



93  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

29:0000

**“LAMINA GALVANIZADA, APLICADA  
A LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER AL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

**P R E S E N T A N:**

**BEATRIZ SILVA DOMINGUEZ**

**FERMIN ORTEGA LEON**

ASESOR: ING. DAVID MOISÉS TERAN PEREZ

MÉXICO

2001



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CAMPUS ARAGÓN

SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. IVÁN MUÑOZ SOLÍS  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,  
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 10 de enero del año en curso, por la que se comunica que los alumnos FERMÍN ORTEGA LEÓN y BEATRIZ SILVA DOMÍNGUEZ, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, han concluido su trabajo de investigación intitulado "LÁMINA GALVANIZADA, APLICADA A LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 11 de enero del 2001  
EL SECRETARIO

Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

C p Asesor de Tesis  
C p Interesado.

AIR/RCC/vr

*SU FELICIDAD ES MUY IMPORTANTE PARA  
MI Y ESTE PROYECTO ES MI REGALO PARA  
USTEDES. LO ESCRIBÍ PARA AGRANDAR LA  
FUERZA, QUE USTEDES ME DIERON, Y QUE  
AHORA MORA EN MI INTERIOR  
CON AMOR. . .*

*A MIS PADRES*

## OBJETIVOS

El propósito fundamental del diseño de estructuras metálicas es lograr una estructura económica y segura, que cumpla con ciertos requisitos funcionales y estéticos. Para alcanzar esta meta, el diseñador debe tener un conocimiento completo de las propiedades de los materiales, del comportamiento estructural, de la mecánica y análisis estructural, y de la relación entre la distribución y la función de una estructura; debe tener, también, una apreciación clara de los valores estéticos.

Esto requiere el desarrollo de nuevos tipos de estructuras y nuevas técnicas, las que a menudo necesitan soluciones económicas deben intervenir en el arte de crear mejores edificios, puentes, maquinas autom6viles y equipo. En el sentido amplio de la palabra el término "diseño" incluye tanto arte creativo como análisis científico.

# INTRODUCCIÓN

La tecnología relacionada con la producción del hierro y sus aleaciones, en especial las que contienen un pequeño porcentaje de carbono, que constituyen los diferentes tipos de acero. A veces, las diferencias entre las distintas clases de hierro y acero resultan confusas por la nomenclatura empleada. En general, el acero es una aleación de hierro y carbono a la que suelen añadirse otros elementos. Algunas aleaciones denominadas "hierros" contienen más carbono que algunos aceros comerciales. El hierro de crisol abierto y el hierro forjado contienen un porcentaje de carbono de sólo unas centésimas. Los distintos tipos de acero contienen entre el 0,04 y el 2,25% de carbono. El hierro colado, el hierro colado maleable y el arrabio contienen entre un 2 y un 4% de carbono. Hay una forma especial de hierro maleable que no contiene casi carbono alguno. Para fabricar aleaciones de hierro y acero se emplea un tipo especial de aleaciones de hierro denominadas ferroaleaciones, que contienen entre un 20 y un 80% del elemento de aleación, que puede ser manganeso, silicio o cromo.

**En el Proceso de acabado**, el acero se vende en una gran variedad de formas y tamaños, como varillas, tubos, railes (rieles) de ferrocarril o perfiles en H o en T, laminas. Estas formas se obtienen en las instalaciones siderúrgicas laminando los lingotes calientes o modelándolos de algún otro modo. El acabado del acero mejora también su calidad al refinar su estructura cristalina y aumentar su resistencia.

El método principal de trabajar el acero se conoce como laminado en caliente. En este proceso, el lingote colado se calienta al rojo vivo en un horno denominado foso de termodifusión y a continuación se hace pasar entre una serie de rodillos metálicos colocados en pares que lo aplastan hasta darle la forma y tamaño deseados. La distancia entre los rodillos va disminuyendo a medida que se reduce el espesor del acero.

El primer par de rodillos por el que pasa el lingote se conoce como tren de desbaste o de eliminación de asperezas. Después del tren de desbaste, el acero pasa a trenes de laminado en bruto y a los trenes de acabado que lo reducen a láminas con la sección transversal correcta. Los rodillos para producir raíles o rieles de ferrocarril o perfiles en H, en T o en L tienen estrias para proporcionar la forma adecuada.

Los procesos modernos de fabricación requieren gran cantidad de chapa de acero delgada. Los trenes o rodillos de laminado continuo producen tiras y láminas con anchuras de hasta 2.5 m. Estos laminadores procesan con rapidez la chapa de acero antes de que se enfríe y no pueda ser trabajada. Las planchas de acero caliente de más de 10 cm de espesor se pasan por una serie de cilindros que reducen progresivamente su espesor hasta unos 0,1 cm y aumentan su longitud de 4 a 370 metros. Los trenes de laminado continuo están equipados con una serie de accesorios como rodillos de borde, aparatos de decapado o eliminación y dispositivos para enrollar de modo automático la chapa cuando llega al final del tren. Los rodillos de borde son grupos de rodillos verticales situados a ambos lados de la lámina para mantener su anchura. Los aparatos de decapado eliminan la costra que se forma en la superficie de la lámina apartándola mecánicamente, retirándola mediante un chorro de aire o doblando de forma abrupta la chapa en algún punto del recorrido. Las bobinas de chapa terminadas se colocan sobre una cinta transportadora y se llevan a otro lugar para ser recocidas y cortadas en chapas individuales. Una forma más eficiente para producir chapa de acero delgada es hacer pasar por los rodillos planchas de menor espesor. Con los métodos convencionales de fundición sigue siendo necesario pasar los lingotes por un tren de desbaste para producir planchas lo bastante delgadas para el tren de laminado continuo.

El sistema de colada continua, en cambio, produce una plancha continua de acero con un espesor inferior a 5 cm, lo que elimina la necesidad de trenes de desbaste y laminado en bruto.

**Los aceros se clasifican en** los diferentes tipos de acero se agrupan en cinco clases principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultrarresistentes, aceros inoxidables y aceros de herramientas.

#### *Aceros al carbono*

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas o pasadores para el pelo.

#### *Aceros aleados*

Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros se emplean, por ejemplo, para fabricar engranajes y ejes de motores, patines o cuchillos de corte.

#### *Aceros de baja aleación ultrarresistentes*

Esta familia es la más reciente de las cinco grandes clases de acero. Los aceros de baja aleación son más baratos que los aceros aleados convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del acero al carbono. Por ejemplo, los vagones de mercancías fabricados con aceros de baja aleación pueden transportar cargas más grandes porque sus paredes son más delgadas que lo que sería necesario en caso de emplear acero al carbono. Además, como los vagones de acero de baja aleación pesan menos, las cargas pueden ser más pesadas. En la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de aceros de baja aleación. Las vigas pueden ser más delgadas sin disminuir su resistencia, logrando un mayor espacio interior en los edificios.



### *Aceros inoxidable*

Los aceros inoxidable contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidable son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas. Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura o área automotriz se emplean muchas veces con fines decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías y tanques de refineries de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones o para cápsulas espaciales. También se usa para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad.

### *Aceros de herramientas*

Estos aceros se utilizan para fabricar muchos tipos de herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas empleadas en diversas operaciones de fabricación. Contienen volframio, molibdeno y otros elementos de aleación, que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad.

**Las propiedades físicas** de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución en el hierro. Antes del tratamiento térmico, la mayor parte de los aceros son una mezcla de tres sustancias: ferrita, perlita y cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita, un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una profunda mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica, y sus propiedades físicas son intermedias entre las de sus dos componentes.

La resistencia y dureza de un acero que no ha sido tratado térmicamente depende de las proporciones de estos tres ingredientes. Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está por completo compuesto de perlita.

El acero con cantidades de carbono aún mayores es una mezcla de perlita y cementita. Al elevarse la temperatura del acero, la ferrita y la perlita se transforman en una forma alotrópica de aleación de hierro y carbono conocida como austenita, que tiene la propiedad de disolver todo el carbono libre presente en el metal. Si el acero se enfría despacio, la austenita vuelve a convertirse en ferrita y perlita, pero si el enfriamiento es repentino la austenita se convierte en martensita, una modificación alotrópica de gran dureza similar a la ferrita pero con carbono en solución sólida.

**El tratamiento térmico del acero** es proceso básico para endurecer el acero mediante tratamiento térmico consiste en calentar el metal hasta una temperatura a la que se forma austenita, generalmente entre los 750 y 850 °C, y después enfriarlo con rapidez sumergiéndolo en agua o aceite. Estos tratamientos de endurecimiento, que forman martensita, crean grandes tensiones internas en el metal, que se eliminan mediante el temple o el recocido, que consiste en volver a calentar el acero hasta una temperatura menor. El temple reduce la dureza y resistencia y aumenta la ductilidad y la tenacidad.

