DE ACERO AL CARBONO GALVANIZADA POR EL PROCESO DE INMERSION EN CALIENTE PARA USO GENERAL"

NOH  
B-9-1979

STEEL SHEET, ZINC-COATED (GALVANIZED) BY THE HOT-DIP PROCESS COMMERCIAL QUALITY

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma establece los requisitos que debe cumplir la lámina de acero al carbono galvanizada por el proceso de inmersión en caliente para uso general. La lámina de esta clase se emplea principalmente en operaciones de doblado y formado moderado.

2.- REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta Norma es necesario consultar la siguiente Norma Oficial Mexicana en vigor:

NOM-B-55 "Requisitos generales para lámina de acero galvanizada por el proceso de inmersión en caliente".

3.- DEFINICIONES

Para las definiciones pertinentes a esta Norma se debe consultar la NOM-B-55 - en vigor.

4.- CLASIFICACION Y DESIGNACION

4.1. Las láminas que se especifican en esta Norma, se suministran en una sola clase por lo que no requieren clasificación.

4.2. En la designación de la lámina se deben indicar los siguientes datos para describirlas adecuadamente:

- a) Nombre del material y número de esta Norma.
- b) Tipo de recubrimiento (véase 5.3.).
- c) Recubrimiento protector (véase 5.4.).
- d) Dimensiones, en mm (espesor de la lámina con recubrimiento de cinc y largo específico o comercial).
- e) Requisitos del tamaño del rollo (especificando el diámetro exterior - máximo, diámetro interior y peso máximo).
- f) Planesa especial (nivelado por tensión si se requiere).

Referencias:

La Dirección General de Normas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial aprobó la presente Norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el

Revisión sucesivas

Esta Norma cancela la NOM-B-9-1970.



## 5.- ESPECIFICACIONES

### 5.1. Requisitos generales

La lámina suministrada de acuerdo con esta Norma, debe cumplir con los requisitos aplicables de la NOM-B-55 en vigor.

5.1.1. La lámina galvanizada en hoja o en rollo, se suministra en espesores de 0.358 hasta 3.47 mm. El espesor de la lámina incluye al metal base y el recubrimiento.

### 5.2. Composición química

El metal base debe cumplir con los requisitos especificados en la Tabla 1, tanto en el análisis de colada como en el de producto.

TABLA 1.- Composición química en %

Elementos	Máximo
Carbono	0.15
Manganeso	0.60
Fósforo	0.035
Azufre	0.040
Cobre cuando se especifica acero al cobre	0.20

### 5.3. Tipo de recubrimiento

El tipo de recubrimiento en que generalmente se suministra esta lámina es el 275 comercial, de acuerdo con la NOM-B-55 en vigor. Por acuerdo previo con el fabricante se puede suministrar con cualquier otro tipo de recubrimiento especificado en la misma Norma.

### 5.4. Recubrimiento protector

A solicitud del comprador y previo acuerdo con el fabricante, la lámina en hoja o en rollo puede suministrarse aceltada, pasivada, o con cualquier otro recubrimiento protector.

### 5.5. Dimensionales

#### 5.5.1. Largos

La lámina se puede suministrar en rollo, en hojas cortadas a largos especí-

ficos (a solicitud del comprador y previo acuerdo con el fabricante) o en los siguientes largos comerciales: 1.83, 2.44, 3.05 y 3.66 metros. En ambos casos las tolerancias deben ser las indicadas en la NOM-8-55 en vigor.

#### 6.- BIBLIOGRAFIA

ASTM A 526-75 Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) by the Hot-Dip Process Commercial Quality.



**SECRETARIA DE PATRIMONIO  
Y  
FOMENTO INDUSTRIAL**

**NORMA OFICIAL MEXICANA**

**"REQUISITOS GENERALES PARA LAMINA DE ACERO  
GALVANIZADA POR EL PROCESO DE INMERSION  
EN CALIENTE"**

**STEEL SHEET, ZINC-COATED (GALVANIZED) BY  
THE HOT-DIP PROCESS, GENERAL REQUIREMENTS**

**NOM-B-55-1979**

**DIRECCION GENERAL DE NORMAS**

P R E F A C I O

En la elaboración de esta Norma participaron las siguientes Empresas e -  
Instituciones:

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y NORMAS DEL FOVISSSTE.

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS.

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

D. M. NACIONAL, S. A.

LA FLORIDA, S. A.

INDUSTRIAS MONTERREY, S. A.



NORMA OFICIAL MEXICANA  
 "REQUISITOS GENERALES PARA LAMINA DE ACERO  
 GALVANIZADA POR EL PROCESO DE INMERSION -  
 EN CALIENTE".