El objetivo fundamental del proceso de tratamiento térmico es controlar la cantidad, tamaño, forma y distribución de las partículas de cementita contenidas en la ferrita, que a su vez determinan las propiedades físicas del acero.

Hay muchas variaciones del proceso básico. Los ingenieros metalúrgicos han descubierto que el cambio de austenita a martensita se produce en la última fase del enfriamiento, y que la transformación se ve acompañada de un cambio de volumen que puede agrietar el metal si el enfriamiento es demasiado rápido. Se han desarrollado tres procesos relativamente nuevos para evitar el agrietamiento.

En el templeado prolongado, el acero se retira del baño de enfriamiento cuando ha alcanzado la temperatura en la que empieza a formarse la martensita, y a continuación se enfría despacio en el aire. En el martempleado, el acero se retira del baño en el mismo momento que el templeado prolongado y se coloca en un baño de temperatura constante hasta que alcanza una temperatura uniforme en toda su sección transversal. Después se deja enfriar el acero en aire a lo largo del rango de temperaturas de formación de la martensita, que en la mayoría de los aceros va desde unos 300 °C hasta la temperatura ambiente.

En el austempleado, el acero se enfría en un baño de metal o sal mantenido de forma constante a la temperatura en que se produce el cambio estructural deseado, y se conserva en ese baño hasta que el cambio es completo, antes de pasar al enfriado final.

Hay también otros métodos de tratamiento térmico para endurecer el acero. En la cementación, las superficies de las piezas de acero terminadas se endurecen al calentarlas con compuestos de carbono o nitrógeno. Estos compuestos reaccionan con el acero y aumentan su contenido de carbono o forman nitruros en su capa superficial. En la carburización la pieza se calienta cuando se mantiene rodeada de carbón vegetal, coque o de gases de carbono como metano o monóxido de carbono. La cianurización consiste en endurecer el metal en un baño de sales de cianuro fundidas para formar carburos y nitruros. La nitrurización se emplea para endurecer aceros de composición especial mediante su calentamiento en amoníaco gaseoso para formar nitruros de aleación.

**Para las propiedades mecánicas de los materiales es necesario saber cómo responden los materiales sólidos a fuerzas externas como la tensión, la compresión, la torsión, la flexión o la cizalladura. Los materiales sólidos responden a dichas fuerzas con una deformación elástica (en la que el material vuelve a su tamaño y forma originales cuando se elimina la fuerza externa), una deformación permanente o una fractura.**

Los efectos de una fuerza externa dependientes del tiempo son la plastodeformación y la fatiga, que se definen más adelante.

La *tensión* es una fuerza que tira; por ejemplo, la fuerza que actúa sobre un cable que sostiene un peso. Bajo tensión, un material suele estirarse, y recupera su longitud original si la fuerza no supera el límite elástico del material. Bajo tensiones mayores, el material no vuelve completamente a su situación original, y cuando la fuerza es aún mayor, se produce la ruptura del material.

La *compresión* es una presión que tiende a causar una reducción de volumen. Cuando se somete un material a una fuerza de flexión, cizalladura o torsión, actúan simultáneamente fuerzas de tensión y de compresión. Por ejemplo, cuando se flexiona una varilla, uno de sus lados se estira y el otro se comprime.

La *plastodeformación* es una deformación permanente gradual causada por una fuerza continuada sobre un material. Los materiales sometidos a altas temperaturas son especialmente vulnerables a esta deformación. La pérdida de presión gradual de las tuercas, la combadura de cables tendidos sobre distancias largas o la deformación de los componentes de máquinas y motores son ejemplos visibles de plastodeformación. En muchos casos, esta deformación lenta cesa porque la fuerza que la produce desaparece a causa de la propia deformación. Cuando la plastodeformación se prolonga durante mucho tiempo, el material acaba rompiéndose.

La *fatiga* puede definirse como una fractura progresiva. Se produce cuando una pieza mecánica está sometida a un esfuerzo repetido o cíclico, por ejemplo una vibración. Aunque el esfuerzo máximo nunca supere el límite elástico, el material puede romperse incluso después de poco tiempo. En algunos metales, como las aleaciones de titanio, puede evitarse la fatiga manteniendo la fuerza cíclica por debajo de un nivel determinado.

En la fatiga no se observa ninguna deformación aparente, pero se desarrollan pequeñas grietas localizadas que se propagan por el material hasta que la superficie eficaz que queda no pueda aguantar el esfuerzo máximo de la fuerza cíclica. El conocimiento del esfuerzo de tensión, los límites elásticos y la resistencia de los materiales a la plastodeformación y la fatiga son extremadamente importantes en ingeniería.

# ANTECEDENTES

## ACERO.

No se conoce con exactitud la fecha en que se descubrió la técnica de fundir mineral de hierro para producir un metal susceptible de ser utilizado. Los primeros utensilios de hierro descubiertos por los Arqueólogos en Egipto datan del año 3000 Antes de Cristo, y se sabe que antes de esa época se empleaban adornos de hierro. Los Griegos ya conocían hacia el 1000 Antes de Cristo la técnica, de cierta complejidad, para endurecer armas de hierro mediante tratamiento térmico.

Las aleaciones producidas por los primeros artesanos del hierro (y, de hecho, todas las aleaciones de hierro fabricadas hasta el siglo XIV Después de Cristo) se clasificarían en la actualidad como hierro forjado. Para producir esas aleaciones se calentaba una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un horno o forja con tiro forzado. Ese tratamiento reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico llena de una escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba con pesados martillos para expulsar la escoria y soldar y consolidar el hierro. El hierro producido en esas condiciones solía contener un 3% de partículas de escoria y un 0,1% de otras impurezas. En ocasiones esta técnica de fabricación producía accidentalmente auténtico acero en lugar de hierro forjado. Los artesanos del hierro aprendieron a fabricar acero calentando hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero auténtico.

Después del siglo XIV se aumentó el tamaño de los hornos utilizados para la fundición y se incrementó el tiro para forzar el paso de los gases de combustión por la carga o mezcla de materias primas.

En estos hornos de mayor tamaño el mineral de hierro de la parte superior del horno se reducía a hierro metálico y a continuación absorbía más carbono como resultado de los gases que lo atravesaban. El producto de estos hornos era el llamado arrabio, una aleación que funde a una temperatura menor que el acero o el hierro forjado. El arrabio se refinaba después para fabricar acero.

La producción moderna de acero emplea altos hornos que son modelos perfeccionados de los usados antiguamente. El proceso de refinado del arrabio mediante chorros de aire se debe al inventor británico Henry Bessemer, que en 1855 desarrolló el horno o convertidor que lleva su nombre. Desde la década de 1960 funcionan varios minihornos que emplean electricidad para producir acero a partir de material de chatarra. Sin embargo, las grandes instalaciones de altos hornos continúan siendo esenciales para producir acero a partir de mineral de hierro.

Así mismo no podemos dejar a un lado la definición del hierro su símbolo es Fe (del latín ferrum, 'hierro'), es un elemento metálico, magnético, maleable y de color blanco plateado. Tiene de número atómico 26 y es uno de los elementos de transición del sistema periódico.

El hierro puro tiene una dureza que oscila entre 4 y 5. Es blando, maleable y dúctil. Se magnetiza fácilmente a temperatura ordinaria; es difícil magnetizarlo en caliente, y a unos 790 °C desaparecen las propiedades magnéticas. Tiene un punto de fusión de unos 1.535 °C, un punto de ebullición de 2.750 °C y una densidad relativa de 7,86. Su masa atómica es 55,847.

El metal existe en tres formas alotrópicas distintas: hierro ordinario o hierro- (hierro-alfa), hierro- (hierro-gamma) y hierro- (hierro-delta). La disposición interna de los átomos en la red del cristal varía en la transición de una forma a otra. La transición de hierro- a hierro- se produce a unos 910 °C, y la transición de hierro- a hierro- se produce a unos 1.400 °C. Las distintas propiedades físicas de las formas alotrópicas y la diferencia en la cantidad de carbono admitida por cada una de las formas desempeñan un papel importante en la formación, dureza y temple del acero.

Químicamente el hierro es un metal activo. Se combina con los halógenos (flúor, cloro, bromo, yodo y astato) y con el azufre, fósforo, carbono y silicio. Desplaza al hidrógeno de la mayoría de los ácidos débiles. Arde con oxígeno formando tetróxido triferroso (óxido ferrosférico),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Expuesto al aire húmedo, se corroe formando óxido de hierro hidratado, una sustancia pardo-rojiza, escamosa, conocida comúnmente como orín.

La formación de orín es un fenómeno electroquímico en el cual las impurezas presentes en el hierro interactúan eléctricamente con el hierro metal. Se establece una pequeña corriente en la que el agua de la atmósfera proporciona una disolución electrolítica (véase Electroquímica). El agua y los electrólitos solubles aceleran la reacción. En este proceso, el hierro metálico se descompone y reacciona con el oxígeno del aire para formar el orín. La reacción es más rápida en aquellos lugares donde se acumula el orín, y la superficie del metal acaba agujereándose.

Al sumergir hierro en ácido nítrico concentrado, se forma una capa de óxido que lo hace pasivo, es decir, no reactivo químicamente con ácidos u otras sustancias. La capa de óxido protectora se rompe fácilmente golpeando o sacudiendo el metal, que vuelve así a ser activo.

El hierro puro, preparado por la electrólisis de una disolución de sulfato de hierro (II), tiene un uso limitado. El hierro comercial contiene invariablemente pequeñas cantidades de carbono y otras impurezas que alteran sus propiedades físicas, pero éstas pueden mejorarse considerablemente añadiendo más carbono y otros elementos de aleación.

La mayor parte del hierro se utiliza en formas sometidas a un tratamiento especial, como el hierro forjado, el hierro colado y el acero. Comercialmente, el hierro puro se utiliza para obtener láminas metálicas galvanizadas y electroimanes.



Pero sin embargo no podemos dejar a lado que aunque sea un material cuyos beneficios son mayores tanto en la industria como en la economía, no se debe dejar aun lado él desgaste total o parcial que disuelve o ablanda cualquier sustancia por reacción química o electroquímica con el medio ambiente.

El término corrosión se aplica a la acción gradual de agentes naturales, como el aire o el agua salada sobre los metales. El ejemplo más familiar de corrosión es la oxidación del hierro, que consiste en una compleja reacción química en la que el hierro se combina con oxígeno y agua para formar óxido de hierro hidratado.

El óxido es un sólido que mantiene la misma forma general que el metal del que se ha formado, pero con un aspecto poroso, algo más voluminoso, y relativamente débil y quebradizo.

Hay tres métodos para evitar la oxidación del hierro: (1) mediante aleaciones del hierro que lo convierten en químicamente resistente a la corrosión; (2) impregnándolo con materiales que reaccionen a las sustancias corrosivas más fácilmente que el hierro, quedando éste protegido al consumirse aquéllas; y (3) recubriéndolo con una capa impermeable que impida el contacto con el aire y el agua. El método de la aleación es el más satisfactorio pero también el más caro. Un buen ejemplo de ello es el acero inoxidable, una aleación de hierro con cromo o con níquel y cromo. Esta aleación está totalmente a prueba de oxidación e incluso resiste la acción de productos químicos corrosivos como el ácido nítrico concentrado y caliente. El segundo método, la protección con metales activos, es igualmente satisfactorio pero también costoso. El ejemplo más frecuente es el hierro galvanizado que consiste en hierro cubierto con cinc. En presencia de soluciones corrosivas se establece un potencial eléctrico entre el hierro y el cinc, que disuelve éste y protege al hierro mientras dure el cinc. El tercer método, la protección de la superficie con una capa impermeable, es el más barato y por ello el más común. Este método es válido mientras no aparezcan grietas en la capa exterior, en cuyo caso la oxidación se produce como si no existiera dicha capa.

Si la capa protectora es un metal inactivo, como el cromo o el estaño, se establece un potencial eléctrico que protege la capa, pero que provoca la oxidación acelerada del hierro. Los recubrimientos más apreciados son los esmaltes horneados, y los menos costosos son las pinturas de minio de plomo.

Algunos metales como el aluminio, aunque son muy activos químicamente, no suelen sufrir corrosión en condiciones atmosféricas normales. Generalmente el aluminio se corroe con facilidad, formando en la superficie del metal una fina capa continua y transparente que lo protege de una corrosión acelerada. El plomo y el cinc, aunque son menos activos que el aluminio, están protegidos por una película semejante de óxido.

El cobre, comparativamente inactivo, se corroe lentamente con el agua y el aire en presencia de ácidos débiles como la disolución de dióxido de carbono en agua —que posee propiedades ácidas—, produciendo carbonato de cobre básico, verde y poroso. Los productos de corrosión verdes, conocidos como cardenillo o pátina, aparecen en aleaciones de cobre como el bronce y el latón, o en el cobre puro, y se aprecian con frecuencia en estatuas y techos ornamentales.

En esta tesis la palabra aleación es necesaria definirla ya que es muy fundamental en el proceso de la lamina galvanizada para poder entender desde la raíz su proceso.

Una aleación es la sustancia compuesta por dos o más metales. Las aleaciones, al igual que los metales puros, poseen brillo metálico y conducen bien el calor y la electricidad, aunque por lo general no tan bien como los metales por los que están formadas. Las sustancias que contienen un metal y ciertos no metales, particularmente las que contienen carbono, también se llaman aleaciones. La más importante entre estas últimas es el acero. El acero de carbono simple contiene aproximadamente un 0,5% de manganeso, hasta un 0,8% de carbono, y el resto de hierro.

Una aleación puede ser un compuesto intermetálico, una disolución sólida, una mezcla íntima de cristales diminutos de los elementos metálicos constituyentes o cualquier combinación de disoluciones o mezclas de los mismos. Los compuestos intermetálicos como  $\text{NaAu}_2$ ,  $\text{CuSn}$  y  $\text{CuAl}_2$ , no siguen las reglas ordinarias de valencia y son por lo general duros y frágiles, aunque las últimas investigaciones han aumentado la importancia de estos compuestos. Las aleaciones tienen normalmente puntos de fusión más bajos que los componentes puros. Una mezcla con un punto de fusión inferior al de otra mezcla cualquiera de los mismos componentes se llama mezcla eutéctica. El eutectoide, o fase sólida análoga del eutéctico, suele tener mejores características físicas que las aleaciones de proporciones diferentes.

Con frecuencia las propiedades de las aleaciones son muy distintas de las de sus elementos constituyentes, y algunas de ellas, como la fuerza y la resistencia a la corrosión, pueden ser considerablemente mayores en una aleación que en los metales por separado. Por esta razón, se suelen utilizar más las aleaciones que los metales puros. El acero es más resistente y más duro que el hierro forjado, que es prácticamente hierro puro, y se usa en cantidades mucho mayores. Los aceros aleados, que son mezclas de acero con metales como cromo, manganeso, molibdeno, níquel, wolframio y vanadio, son más resistentes y duros que el acero en sí, y muchos de ellos son también más resistentes a la corrosión que el hierro o el acero. Las aleaciones pueden fabricarse con el fin de que cumplan un grupo determinado de características. Un caso importante en el que son necesarias unas características particulares es el diseño de cohetes y naves espaciales, supersónicas, en carrocerías de carros o autopartes, etc. Los materiales usados en estos vehículos y en sus motores deben pesar poco y ser muy resistentes y capaces de soportar temperaturas muy elevadas. Para soportar esas temperaturas y reducir el peso total, se han desarrollado aleaciones ligeras y de gran resistencia hechas de aluminio, berilio y titanio. Para resistir el calor generado al entrar en la atmósfera de la Tierra, en los vehículos espaciales se están utilizando aleaciones que contienen metales como el tántalo, niobio, wolframio, cobalto y níquel.

En los reactores nucleares se utiliza una amplia gama de aleaciones especiales hechas con metales como berilio, boro, niobio, hafnio y circonio, que absorben los neutrones de una forma determinada. Las aleaciones de niobio-estaño se utilizan como superconductores a temperaturas extremadamente bajas. En las plantas de desalinización se utilizan aleaciones especiales de cobre, níquel y titanio, diseñadas para resistir los efectos corrosivos del agua salina hirviendo.

Históricamente, la mayoría de las aleaciones se preparaban mezclando los materiales fundidos. Más recientemente, la pulvimetalurgia ha alcanzado gran importancia en la preparación de aleaciones con características especiales. En este proceso, se preparan las aleaciones mezclando los materiales secos en polvo, prensándolos a alta presión y calentándolos después a temperaturas justo por debajo de sus puntos de fusión. El resultado es una aleación sólida y homogénea. Los productos hechos en serie pueden prepararse por esta técnica abaratando mucho su costo. Entre las aleaciones que pueden obtenerse por pulvimetalurgia están los cermets.