NOM  
 B-55-1979

STEEL SHEET, ZINC-COATED (GALVANIZED) BY  
 THE HOT-DIP PROCESS, GENERAL REQUIREMENTS

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma establece una serie de requisitos aplicables a las láminas de acero al carbono, galvanizadas por el proceso de inmersión en caliente en líneas continuas, suministradas en hojas o rollos.

Los requisitos que se establecen en esta Norma son aplicables a los productos cubiertos por las NOM: B-9, B-60, B-66, B-71, B-74, y a otros productos cuando así lo especifique la Norma particular de los mismos.

La lámina galvanizada se produce en varios tipos de acuerdo a la cantidad de recubrimiento con el objeto de que el usuario seleccione, de entre ellos, el más adecuado para la vida y servicio que espera de la lámina.

2.- REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta Norma deben consultarse las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

- NOM-B-9 "Lámina de acero al carbono, galvanizada por el proceso de inmersión en caliente para usos generales".
- NOM-B-60 "Lámina de acero al carbono, galvanizada por el proceso de inmersión en caliente acanalada".
- NOM-B-66 "Lámina de acero al carbono, galvanizada por el proceso de inmersión en caliente para uso estructural".
- NOM-B-71 "Lámina de acero al carbono, galvanizada por el proceso de inmersión en caliente para embutido".
- NOM-B-74 "Lámina de acero al carbono galvanizada por el proceso de inmersión en caliente para alcantarillas y drenajes".
- NOM-B-172 "Métodos de prueba mecánicos para productos de acero".
- NOM-B-319 "Método de prueba para determinar el peso del recubrimiento en artículos de hierro o acero galvanizados".

Referencias

La Dirección General de Normas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial aprobó la presente Norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el

Revisión sucesiva:

Esta Norma Cancela la NOM-B-55-1972

Prohibida su reproducción sin autorización de la Dirección General de Normas

### 3.- DEFINICIONES

3.1. Lámina galvanizada.- Es la lámina recubierta en ambas caras con una capa de cinc, por el proceso de inmersión en caliente.

3.2. Lámina galvanizada con recubrimiento diferencial.- Es la lámina galvanizada que se caracteriza por tener una cantidad de recubrimiento de cinc en una de sus caras y otro diferente en la otra cara.

3.3. Lámina galvanizada con cristales normales.- Es la lámina galvanizada cuyo aspecto superficial, obtenido en los procesos normales de galvanizado por inmersión en caliente, tiene apariencia de flores. Los cristales normales de cinc resultan de su crecimiento durante su solidificación.

3.4. Lámina galvanizada con tratamiento para pintado.- Es la lámina galvanizada que se somete a un tratamiento químico posterior, con el objeto de obtener una superficie que ofrezca un buen anclaje a la pintura.

3.5. Lámina galvanizada con tratamiento químico de pasivado.- Es la lámina galvanizada que se somete a un tratamiento químico posterior, con el objeto de retardar la formación de óxido blanco durante su transporte y/o almacenamiento.

3.6. Lámina galvanizada aceitada.- Es la lámina galvanizada a la que se le aplica una capa de aceite ligero, con el objeto de retardar la formación de óxido blanco durante su transporte y/o almacenamiento.

### 4.- CLASIFICACION Y DESIGNACION

4.1. La lámina galvanizada se clasifica:

4.1.1. De acuerdo a la cantidad de recubrimiento de cinc, en los tipos indicados en la Tabla 2.

4.1.2. De acuerdo al acabado del recubrimiento o tratamiento del mismo como se indica a continuación:

CN.- Lámina galvanizada con cristales normales, mínimos o los que resulten.

TP.- Lámina galvanizada con tratamiento para pintado.

TQ.- Lámina galvanizada con tratamiento químico.

A.- Lámina galvanizada aceitada.

4.2. La designación de la lámina debe ser la indicada en la Norma Particular.

## 5.- ESPECIFICACIONES

### 5.1. Condiciones generales

En caso de discrepancia entre lo especificado en la orden de compra, la Norma particular del producto y esta Norma, prevalecerá lo establecido en el orden en que se han citado.

El metal base (acero) empleado en la fabricación de la lámina galvanizada debe obtenerse por cualquiera de los siguientes procesos: horno de hogar abierto, básico al oxígeno u horno eléctrico.

La masa del recubrimiento debe entenderse como la masa total de cinc en ambas superficies de la lámina, excepto cuando se solicite lámina galvanizada con recubrimiento diferencial (es decir una masa de recubrimiento de cinc en una de sus caras y otro diferente en la otra).

### 5.2. Requisitos químicos para el metal base

#### 5.2.1. Análisis de colada

El fabricante del metal base (acero) debe realizar un análisis de cada colada para determinar el porcentaje de carbono, manganeso, fósforo, azufre, cobre o cualquier otro elemento especificado en la Norma particular del producto o requerido en la orden de compra.