Estas aleaciones de metal y carbono (carburos), boro (boruros), oxígeno (óxidos), silicio (siliciuros) y nitrógeno (nitruros) combinan las ventajas del compuesto cerámico, estabilidad y resistencia a las temperaturas elevadas y a la oxidación, con las ventajas del metal, ductilidad y resistencia a los golpes

A continuación describiremos cada una de sus **Propiedades físicas** de Los metales suelen ser duros y resistentes. Aunque existen ciertas variaciones de uno a otro, en general los metales tienen las siguientes propiedades: dureza o resistencia a ser rayados; resistencia longitudinal o resistencia a la rotura; elasticidad o capacidad de volver a su forma original después de sufrir deformación; maleabilidad o posibilidad de cambiar de forma por la acción del martillo; resistencia a la fatiga o capacidad de soportar una fuerza o presión continuadas y ductilidad o posibilidad de deformarse sin sufrir roturas.

**La dureza**, capacidad de una sustancia sólida para resistir deformación o abrasión de su superficie. Se aplican varias interpretaciones al término en función de su uso.

En Metalurgia e Ingeniería, la dureza se determina presionando una bolita o un cono de material duro sobre la superficie estudiada y midiendo el tamaño de la indentación. Los metales duros se indentan menos que los blandos. Este método para establecer la dureza de una superficie metálica se conoce como prueba de Brinell, en honor al ingeniero sueco Johann Brinell, que inventó la máquina de Brinell para medidas de dureza de metales y aleaciones.

La dureza está relacionada con la solidez, la durabilidad y la resistencia de sustancias sólidas, y, en sentido amplio, este término suele extenderse para incluir todas estas propiedades.

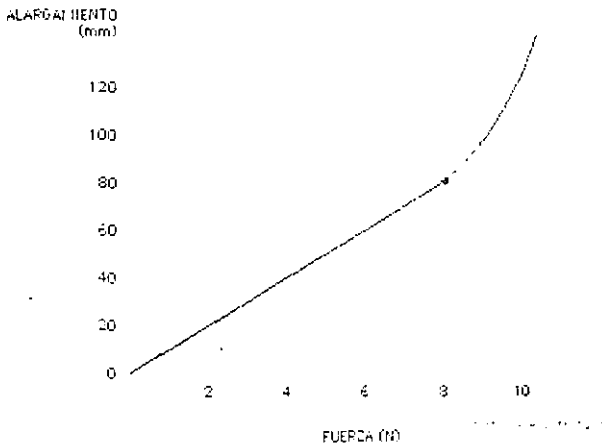
**Resistencia longitudinal**, en ingeniería, resistencia de un cuerpo a las fuerzas longitudinales que intentan romperlo. El término también se aplica a la resistencia a la tracción, y se define como la fuerza por unidad de sección que resiste un cuerpo antes de romperse.

Las resistencias longitudinales más altas, para su utilización en ingeniería, se han conseguido elaborando, con tratamientos controlados de calor, aleaciones de acero, que se usan sobre todo para fabricar alambres. Los cables de sustentación de puentes, por ejemplo, se elaboran trenzando miles de cables finos, que presentan mayor resistencia que barras más gruesas con la misma sección total. Los materiales con estructuras toscamente cristalinas, como el hierro colado, presentan resistencias longitudinales muy bajas y se utilizan en las estructuras en elementos que sólo precisan resistencia a la compresión. El hormigón también tiene baja resistencia longitudinal, debido a su estructura amorfa, y debe reforzarse con barras de acero para soportar las tensiones a las que suele estar sometido.

**La elasticidad (física)** es relación entre el esfuerzo y la deformación, denominada módulo de elasticidad, así como el límite de elasticidad, están determinados por la estructura molecular del material.

La distancia entre las moléculas de un material no sometido a esfuerzo depende de un equilibrio entre las fuerzas moleculares de atracción y repulsión. Cuando se aplica una fuerza externa que crea una tensión en el interior del material, las distancias moleculares cambian y el material se deforma. Si las moléculas están firmemente unidas entre sí, la deformación no será muy grande incluso con un esfuerzo elevado.

En cambio, si las moléculas están poco unidas, una tensión relativamente pequeña causará una deformación grande. Por debajo del límite de elasticidad, cuando se deja de aplicar la fuerza, las moléculas vuelven a su posición de equilibrio y el material elástico recupera su forma original. Más allá del límite de elasticidad, la fuerza aplicada separa tanto las moléculas que no pueden volver a su posición de partida, y el material queda permanentemente deformado.



Copyright Microsoft

#### Ley de Hooke

Esta gráfica muestra el aumento de longitud (alargamiento) de un alambre elástico a medida que aumenta la fuerza ejercida sobre el mismo. En la parte lineal de la gráfica, la longitud aumenta 10 mm por cada newton (N) adicional de fuerza aplicada. El cambio de longitud (deformación) es proporcional a la fuerza (tensión), una relación conocida como ley de Hooke. El alambre empieza a estirarse desproporcionadamente para una fuerza aplicada superior a 8 N, que es el límite de elasticidad del alambre. Cuando se supera este límite, el alambre reduce su longitud al dejar de aplicar la fuerza, pero ya no recupera su longitud original.

**La fatiga (materiales)**, deterioro progresivo de los metales que termina produciendo su rotura. La fatiga se produce cuando se aplica un esfuerzo repetitivo al metal. La deformación de un material o un objeto como resultado del esfuerzo se denomina fluencia. El esfuerzo de fatiga de una aleación corriente de aceros es de alrededor de un 50% del esfuerzo límite y de un 75% del esfuerzo elástico, pero puede ser mucho menor en el caso de los aceros más duros tratados térmicamente. Si el esfuerzo elástico de una viga de metal es por lo general 450.000 N, puede resistir durante siglos un esfuerzo continuo de unos 410.000 N sin que se produzca una deformación apreciable. Un esfuerzo de 360.000 N aplicado y eliminado de forma cíclica podría causar un defecto por fatiga tras millones de aplicaciones. La fatiga no resulta relevante en estructuras de ingeniería civil, en las que el esfuerzo es continuo, pero las piezas de un motor que gira a 3.000 revoluciones por minuto pueden recibir un esfuerzo varios millones de veces en pocas horas. Los fallos producidos por la fatiga constituyen la mayoría de los daños estructurales que se producen en aparatos con funcionamiento cíclico, como por ejemplo los motores. Los ingenieros de diseño deben tener en cuenta el esfuerzo de fatiga de una máquina, en lugar del esfuerzo elástico o el esfuerzo límite.

# CAPÍTULO I

## LÁMINA GALVANIZADA Y SU PROCESO

*GALVANIZACIÓN EN CALIENTE:*

PROCESO, PROPIEDADES Y APLICACIONES.

Se denomina galvanización en caliente al proceso mediante el cual se obtienen recubrimiento sobre acero u otros materiales féreos por inmersión en baño zinc fundido. Se describe este proceso de galvanización en cliente así como las propiedades, aplicaciones y aspectos económicos de la utilización de los recubrimientos galvanizados.

### **I.1.- LA PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN DEL HIERRO Y EL ACERO.**

La obtención de un metal a partir de sus minerales supone la inversión de una tendencia natural. La mayoría de los metales se corroen, a menos que estén protegidos, mediante un proceso que supone el retorno del metal a su estado natural. La prevención de la corrosión en el hierro y el acero es de gran importancia para la utilización de estos metales que son indispensables en al civilización moderna.

Existen muchos medios para proteger el hierro y el acero de la corrosión, pero ninguno es tan efectivo, práctico y económicos como la galvanización en caliente. El zinc resiste muy bien la acción corrosiva del ambiente y, por ellos, proporciona una protección a largo plazo. La mayoría de los recubrimientos orgánicos protectores son inestables en la atmósfera, por lo que tienen que renovarse con frecuencia. Cuando se agrietan, se inicia la corrosión en las zonas expuestas al ambiente y esta corrosión se extiende rápidamente por debajo de la película de pintura.



La galvanización en caliente evita la corrosión del hierro y el acero por los dos mecanismos siguientes:

1. - Proporcionando un recubrimiento aislante y protector muy duradero formado por zinc metálico y aleaciones de zinc, el cual está unido metalúrgicamente al hierro o acero de base.

2. - Por un efecto de protección catódica, también llamado "de Sacrificio". El zinc se corroe muy lentamente y con preferencia al hierro o acero, impidiendo la corrosión incluso sobre las pequeñas zonas del metal de base que pueden quedar accidentalmente expuestas al medio ambiente por deterioro mecánico del recubrimiento.

## **I.2.- PROTECCIÓN CATODICA DEL HIERRO Y EL ACERO.**

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 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 zona positiva (ánodo) que libera electrones y otra negativa (cátodo). Los electrones, que son partículas atómicas de carga 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 a algunos átomos del mismo en iones con carga positiva (cationes), los cuales pasan al electrólito y en él reaccionan con otros iones de carga negativa (aniones).

Esta reacción entre el ánodo y el electrólito provoca la desintegración (corrosión) del metal anódico. En el metal que hace de ánodo es el que se corroe y, de esta manera, protege al metal catódico.

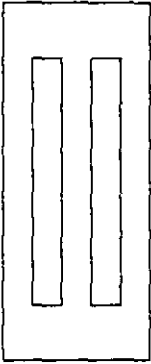
Este es el fundamento de la "protección catódica", llamada así porque el metal. También se la denomina "protección de sacrificio", porque el metal que actúa como ánodo se sacrifica para proteger al metal catódico.

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 electrólito, 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 misma forma los recubrimientos de zinc protegen catódicamente al hierro y al acero y evitan su corrosión, incluso en los fallos o desperfectos que puedan tener el recubrimiento.

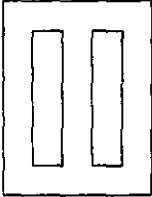
### **1.3.- LA GALVANIZACIÓN EN CALIENTE COMO MEDIO DE EVITAR LA CORROSIÓN DEL HIERRO Y EL ACERO.**

La galvanización en caliente protege al hierro y al acero de la corrosión porque cubre completamente su superficie con una capa de zinc metálico que los aísla del medio exterior. En las zonas en donde existe alguna discontinuidad del recubrimiento, o se produce algún deterioro mecánico del mismo, se conserva el efecto protector debido a la acción catódica del zinc.

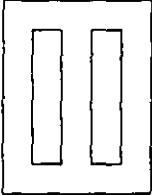
A continuación se explica de manera simplificada el mecanismo de protección catódica del hierro y el acero por el zinc.



1.- Cuando se ponen en contacto el zinc y el acero dentro de un electrolito se produce una diferencia de potencial eléctrico, dando lugar a una célula electrolítica. El zinc es electroquímicamente más activo que el acero. Por ello, el zinc se comporta como ánodo con respecto a toda la masa de acero, evitando la aparición de pequeñas zonas anódicas sobre la superficie del material.

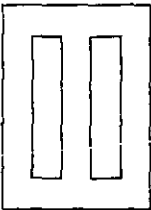


2.- Como consecuencia de la diferencia de potencial eléctrico dentro de la célula electrolítica los electrones fluyen desde el ánodo de zinc al cátodo de acero y en la zona anódica los átomos de zinc se van convirtiendo en iones de zinc con carga positiva.



3.- Cuando por alguna discontinuidad o deterioro mecánico del recubrimiento queda expuesta al ambiente exterior alguna de las zonas del acero base, la protección catódica que ejerce el zinc sobre el acero evita que la zona expuesta se oxide.

4.- En la superficie catódica, que, está cargada negativamente, los electrones atraen y reaccionan con los iones hidrógeno (protones) del electrolito, dando lugar a gas hidrógeno. Sin embargo, no se produce ninguna reacción química entre el cátodo de acero y el electrolito. Este efecto, que evita la corrosión del cátodo, se conoce como protección catódica. Los iones de zinc de la superficie del ánodo que tienen carga positiva, reaccionan con los iones hidróxido de carga negativa del electrolito formando hidróxido de zinc.



5. - la mayoría de los recubrimientos de tipo orgánico y de las pinturas fundamentan su capacidad de protección del acero contra la corrosión en que lo aíslan del ambiente corrosivo externo, por lo que no pueden proteger las zonas que queden al descubierto. En estas zonas se forma óxido, que se extiende rápidamente por debajo de la capa de pintura.

#### **I.4.- DURACIÓN DE LA PROTECCIÓN PROPORCIONADA POR LOS RECUBRIMIENTOS DE ZINC.**

La duración de la protección facilitada por los recubrimientos de zinc sobre el acero es proporcional a la masa de zinc por unidad de superficie (espesor del recubrimiento), con independencia del método de obtención de este recubrimiento.

El gráfico que se muestra más abajo, y que constituye una continuación de lo indicado anteriormente, resume los resultados de los ensayos realizados en el Reino Unido con recubrimiento de distintos espesores, obtenidos por cincado electroquímico, galvanización en caliente y metalización con zinc.

En la tabla y en el esquema que se incluyen a continuación se indican los espesores de los recubrimientos (expresados en gramos por metro cuadrado) que pueden obtenerse de manera práctica y económica por cada uno de los tres procedimientos mencionados. Puede observarse que los recubrimientos obtenidos por metalización son considerablemente más gruesos que los galvanizados en caliente que tienen el mismo peso de zinc por unidad de superficie, debido a su naturaleza porosa. Las cifras que se indican demuestran que la galvanización es más ventajosa pero aquellas aplicaciones en las que el peso del recubrimiento es de unos 610gr/m<sup>2</sup>. Mediante metalización pueden obtenerse un recubrimiento más grueso, pero resulta más caro y, además, no posee la característica de los recubrimientos galvanizados en caliente de estar unidos al acero de base a través de una capa gruesa de aleación, constituyendo una auténtica unión metalúrgica.

**1.5.- INTERVALO DE PESOS DE LOS RECUBRIMIENTOS DE ZINC QUE PUEDEN OBTENERSE POR LOS PROCEDIMIENTOS USUALES.**

*Intervalo práctico*

Cincado electroquímico	hasta 61g/m <sup>2</sup>
Chapa de acero galvanizado en caliente (proceso continuo)	190-350g/m <sup>2</sup>
Artículos de acero galvanizado en caliente	305-915g/m <sup>2</sup>
Metalización con zinc.	610-152g/m <sup>2</sup>

*Intervalo de pesos de los recubrimientos*

Cincado electroquímico					
Chapa galvanizada (proceso continuo)					
Artículos galvanizados					
Metalización con zinc					
Peso del recubrimiento(g/m <sup>2</sup> )	305	610	915	1.220	1.525

Espesores equivalentes:

Recubrimiento galvanizado(micras)	43	86	129	172	215
Recubrimiento metalizado (micras)	51	102	153	204	255

Pueden obtenerse recubrimientos de zinc metálico sobre superficies preparadas de hierro o hacer mediante metalización, cincado electroquímico, pintado con pinturas ricas en zinc y por galvanización en caliente. Este último procedimiento es el más eficaz, económico y el que se utiliza más ampliamente para la protección contra la corrosión.

La galvanización en caliente proporciona un recubrimiento muy duradero, formado por una capa de zinc y varias capas de aleaciones zinc - hierro unidas metalúrgicamente al metal de base. Los artículos con la superficie adecuadamente preparada se sumergen en un baño de zinc fundido. De esta forma quedan cubiertos completamente con un recubrimiento uniforme de unos 610gr/m<sup>2</sup> (86 micras).

Como la duración de los recubrimientos de zinc es directamente proporcional a su espesor, este recubrimiento tan grueso constituye una ventaja importante de la galvanización en caliente.

El zinc fundido del baño de galvanización penetra en los ángulos, esquinas, costuras y remaches, proporcionando protección completa en todas aquellas zonas que son motivo de corrosión potencial con otros sistemas de protección. Mediante los grandes crisoles de galvanización en conjunción con la doble inmersión y las técnicas de construcción modular, es posible galvanizar prácticamente cualquier estructura, reduciendo así los gastos de conservación y aumentando su vida útil.

Generalmente, es suficiente la inspección visual de los artículos galvanizados para comprobar que están completamente recubiertos y, por lo tanto, perfectamente protegidos.

## PREPARACIÓN DE MATERIALES

Primeramente es necesario eliminar por completo el óxido, la cascarilla, la pintura y las manchas de grasa o de cualquier otro tipo que existan sobre la superficie de los objetos a galvanizar, lo cual se consigue mediante tratamiento preliminar adecuado y posterior decapado en ácidos sulfúrico o clorhídrico diluidos. Las piezas de fundición se chorrean generalmente con granalla para limpiarlas de los restos de arena o de carbón y después se someten a un decapado ligero. Mediante un lavado posterior se eliminan las sales de hierro que hayan podido arrastrar los objetos al extraerlos del baño de decapado.

## TRATAMIENTO CON FLUJO

En el procedimiento de galvanización conocido como "vía húmeda", los objetos, una vez preparados superficialmente, se introducen en el crisol de la galvanización, que contiene zinc fundido, a través de una cubierta de flujo que flota sobre el metal fundido.

El flujo disuelve o absorbe cualquier impureza, restos de óxidos o humedad que hayan podido quedar sobre la superficie del acero, asegurando de esta manera que la superficie está completamente limpia cuando entra en contacto con el baño de zinc.

En el procedimiento de "vía seca" los artículos se tratan previamente con una solución de flujo y, después de secarlos, se galvanizan en un baño de zinc sin cubierta de flujo.