A solicitud del comprador de la lámina galvanizada, el fabricante de ésta le debe entregar un certificado de los resultados del análisis de colada para los elementos en cuestión.

#### 5.2.2. Análisis de producto

El comprador puede realizar un análisis de producto del metal base del material terminado (lámina galvanizada) para los elementos en cuestión. El resultado de este análisis debe cumplir con la composición química específica dentro de las tolerancias indicadas en la Tabla 1.

En dos o más determinaciones en un lote no deben encontrarse variaciones sobre el límite máximo y abajo del límite mínimo.

TABLA 1.- Tolerancias en el análisis de producto

Elemento	Límite máximo del elemento especificado en %	Tolerancia, en %	
		En menos del límite mínimo	En más del límite máximo
Carbono	Hasta 0.15	0.02	0.03
	Más de 0.15 hasta 0.40	0.03	0.04
	Más de 0.40 hasta 0.80	0.03	0.05
	Más de 0.80	0.03	0.06
Manganeso	Hasta 0.60	0.03	0.03
	Más de 0.60 hasta 1.15	0.04	0.04
	Más de 1.15 hasta 1.65	0.05	0.05
Fósforo	- - - - -	- -	0.01
Azufre	- - - - -	- -	0.01
Silicio	Hasta 0.30	0.02	0.03
	Más de 0.30 hasta 0.60	0.05	0.05
Cobre cuando se especifique	- - - - -	0.02	- -



5.2.2.1. Los aceros efervescentes o tapados no son técnicamente aptos para el análisis de producto. Para estos aceros, cuando se requiera el análisis de producto, deben establecerse previo acuerdo entre fabricante y comprador el método de muestreo y las tolerancias admisibles.

5.2.2.2. Para fósforo y azufre el análisis de producto no es técnicamente apropiado. Cuando se requiera determinar estos elementos en el análisis de producto, deben establecerse, previo acuerdo entre fabricante y comprador, el método de muestreo y las tolerancias admisibles.

### 5.3. Requisitos mecánicos para el metal base

5.3.1. Cuando la Norma particular del producto especifique requisitos mecánicos para el metal base, éstos deben determinarse de acuerdo con la - - - NOM-B-172 en vigor.

5.3.2. En la determinación de las propiedades mecánicas del metal base, el espesor de éste debe ser medido después de eliminado el recubrimiento, en los extremos de la probeta que van a estar en contacto con las mordazas de la máquina de prueba de tensión, antes de realizar las pruebas.

5.3.3. Cuando en la Norma particular del producto no se especifique otra cosa, se debe realizar una prueba de doblado a 180°, plano sobre sí mismo y en cualquier dirección, después de efectuado el tratamiento térmico sin que se provoque un agrietamiento considerable del metal base en la parte exterior de la porción doblada.

### 5.4. Probetas para el metal base

5.4.1. Las probetas deben prepararse a partir de material terminado

5.4.2. Las probetas para la prueba de tensión del metal base, deben tomarse en el sentido longitudinal de la lámina y maquinarse a la forma y dimensiones de la probeta rectangular normal de 50 mm de longitud calibrada, de acuerdo con la NOM-B-172 en vigor.

5.4.3. Las probetas para la prueba de doblado del metal base, deben estar libres de rebabas. La eliminación de rebabas puede hacerse por limado o maquinado. Si durante la preparación de una probeta se encuentran o provocan defectos, se debe deshechar y sustituirse por otra. Las grietas que se presentan (en el metal base) en las orillas de la probeta o las asperezas que se desarrollan en la línea de doblado, no deben tomarse en consideración.

### 5.5. Requisitos para el recubrimiento de cinc

#### 5.5.1. Cantidad de recubrimiento de cinc

La masa del recubrimiento debe considerarse como la cantidad de cinc en ambos lados de la lámina, expresada en g/m<sup>2</sup>, excepto en el caso de lámina con recubrimiento diferencial:

La cantidad de recubrimiento debe ser, (de acuerdo con el tipo), el especificado en la Tabla 2.

TABLA 2.- Masa del recubrimiento de cinc (total en las dos superficies de la lámina).

Tipo de recubrimiento	Cantidad mínima, en g/m <sup>2</sup>	
	Promedio en 3 probetas	en cualquier determinación
717	717	610
640	640	549
564	564	488
503	503	427
427	427	366
351	351	305
275 Comercial	275	244
Comercial ligero	183	152
	No se especifica mínimo	No se especifica mínimo

5.5.2. Pruebas para determinar la cantidad de recubrimiento de cinc.

Cuando el comprador desee verificar la cantidad del recubrimiento en un lote o partida de lámina galvanizada, lo debe hacer por el método especificado en la NOM-B-319 en vigor, considerando el procedimiento de muestreo especificado a continuación (véase 5.5.2.1., 5.5.2.2. y 5.5.2.3.).