## INMERSIÓN EN EL BAÑO

Durante la inmersión en el baño de zinc fundido, la superficie de los objetos de hierro o acero reacciona con el zinc y forma distintas aleaciones de zinc – hierro. Para facilitar alcanza la del zinc fundido, entre 445 y 465C. El tiempo de inmersión oscila desde unos pocos segundos para los objetos de chapa fina y varios minutos para las piezas estructurales de gran tamaño y espesor. Los objetos se extraen del baño a una velocidad controlada y arrastran consigo una película de zinc fundido que, al solidificar, constituye la capa externa de zinc prácticamente puro.

El resultado es un recubrimiento tenaz, formado por una capa externa de zinc y varias capas de aleaciones zinc - hierro que está unidas metalúrgicamente al hierro o acero de base.

Cuando la superficie del acero, bien limpia y cubierta con una película de flujo, entra en contacto con el zinc fundido del crisol de galvanización, la película protectora de flujo se funde dejando una superficie completamente limpia que se moja inmediatamente con el zinc. De esta manera, se produce una reacción entre el zinc y el acero que da lugar a la formación de capas de aleación zinc – hierro.

El recubrimiento consiste en una progresión de capas de aleación zinc – hierro unidas metalúrgicamente al acero de base. Por encima de estas aleaciones existe la capa externa de zinc prácticamente puro que se forma al solidificar el zinc arrastrado del baño.

Las capas de aleaciones delta y zeta son incluso mas duras que el acero de base. Las elevadas solicitaciones mecánicas o el desgaste abrasivo pueden dañar la capa eta de zinc, que es relativamente blanda, pero entonces queda al descubierto la capa zeta, de gran dureza y resistencia a la abrasión, que sigue proporcionando protección frente a la corrosión. El espesor del recubrimiento galvanizado, así como el número y el grosor de las capas de aleación zinc – hierro, depende de la composición y estado físico de la superficie del acero. Pueden obtenerse recubrimientos más gruesos sobre superficies chorreadas con granalla y sobre los aceros aleados.

Nota: **Capa eta:** zinc prácticamente puro.

**Capa zeta:** constituida por una aleación de zinc – hierro de 5.8 a 6.8 por ciento de hierro.

**Capa delta:** constituida por una aleación de zinc – hierro de 7 a 12 por ciento de hierro.

**Capa gamma:** constituida por una aleación zinc. –hierro de espesor molecular que contiene de 21 a 28 Por ciento de hierro.



En un recubrimiento galvanizado de grosor normal la estructura y espesor relativo de las capas de aleación y de la capa externa del zinc influyen muy poco, o nada, sobre la duración de la protección que proporciona el recubrimiento. Esta duración depende fundamentalmente de la masa de zinc contenida en el recubrimiento en su conjunto. La capa externa del recubrimiento, que es prácticamente zinc puro, le confiere su aspecto típico brillante y con cristales de zinc, que también se conocen con el nombre de "flores". Cuando las capas de aleación zinc - hierro crece de tal manera que alcanzan la superficie del recubrimiento (debido a la composición del acero o al método de galvanización), el aspecto del galvanizado toma un color gris mate, lo que se conoce como "recubrimiento gris". Es despreciable, sin embargo, la diferencia entre la duración de la protección que proporcionan uno y otro tipo de recubrimiento.

En la galvanización en continuo de la banda de acero se suprime generalmente la formación de las capas de aleación de las capas de aleación, añadiendo al baño pequeñas cantidades de aluminio. Esta práctica tiene por objeto impartir mayor ductilidad al recubrimiento galvanizado, para permitir deformaciones severas durante las operaciones de conformación y fabricación con esta chapa.

#### **I.6.- TIEMPO DE PROTECCIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS.**

El período de tiempo durante el cual proporcionan protección al acero los recubrimientos galvanizados es, en términos generales, proporcional a la masa de zinc que llevan dichos recubrimientos y depende también del tipo de medio ambiente. El espesor de los recubrimientos que se obtienen sobre los artículos fabricados que se galvanizan por el método normal es de unos 600 gramos por metro cuadrado de superficie. Con estos recubrimientos la duración de la protección es la función del ambiente al que están expuestos.

En la mayoría de las atmósferas el recubrimiento galvanizado proporciona una protección muy duradera, ya que la velocidad de corrosión del zinc es aproximadamente una veintavés parte de la del acero. La protección frente a la corrosión que proporcionan los recubrimientos galvanizados es varias veces superior a la de cualquier otro sistema de protección que pueda utilizarse como alternativa.

El zinc y sus aleaciones poseen una resistencia excelente a la corrosión provocada por la atmósfera y por la mayoría de las aguas naturales, debido a que sobre su superficie se forma una capa protectora compuesta por óxido de zinc insoluble, hidróxido de zinc y diferentes sales básicas de zinc, dependiendo de la naturaleza del medio ambiente. Una vez formada esta capa protectora, se reduce mucho la reacción entre el zinc y los agentes agresivos que existen en el medio ambiente, dando como resultado una duración muy prolongada del recubrimiento.

## DURACIÓN POR LOS RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS

### En la atmósfera.

Para estimar la duración de la protección que proporciona un recubrimiento de zinc, en un lugar determinado, se deben tomar en consideración diferentes factores, entre los que destacan las condiciones climatológicas del lugar, la presencia en la atmósfera de contaminantes agresivos originados por actividades urbanas o industriales y la proximidad al mar.

Ambientes aparentemente muy parecidos dan lugar, frecuentemente, a condiciones de corrosión muy distintas, debido a diferencias mínimas en los vientos predominantes, grado de proximidad a afluentes corrosivos y otras condiciones atmosféricas particulares.

En atmósferas secas y cálidas es muy notable la estabilidad que tiene el zinc. En este caso, la capa de óxido de zinc que se forma sobre el recubrimiento se conserva inalterada y la protección proporcionada por el zinc se mantiene indefinidamente.

En presencia de humedad en la atmósfera el óxido de zinc se convierte en hidróxido y el dióxido de carbono que contiene el aire reacciona con este hidróxido para dar carbonatos básicos de zinc. Estos compuestos son inertes y estables y resisten la acción subsiguiente de la atmósfera, asegurando así una larga vida al recubrimiento galvanizado.

En las zonas próximas a la costa, en donde la velocidad de corrosión viene acelerada por la presencia en la atmósfera de pequeñas gotitas de agua que contienen cloruros solubles, el comportamiento de los recubrimientos galvanizados es excepcionalmente bueno en relación con otros sistemas de protección.

En las zonas industriales la presencia en la atmósfera de impurezas, tales como dióxido de azufre y otros químicos, tiene como consecuencia la formación de sales básicas de zinc, que tienen mayor solubilidad, las cuales se disuelven por la lluvia y la humedad dejando el zinc más expuesto al ataque.

En las áreas poco industrializadas los recubrimientos galvanizados proporcionan una protección adecuada; sin embargo, en las condiciones de corrosividad extrema existentes en las zonas muy industriales se recomienda complementar la protección del recubrimiento galvanizado con una pintura adecuada a las condiciones ambientales. Incluso en estas condiciones severamente corrosivas, los recubrimientos galvanizados, en combinación con pinturas adecuadas proporcionan una protección más duradera y económica que los mejores sistemas que pudieran utilizarse en su lugar.

En la sección de este prontuario dedicada al pintado del acero galvanizado se indican las pinturas más adecuadas y se describen las técnicas para su aplicación.

### En el agua

Agua dulce: cuando el acero galvanizado se sumerge en agua pura en la que no existen sales disueltas que puedan formar la capa protectora de sales de zinc que aísla al recubrimiento de la subsiguiente acción del agua, la velocidad de disolución del recubrimiento es anormalmente elevada. Esta situación puede corregirse añadiendo sales al agua, en proporciones controladas, durante la inmersión inicial.

Sin embargo, la mayoría de las aguas naturales contienen suficiente cantidad de sales en disolución como para evitar este ataque inicial y los depósitos y conducciones de agua galvanizados en caliente ha demostrado desde hace muchos años su utilidad para este servicio.

Agua de mar: los recubrimientos galvanizados en caliente resisten bien el agua de mar, que es muy corrosiva; sin embargo, para la mayoría de los sistemas de protección que se utilizan para el acero, las sales disueltas en el agua de mar reaccionan con el zinc y forma una capa protectora que hace mínima la subsiguiente acción corrosiva del agua. La galvanización en caliente protege igualmente al acero cometido a la humedad salina del mar y esta protección se extiende a los bordes y zonas difícilmente accesibles a otros sistemas de protección y que, por tanto, constituyen puntos débiles en cuanto a la protección se refiere.

### Influencia de la temperatura

En agua fría de composición normal es más efectiva la protección catódica proporcionada por los recubrimientos galvanizados y la velocidad de disolución o consumo de zinc es muy bajo. Por ello, se ha extendido universalmente la utilización del acero galvanizado para los depósitos, cisternas e instalaciones de conducción de aguas.

El zinc solamente protege catódicamente al acero por debajo de 60-65C y es importante que antes de alcanzar esta temperatura se haya formado sobre la superficie del recubrimiento galvanizado una capa adherente de sales de zinc. Cuando las aguas son duras, se deposita muy rápidamente sobre la superficie del recubrimiento una capa de incrustación de carbonatos cálcico y magnésico. Estas incrustaciones anulan el efecto que ejerce la temperatura del agua y el recubrimiento galvanizado se comporta perfectamente.

Con algunas aguas blandas no llega a formarse este depósito protector y en este caso, el recubrimiento galvanizado no es adecuado para el manejo de esta agua caliente, a menos que se proteja con ánodos de sacrificio u otro sistema adecuados

#### En contacto con productos químicos.

Los recubrimientos galvanizados son muy resistentes al ataque químico en un intervalo amplio de pH y particularmente en soluciones moderadamente alcalinas. No se debe utilizarse sin embargo, con soluciones ácidas de pH inferior a 6 y con soluciones alcalinas de pH superior a 12.5. Para valores de pH comprendidos entre estos límites se forma una película protectora sobre la superficie del zinc que hace mínimo el ataque del mismo. Como este intervalo de pH cubre la mayor parte de las aguas naturales y todos los álcalis, excepto los más enérgicos, quiere esto decir que el acero galvanizado posee un amplio dominio de aplicación en el almacenamiento y conducción de líquidos. La mayoría de los líquidos orgánicos, excepto los claramente ácidos, atacan muy poco al zinc, por lo que los recubrimientos galvanizados son apropiados para los equipos de almacenamiento y manejo de una gran variedad de compuestos químicos orgánicos, incluyendo combustible para motores, creosotas, fenoles y ésteres.

El acero galvanizado se utiliza también en los equipos de circulación de las soluciones salinas refrigerantes, a las cuales suele añadirse dicromato sódico como inhibidor.

## **I.7.- TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO.**

Los artículos galvanizados deben guardarse y transportarse en condiciones de sequedad y ventilación para evitar las manchas de almacenamiento y la producción de óxido blanco, también denominado manchas blancas. Estas manchas se producen por la retención de agua entre las superficies en contacto de los artículos galvanizados, en condiciones de mala circulación de aire.

El ataque que da lugar a las manchas blancas es normalmente muy superficial, a pesar del volumen relativamente grande del producto de corrosión, pero muchas veces puede ser motivo de rechazo del artículo galvanizado, principalmente por razones estéticas.

Cuando los artículos galvanizados tienen que almacenarse o transportarse en malas condiciones de ventilación, el galvanizador puede aplicar, si lo desea el cliente, un tratamiento sencillo de cromatación, con el cual se hace mínimo el problema de las manchas por almacenamiento en condiciones de humedad. El galvanizador debe ser advertido si el artículo galvanizado va a pintarse, con objeto de emplear el tratamiento de cromatación más adecuado. El acero galvanizado no debe nunca dejarse en contacto con ceniza, escoria o madera que no esté bien seca.

## CAPÍTULO II

### USO, MANEJO Y APLICACIÓN DE LAS DIFERENTES LÁMINAS EN LA INDUSTRIA.

Las estructuras pueden dividirse en dos grupos principales estructuras de cascarón, hechas principalmente de placas o laminas, tales como tanques de almacenamientos, silos, cascos de buques, carros de ferrocarril, auto partes, aeroplanos, carrocerías, cubiertas de cascarón para edificios grandes, y estructuras reticulares, las cuales se caracterizan por estar constituidas de conjuntos de miembros alargados, tales como armaduras, marcos rígidos, trabes, tetraedros o estructuras reticuladas tridimensionales. Pero sólo nos enfocaremos al primer punto ya que es aquí donde converge el tema de esta tesis.

La lámina o placa utilizada en los diferentes usos antes mencionados desempeña simultáneamente el doble papel de cubierta funcional y de elemento principal de carga; para ello se le rigidiza mediante bastidores que pueden o no soportar las cargas principales. En cambio, los miembros principales de las estructuras reticulares no son generalmente funcionales y se usan únicamente para la transmisión de las cargas; esto obliga a colocar elementos adicionales, tales como muros, pisos techos y pavimentos, que satisfagan los requisitos funcionales. Por tanto, puede parecer que las estructuras son más eficientes que las reticuladas, ya que la lamina es usada con doble propósito: funcional y estructural.

Así pues, la lamina juega un papel importante en nuestra economía, es decir la facilidad de la fabricación y montaje tienen una influencia importante en la economía del diseño; es aconsejable que el ingeniero en estructuras tenga el conocimiento completo de todos los detalles de fabricación y montaje.

Un factor que el ingeniero debe considerar sobre la economía del diseño, es que la fabricación cuesta dinero. Este costo proviene del empleo de mano de obra, herramientas y maquinaria; por consiguiente, para reducir los costos de fabricación, el ingeniero debe reducir al mínimo la cantidad de trabajo requerido para fabricar la estructura y debe balancear los costos obtenidos al disminuir el peso del acero empleado, con el aumento ocasionado por un proceso de fabricación más complicado.

En algunos diseños puede ser ventajoso el uso de aceros de alta resistencia, ya sea para reducir peso, para usar secciones menores como los diferentes ensambles o auto partes o bien por requisitos de resistencia. Aunque en este caso el peso del acero es menor, los costos de fabricación y montaje no se reducen necesariamente, ya que la mayoría de las operaciones de fabricación son relativamente independientes del peso o espesor de la parte a trabajada.

El ingeniero debe conocer los diferentes métodos usados en la fabricación y estar siempre consciente del efecto que tiene su diseño sobre los costos de fabricación.

Basados en los planos y especificaciones de diseño en las diferentes áreas en que se utiliza el acero, varios fabricantes seleccionados preparan propuestas para la fabricación de la estructura; para determinar el importe de estas propuestas para la fabricación de las diferentes estructuras; para determinar el importe de estas propuestas, se deben estimar los costos de las siguientes partidas: materia prima en la laminadora, transporte desde la laminadora hasta la planta o fabricante, planos de taller y plantillas, fabricación en el taller, transporte del material terminado desde el taller al lugar de la obra, montaje, gastos indirectos y utilidad.

Una vez que la información está completa, se preparan planos de taller, en los que se tallan todas las piezas de la estructura. Estos planos muestran los números de parte o marcas de identificación y tamaño de agujeros, detalles de cortes y conexiones de taller.



Los planos de taller deben estar de acuerdo con el diseño y requieren una revisión minuciosa por parte de un ingeniero experimentado, el cual debe revisar que las dimensiones y detalles se indiquen correctamente y que todas las partes ensamblen adecuadamente entre sí. Partiendo de los planos de taller se elaboran plantillas de cartón o madera a escala natural, las cuales muestran la localización de todos los agujeros y cortes en las piezas. La práctica usual es pedir a la laminadora que entregue el material para los miembros principales de la longitud exacta requerida, mientras que el material para los demás miembros y piezas secundarias se pide de longitudes estándar.

La primera operación que se efectúa en el taller es la de "trazo"; Se marca cada pieza con el nombre de la obra, número de parte, cantidad de piezas requeridas y cualesquiera instrucciones especiales referentes al procedimiento de fabricación; las piezas se cortan a la longitud requerida, en caso necesario, y se hacen los cortes en las almas y patines que así lo requieran. En caso de existir piezas duplicadas, éstas se manejan juntas a continuación, se barrenan o maquinan las piezas, si así lo indican los planos. Una vez que se han fabricado todas las partes de un ensamble se llevan al lugar de armado. Es aquí donde se ensamblan entre sí, ya sea por medio de remaches, tornillos o soldadura, haciendo coincidir los agujeros y rimándolos si es necesario. El ajuste y ensamble de las piezas es un trabajo de gran importancia, ya que la corrección de los errores cometidos en esta etapa resulta muy costoso; por consiguiente, en la misma es muy importantes la inspección de los ajustes correctos y contar con una mano de obra adecuada en el soldado y remachado. Una vez terminados los ensambles se transportan al patio de almacenamiento, donde se limpian, pintan y almacenan, quedando listos para su traslado al lugar de requerido.

El transporte del material de una operación a otra representa una gran parte del trabajo en el taller; para ello se emplean grúas viajeras, mientras que para dar servicio al área adyacente a cada operación se usan malacates o grúas de brazo giratorio. Muy a menudo, la economía de fabricación depende de la mayor o menor cantidad de manejo del material en el taller.