5.5.2.1. Prueba triple

El resultado de esta prueba debe ser el valor promedio de tres determinaciones realizadas en tres probetas, cortadas de la lámina de prueba o pieza de muestra definida en 5.5.2.3.

La lámina con un ancho de 475 mm y menor, generalmente se produce por corte de lámina de mayor ancho y en estos casos el material, al salir de la planta del fabricante, sólo debe sujetarse a la prueba sencilla.

5.5.2.2. Prueba sencilla

El límite mínimo a considerar en la prueba sencilla debe ser el más delgado de los que resulten de la prueba triple o bien el comprador puede seleccionar una sola probeta para verificación tomada de cualquier parte de la lámina de prueba, de acuerdo a lo indicado en 5.5.2.3.

5.5.2.3. Las probetas para lámina en rollo y cortadas a longitudes específicas, deben tomarse de una pieza de una longitud aproximada de 300 mm por el ancho que tenga. Para la prueba triple, las probetas deben tomarse el cen

tro del ancho y a cada uno de los lados, a no menos de 50 mm de la orilla de la lámina.

**5.6. Prueba de doblado para el recubrimiento de cinc**

Cuando en la Norma particular del producto no se especifique otra cosa, las probetas para esta prueba deben soportar un doblado a 180°, en cualquier dirección y a la temperatura ambiente, sin que se desprenda el recubrimiento en la parte exterior de la porción doblada. El diámetro del mandril sobre el que se debe efectuar esta prueba debe ser, en función del espesor de la lámina recubierta, el indicado en la Tabla 3. Los desprendimientos del recubrimiento en esta prueba que se presenten dentro de 6 mm de la orilla de la probeta, no deben ser causa de rechazo.

5.6.1. Las probetas para esta prueba, deben cortarse como mínimo a una distancia de 50 mm de la orilla de la lámina de prueba y deben ser de 50 a 100 mm de ancho.

**TABLA 3.- Relación del diámetro del mandril al espesor de la lámina galvanizada en la prueba de doblado (a)**

Tipo de recubrimiento	Espesor de la lámina galvanizada en mm		
	0.33 a 0.97	0.97 a 1.90	1.90 a 4.46
	Número de veces el espesor de la lámina		
717	2	3	3
640	2	2	2
564	2	2	2
503	2	2	2
427	1	1	2
351	0	0	1
275 Comercial	0	0	1
Comercial ligero	0	0	0
Ligero	0	0	0

a) El diámetro del mandril de doblado determina la severidad de la prueba. En esta Tabla se especifica el diámetro del mandril en función del espesor del material a probar.

**5.7. Repetición de pruebas**

Si algunas de las pruebas del metal base o el recubrimiento falla, es decir no cumpla con alguno de los requisitos especificados en esta Norma o en la Norma particular del producto, se deben realizar dos nuevas pruebas en muestras tomadas al azar del mismo lote. El resultado de estas nuevas pruebas debe ser satisfactorio, de lo contrario se debe rechazar el lote completo.

Si el porcentaje de alargamiento es menor que el mínimo especificado y cualquier parte de la fractura cae fuera de las dos cuartas partes centrales de la longitud calibrada, como se indica por las marcas efectuadas en la probeta antes de la prueba, se debe deshechar la probeta y sustituirse por otra del mismo lote.

### 5.8. Dimensiones y tolerancias

Las dimensiones de la lámina galvanizada por el proceso de inmersión en caliente deben ser las indicadas en la Norma particular del producto o las acordadas entre fabricante y comprador, sujetas a las tolerancias indicadas en las siguientes Tablas:

TITULO DE LA TABLA	NUMERO DE LA TABLA
Tolerancias en el espesor - - - - -	4
Tolerancias en el ancho para rollos y tramos cortados (hojas) sin rescuadrar - - - - -	5
Tolerancias en el ancho para rollos y tramos cortados sin rescuadrar de 51 a 305 mm de ancho - - - - -	6
Tolerancias en la longitud para tramos cortados sin rescuadrar - - - - -	7
Tolerancias en longitud para tramos cortados sin rescuadrar de 51 a 305 mm de ancho - - - - -	8
Tolerancias en ancho y longitud para tramos cortados a longitudes específicas, niveladas por tensión, sin rescuadrar - - - - -	9
Tolerancias en el diámetro para círculos cortados - - - - -	10
Tolerancias en flecha - - - - -	11
Tolerancias en fuera de escuadra (des- cuadrado) para tramos cortados sin res- cuadrar - - - - -	12
Tolerancias en planura para tramos cor- tados con un ancho mayor de 305 mm, sin nivelado por tensión - - - - -	13
Tolerancias en planura para tramos cor- tados nivelados por tensión - - - - -	14
Tolerancias en ancho, longitud, flecha y fuera de escuadra para tramos cortados rescuadrados - - - - -	15
Con fines de información únicamente, se incluye la Tabla de Espesores equivalen- tes (de lámina galvanizada por el proce- so de inmersión en caliente) al número de calibre para el tipo de recubrimiento 275 comercial - - -	16

TABLA 4.- Tolerancias en el espesor

Dimensiones en mm

Tolerancias en el espesor, en más y en menos, para los anchos y espesores especificados							
Anchos especificados Mayores de   Hasta		Espesores especificados					
		Hasta 0.59	Mayores de 0.59 hasta 1.09	Mayores de 1.09 hasta 1.49	Mayores de 1.49 hasta 1.89	Mayores de 1.89 hasta 2.54	Mayores de 2.54 hasta 4.75
----	815	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.21
815	1015	0.08	0.10	0.13	0.15	0.21	0.21
1015	1525	0.08	0.10	0.13	0.15	0.21	0.23
1525	1825	----	0.10	0.13	0.15	0.23	0.23

NOTAS:

- 1.- El espesor debe medirse en cualquier punto a través del ancho de la lámina, a no menos de 10 mm de la orilla de la misma.
- 2.- Independientemente de que la tolerancia en el espesor se distribuya igual o desigualmente en más y en menos, la tolerancia total debe ser igual a 2 veces la especificada en esta Tabla.

TABLA 5.- Tolerancias en el ancho para rollos y tramos cortados - (hojas) sin rescuadrar.

Dimensiones en mm

Anchos especificados		Tolerancia en más sobre el ancho especificado (no se admite tolerancia en menos)
Mayores de	Hasta	
- -	762	3
762	1219	5
1219	1524	6
1524	1829	8

TABLA 6.- Tolerancias en ancho para rollos y tramos cortados sin rescuadrar de 50 a 300 mm de ancho.

Dimensiones en mm

Tolerancia en más y en menos para los espesores y anchos especificados				
Espesores especificados	Anchos especificados			
	De 51 hasta 152	Más de 152 hasta 229	Más de 229 hasta 305	
De 0.36 hasta 1.73	0.203	0.406	0.813	
Mayores de 1.73 hasta 2.09	0.305	0.406	0.813	

**TABLA 7.- Tolerancias en la longitud para tramos cortados sin resquadrar**

Dimensiones en mm

Longitudes especificadas		Tolerancia en más sobre la longitud especificada (no se admite tolerancia en menos)
Mayores de	Hasta	
305	762	3
762	1524	6
1524	2438	13
2438	3048	19
3048	3962	25
3962	4877	31
4877	6096	38
6096	- -	44

**TABLA 8.- Tolerancias en longitud para tramos cortados sin resquadrar de 51 a 305 mm de ancho**

Dimensiones en mm

Tolerancias en más para los espesores y longitudes especificadas			
Espesores especificados	Longitudes especificadas		
	De 610 hasta 1524	Mayores de 1524 hasta 3048	Mayores de 3048 hasta 6096
De 51 hasta 305	13	19	25

TABLA 9.- Tolerancias en ancho y longitud para tramos cortados a, longitudes específicas, niveladas por tensión, sin res-cuadrar

Dimensiones en mm

Tolerancias en más sobre las dimensiones especificadas				
Longitudes especificadas		Anchos	Longitud	
			Con marcas fuera de la longitud especificada	Con marcas dentro de la longitud especificada
Mayores de	hasta			
- -	3048	19	102	76
3048	3962	25	102	76
3962	- -	32	127	102

TABLA 10.- Tolerancias en el diámetro para círculos cortados

Dimensiones en mm

Tolerancias en más para los espesores y diámetros especificados				
Espesores especificados		Diámetros especificados		
		Hasta 762	Mayores de 762 hasta 1219	Mayores de 1219
Mayores de	hasta			
1.538	1.538	1.6	3.2	4.8
2.562	2.562	2.4	4.0	5.6
2.562	- - -	3.2	4.8	6.4



TABLA 11.- Tolerancia en flecha

Dimensiones en mm

PARA TRAMOS CORTADOS		
Tramos cortados Mayores de	(hojas) hasta	Tolerancia en flecha
	1,219	3
1,219	1,829	5
1,829	2,438	6
2,438	3,048	8
3,048	3,658	10
3,658	4,267	13
4,267	4,877	16
4,877	5,486	19
5,486	6,096	22
6,096	9,144	32
9,144	12,192	38

PARA ROLLOS

La Tolerancia en flecha para lámina en rollos es de 25 mm por cada -  
6000 mm, con excepción de la lámina en rollos con anchos de 51 a - -  
305 mm en que la tolerancia es de 6.5 mm por cada 2500 mm.

NOTA: La flecha es, en una lámina colocada horizontalmente sobre una su-  
perficie plana, la distancia máxima entre la orilla cóncava y una  
línea recta que una las esquinas de la lámina por el mismo lado -  
(véase la siguiente figura).

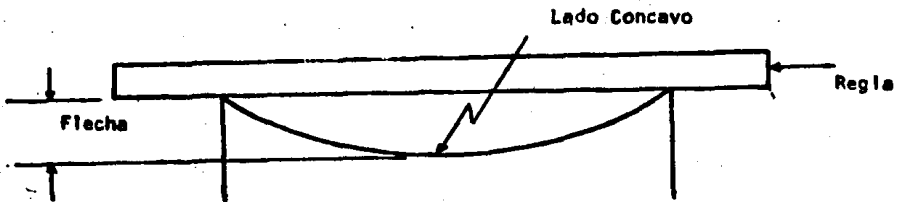
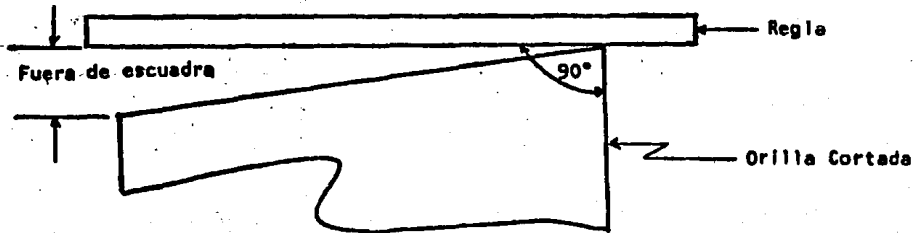


TABLA-12.- Tolerancias en fuera de escuadra (descuadrado) para tramos cortados sin rescuadrar

La Tolerancia en fuera de escuadra, de tramos cortados sin rescuadrar de cualquier espesor y tamaño, es de 1.5 mm por cada 150 mm de ancho o fracción.

NOTA: Fuera de escuadra es la desviación máxima del ángulo recto que deben formar dos orillas perpendiculares entre sí. El descuadrado también se obtiene determinando la diferencia entre las diagonales de los tramos cortados, siendo el valor de éste la mitad de esa diferencia (véase la siguiente figura).



**TABLA 13.- Tolerancias en planura para tramos cortados, con un ancho mayor de 305 mm, sin nivelado por tensión**

Dimensiones en mm

Espesores especificados		Anchos especificados	Tolerancia en planura (véase nota 3)
Mayores de	hasta		
-	-	hasta 914	10
		Mayores de 914 hasta 1524	16
		Mayores de 1524 hasta 1829	22
1233	-	hasta 914	6
		Mayores de 914 hasta 1524	10
		Mayores de 1524 hasta 1829	16

**NOTA:**

- 1.- Estas tolerancias no son aplicables a lámina con requisitos físicos.
- 2.- Estas tolerancias también son aplicables a tramos cortados de rollos, por el propio consumidor, cuando la ejecución de la medición de la planura es adecuada.
- 3.- Tolerancia en planura es la máxima desviación que se permite con respecto a una superficie horizontal plana (véase la siguiente figura).

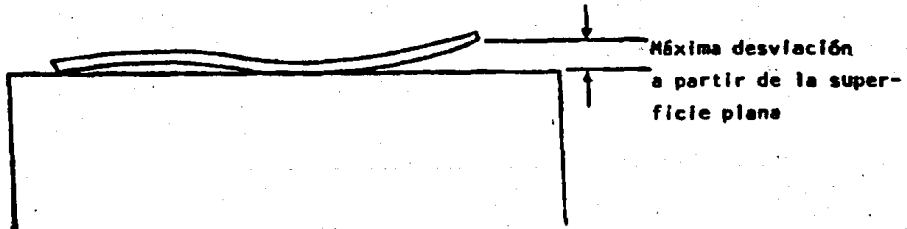


TABLA 14.- Tolerancias en planura para tramos cortados nivelados por tensión

Dimensiones en mm

Espesor especificado		Ancho especificado	Longitud especificada	Tolerancia en planura ( véase nota 3 de la Tabla 13 )
Más de 0.4953	Hasta 0.8177	Lámina más ancha o más larga		10
0.8177		Hasta 914	Hasta 3048	6
		Lámina más ancha o más larga		
		Hasta 1219	Hasta 3048	3

TABLA 15.- Tolerancias en ancho, longitud, flecha y fuera de escuadra para tramos cortados resacuadrados

Para tramos cortados resacuadrados la longitud y el ancho no deben ser menores de lo especificado. Las tolerancias individuales en más para ancho, longitud, flecha y fuera de escuadra son: de 1.5 mm para tramos cortados hasta de 1220 mm de ancho y 3050 mm de longitud, y de 3 mm para tramos cortados de ancho y longitud mayores.

**TABLA 16.-** Espesores equivalentes (de la lámina galvanizada por el proceso de inmersión en caliente) al número de calibre para el tipo de recubrimiento 275 comercial.

Número de calibre	Espesores en mm		
	nominal	máximo	mínimo
10	3.469	3.680	3.260
12	2.710	2.920	2.500
14	1.953	2.161	1.741
16	1.572	1.722	1.422
18	1.267	1.398	1.138
20	0.965	1.065	0.865
22	0.812	0.913	0.713
24	0.584	0.664	0.504
26	0.508	0.588	0.428
28	0.431	0.512	0.352
30	0.358	0.438	0.278
32	0.299	0.375	0.223

### 5.9. Acabado

La lámina cortada a longitudes específicas debe tener un buen acabado compatible con el uso para el que ha sido solicitado.

La lámina en rollos puede contener algunas imperfecciones que hagan una parte del mismo inadecuada para el uso específico para el que se solicitó. Esto es debido a la imposibilidad del productor para hacer una inspección completa en los rollos, que le permita eliminar las imperfecciones en su totalidad, a diferencia de lo que ocurre en el caso de la lámina suministrada en tramos cortados.

La lámina galvanizada fabricada con acero efervescente esta sujeta al fenómeno conocido comunmente como "envejecimiento" cuando se almacena por algún tiempo. Este fenómeno ocasiona alteraciones superficiales tales como acanaladuras y líneas de deformación por alargamiento local durante su procesamiento. Para reducir al mínimo las acanaladuras se debe llevar a cabo un nivelado con rodillos, inmediatamente antes del procesamiento de la lámina o bien solicitar lámina calidad embutido o de acero especialmente calmado, las

cuales envejecen más lentamente. Para reducir al mínimo las líneas de deformación por alargamiento se requiere de lámina de acero galvanizada extra lisa, nivelada con rodillos inmediatamente antes de su procesamiento o bien, como en el caso anterior, solicitarse lámina calidad embutido con superficie extra lisa o de acero especialmente calmado.

#### 5.10. Empaque y marcado

La lámina se puede suministrar en paquetes o rollos protegidos según acuerdo entre fabricante y comprador. Cada rollo o paquete debe llevar una tarjeta firmemente adherida, con los siguientes datos: Nombre o marca del fabricante, número de la Norma particular, cantidad en Kg o número de hojas, dimensiones, tipo de recubrimiento, acabado del recubrimiento o tratamiento del mismo, otros requisitos según acuerdo entre fabricante y comprador.

#### 5.11. Criterio de aceptación

A menos que se especifique otra cosa en la Norma particular del producto o en la orden de compra, cualquier rechazo debe reportarse al fabricante dentro de un periodo de tiempo no mayor de 20 días, contados a partir de la fecha del recibo del material.

El material que se reporte como defectuoso, en la planta o taller del comprador, debe separarse, identificarse y protegerse adecuadamente, notificando al fabricante inmediatamente para que se inicie la verificación.

Las muestras para verificación, representativas del material rechazado, deben ponerse de inmediato a disposición del fabricante. En caso de que el fabricante no este de acuerdo con el rechazo, puede solicitar una revisión.

La lámina galvanizada suministrada en rollos está expuesta a "roturas" cuando el diámetro interior del rollo es más pequeño que el compatible con el espesor de la lámina. Con el objeto de reducir al mínimo esta situación se recomienda que para lámina con espesor de pared de 0.74 mm y mayor el diámetro interior del rollo sea de 610 mm como mínimo y para lámina con espesor de pared menor, el diámetro interior del rollo sea de 508 mm como mínimo. En otras operaciones a que se someta un rollo de lámina, tales como corte con cizalla, en que sea necesario después del corte de un tramo del rollo, volver a enrollar el sobrante, el diámetro interior al cual se enrolle no deber ser menor que el original.

#### 6.- BIBLIOGRAFIA

ANSI-ASTM A 525 - 77 Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) by the Hot-Dip Process General Requirements.



**SECRETARIA DE PATRIMONIO  
Y  
FOMENTO INDUSTRIAL**

**NORMA OFICIAL MEXICANA**

**"LAMINA DE ACERO AL CARBONO, GALVANIZADA POR  
EL PROCESO DE INMERSION EN CALIENTE  
PARA EMBUTIDO"**

**STEEL SHEET, ZINC-COATED (GALVANIZED) BY  
THE HOT-DIP PROCESS, DRAWING QUALITY**

**NOM-B-71-1979**

**DIRECCION GENERAL DE NORMAS**

**P R E F A C I O**

En la elaboración de esta Norma participaron las siguientes Empresas e Instituciones:

**INDUSTRIAS MONTERREY, S. A.**

**CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.**

**SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS.**

**LA FLORIDA, S. A.**

**D. H. NACIONAL, S. A.**





**NORMA OFICIAL MEXICANA**  
**"LAMINA DE ACERO AL CARBONO, GALVANIZADA POR**  
**EL PROCESO DE INMERSION EN CALIENTE**  
**PARA EMBUTIDO"**

**NOH**  
**8-71-1979**

**STEEL SHEET, ZINC-COATED (GALVANIZED) BY**  
**THE HOT-DIP PROCESS, DRAWING QUALITY**

**1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION**

Esta Norma establece los requisitos que deben cumplir las láminas de acero al carbono, galvanizadas por el proceso de inmersión en caliente para embutido, en líneas continuas o semicontinuas para usarse en piezas que van a ser conformadas.

**2.- REFERENCIAS**

Para la correcta aplicación de esta Norma, es necesario consultar la siguiente Norma Oficial Mexicana en vigor:

**NOH-8-55** "Requisitos generales para lámina de acero, galvanizada por el proceso de inmersión en caliente".

**3.- DEFINICIONES**

Para las definiciones pertinentes a esta Norma, se debe consultar la NOH-8-55 en vigor.

**4.- CLASIFICACION Y DESIGNACION**

**4.1.** Las láminas suministradas de acuerdo con esta Norma se clasifican como sigue:

**L E** - Lámina para embutido

**L E C** - Lámina para embutido calmada (resistente al envejecimiento)

**4.2.** En la designación de las láminas se deben indicar los siguientes datos - para describirlas adecuadamente:

a) Nombre del material y número de esta Norma.

b) Tipo de recubrimiento (véase 5.3.).

c) Dimensiones, en mm (espesor de la lámina incluyendo el recubrimiento de cinc, ancho y - salvo en el caso de rollos, la longitud).

d) Recubrimiento protector (acetalado, pasivado, etc.). (véase - 5.4.).

Referencias:

La Dirección General de Normas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial aprobó la presente Norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el

Referencias cruzadas:

- e) Requisitos del tamaño del rollo (especificando el diámetro exterior máximo, diámetro interior y masa máxima).
- f) Requisitos especiales o excepciones a esta Norma, únicamente cuando se soliciten en el pedido.
- g) Uso final (descripción de la pieza).
- h) Además, en el pedido se debe indicar, antes de la designación, la cantidad requerida en número de láminas o peso del rollo.

**5.- ESPECIFICACIONES**

**5.1. Requisitos generales**

La lámina suministrada de acuerdo con esta Norma debe cumplir con los requisitos aplicables especificados en la NOM-B-55 en vigor.

5.1.1. La lámina clase L E C debe solicitarse cuando se requiere que la lámina tenga una mayor resistencia al envejecimiento y que las propiedades de embutición se garanticen como mínimo por 60 días.

**5.2. Composición química**

El metal base debe cumplir, para las dos clases, con los requisitos de composición química, tanto en el análisis de colada como en el de producto, con lo indicado en la Tabla 1.

**TABLA 1.- Composición química**

Elementos	Máximo en %
Carbono	0.10
Manganeso	0.50
Fósforo	0.025
Azufre	0.035

**5.3. Tipo de recubrimiento**

El tipo de recubrimiento en que generalmente se suministran estas láminas, es el 275 comercial, de acuerdo con la NOM-B-55 en vigor. Sin embargo, previo acuerdo con el fabricante, se puede suministrar con cualquiera de las clases de recubrimiento especificadas en la misma Norma.

#### 5.4. Recubrimiento protector

A solicitud del comprador y previo acuerdo con el fabricante, las láminas en hojas o en rollos pueden suministrarse aceitadas, pasivadas o con cualquier otro recubrimiento protector.

#### 5.5. Dimensionales

##### 5.5.1. Largos

Las láminas se pueden suministrar en rollos, en hojas cortadas a largos - específicos (a solicitud del comprador y previo acuerdo con el fabricante) o en los siguientes largos comerciales: 1.83; 2.44; 3.05 y 3.66 metros. En ambos casos, las tolerancias deben ser las indicadas en la NOH-B-55 en vigor.

#### 6.- BIBLIOGRAFIA

ASTM-A-642-1975 Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) by the Hot-Dip Process, Drawing Quality, Special Killed.

ASTM-A-528-1975 Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) by the Hot-Dip Process, Drawing Quality.