Por consiguiente los factores más importantes para determinar la resistencia a la corrosión incluyen físico y químico en que se encuentra el material, la composición de dicho material, y la defensa o protección que tiene contra el contacto con los elementos dañinos del medio ambiente. Se ha dicho que los elementos de acero delgados son más susceptibles de ser corroídos que los elementos convencionales relativamente gruesos, pero esto no parece razonable, ya que el espesor no detiene la corrosión una vez que ésta ha comenzado a atacar al acero. Aunque un espesor mayor puede aumentar un cierto grado la durabilidad de una estructura de acero en presencia de la corrosión, los únicos medios efectivos de evitarla son el uso de elementos de aleación tales como cromo o cobre y/o pintura de plomo, cromato o aluminio, o bien el uso de revestimientos especiales tales como cinc o asfalto.

En lugar donde el acero esté expuesto a condiciones severas de corrosión debe protegerse con un revestimiento especial y esta protección debe volverse a aplicar periódicamente. Cuando los miembros de acero no estén expuestos a los efectos alternados de humedecimiento y secado y a cambio extremos de temperatura, una capa delgada de pintura aplicada adecuadamente es suficiente para asegurar una durabilidad excelente.

La reconstrucción que siguió a la segunda guerra mundial trajo consigo una nueva era de diseño arquitectónico y estructural. El rápido avance de la tecnología y la aceptación pública de nuevos conceptos de diseño, hicieron surgir nuevas formas y composiciones de edificios y puentes; en todo el mundo, los ingenieros y arquitectos aplicaron rápidamente la avanzada tecnología a la creación de nuevas formas constructivas se convierte en el renglón dominante de la composición del edificio. En algunos casos se expone la estructura para acentuar las líneas del edificio, pintándola para protegerla contra la corrosión.

En 1933, la United States Steel Corporation, fabricante norteamericano de acero, descubrió una composición química para un acero de alta resistencia y baja aleación que llenara los requisitos de resistencia a la corrosión de las vagonetas del ferrocarril para manejo de carbón. Este tipo especial de acero forma al oxidarse una película delgada con un alto grado de adherencia, la cual detiene cualquier oxidación subsiguiente; el proceso produce una patina de color rojizo oscuro. Después de la aceptación de las estructuras de acero expuesto, pintadas, los arquitectos comenzaron a usar, en diferentes tipos de edificios, este acero especial sin pintar.

El ingeniero debe considerar en las estructuras expuestas, ya sean pintadas o no, el factor adicional ocasionado por las diferencias de temperatura entre el interior del edificio y su efecto sobre los esfuerzos en la estructura.

Una vez que el nuevo tipo de acero resistente a la corrosión fue aceptado como material arquitectónico, no transcurrió mucho tiempo sin que tuviera su aplicación dentro del campo de las diferentes industrias. El costo de construcción y mantenimiento resultaba imposible debido a los peligros causados por el volumen de tráfico que constantemente circulaba en los peligros causados por el volumen tiene posibilidades de encontrar una solución económica en el uso del acero resistente a la corrosión, ya que una vez formada la película oxidada no se requiere mantenimiento

## CAPÍTULO III

### NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA EL USO Y MANEJO DE LA LÁMINA EN LA INDUSTRIA.

En este capítulo se hará referencia a las normas, pero antes de mencionarlas es necesario tener en cuenta cuáles fueron los fundamentos en que están basadas estas normas.

La experiencia y el sentido común, que juegan un papel tan importante en el diseño estructural, recibían muy poca atención en la literatura técnica: Si realmente se espera obtener un beneficio de estos dos factores el diseñador debe aprender las lecciones de las fallas pasadas.

Desgraciadamente, la literatura técnica sobre estos temas es bastante escasa ya que, como es fácil comprender, la gente no desea discutir sus errores. Sin embargo, una discusión completa de estas fallas en la literatura técnica podría ser tan útil a la profesión como las discusiones de los grandes logros y descubrimientos.

Las fallas estructurales pueden ser causadas por materiales de mala calidad, errores de fabricación o montaje, o diseño defectuoso. Las últimas dos causas están hasta cierto punto relacionadas entre sí, ya que el diseñador debe tomar en cuenta los procedimientos de fabricación y montaje. Las causas más frecuentes de fallas estructurales pueden clasificarse como sigue:

- Movimientos de cimentación
- Resonancia dinámica e inestabilidad dinámica
- Conexiones inadecuadas
- Valoración incorrecta de la resistencia al pandeo
- Falta de contraventeo adecuado contra el movimiento lateral o pandeo
- Sobre carga

- **Fatiga**

Aunque sabemos que los fabricantes de acero han querido perfeccionar el proceso para no obtener fallas o defectos que pueden producirse tanto en los semiproductos largos o planos, como en productos laminados en caliente o forjados.

Aquí expondremos algunos de los posible defectos superficiales en los rollos de acero.

### *III. 1.- Ampollas*

Son protuberancias o ampollas que aparecen en ocasiones en la superficie de los productos planos, en los tubos y en los planchones. Este defecto puede pasar desapercibido hasta que el material sufre el proceso de laminado en frío o recocido brillante. En los planchones aparece formado una gran ampolla como consecuencia de la acumulación de gases en su centro que afectan al planchón y abomban su superficie.

Sus causas son el desprendimiento y acumulación de gases por debajo de la superficie de los laminados. La gran presión que ejercen los gases ocasiona la separación de una capa de acero causando una protuberancia, generalmente alargada.

Este defecto aparece en aceros muy cargados de gases, principalmente hidrógeno, y en aceros efervescentes con porosidades subcutáneas oxidadas. Se observan también después del decapado, especialmente cuando éste es de gran duración y después de algunos tratamientos térmicos superficiales (temple por inducción). La aparición de las ampollas está asociada con la presencia de inclusiones no metálicas.

Sus posibles acciones correctivas es controlar, impidiendo la absorción de gases en los procesos metalúrgicos, en especial la del hidrógeno. Enfriamiento lento en hornos, después de la laminación. Control de inhibidores y reducción del tiempo de decapado en el caso de ampollas en acero efervescente

Existen aproximadamente 55 defectos agrupados en superficies, internas, y de forma y dimensiones. Debe tenerse en cuenta que para la mayoría de estos últimos las normas extranjeras, fijan unos valores de las desviaciones admisibles o tolerancias en cada uno de ellos y, por tanto, se considerarán defectos cuando superen dichos límites

La construcción de estructuras de acero implica la intervención de propietarios, diseñadores, (ingenieros y arquitectos), fabricantes y constructores. En Primer término, diseñadores y propietarios deben llegar a un acuerdo en cuanto a los requisitos generales del proyecto; basados en ellos, los diseñadores preparan planos y especificaciones que describen el proyecto en detalle.

Estos planos y especificaciones sirven a fabricantes; en este proceso, las especificaciones juegan un papel importante ya que definen normas de calidad aceptables para los materiales y la mano de obra, tanto en fabricación como en montaje.

Se utilizan tres tipos de especificaciones: de proyecto, de materiales y códigos o especificaciones de diseño.

Las especificaciones del proyecto, junto con los planos, suministran a los fabricantes, estampadores, contratista u otros proveedores de servicios, información completa referente a los requisitos precisos establecidos por el propietario y el ingeniero o departamento de proyectos para las estructura requerida.

Dichas especificaciones forman la base del contrato legal entre el propietario y el contratista y por lo tanto su exactitud, alcance y claridad son de gran importancia.

Las especificaciones de materiales son establecidas en los estados unidos principalmente por la Sociedad Americana para ensaye de materiales ( American Society for testingmaterials, ASTM). En casos especiales la Asociación Americana de normas ( American Standards Association, ASA y varias oficinas gubernamentales, estatales, federales y locales preparan normas para tipos específicos de productos.

Los códigos y especificaciones de diseño son preparados en los Estados unidos por varias asociaciones profesionales y oficinas gubernamentales y dictan el criterio mínimo aceptable para diseño. Esto Incluye recomendaciones de cargas, esfuerzos y deformaciones límites, así como requisitos especiales que controlan el proporcionamiento de miembros y conexiones; A menudo, dichas especificaciones se aplican a un tipo limitado de estructuras. Las especificaciones generales más ampliamente aceptadas para edificaciones de acero son las del Instituto Americano de la Construcción en Acero ( American institute of Steel Construction, AISC).

Durante los años de 1850 a 1910, existían especificaciones distintas para el mismo tipo de estructuras; por ejemplo ciertas compañías tenían sus propias especificaciones para el diseño de diferentes estructuras de acero; algunos ingenieros consultores preparaban y publicaban sus especificaciones para uso general, entre éstas podemos nombrar las de Bouscaren (1887), Cooper (1884) y Schneider (1887). No existían normas que fuesen legalmente obligatorias, y algunos edificios fallaron como resultado del uso de materiales de inferior calidad, mano de obra inexperta o diseño defectuosos, con pérdidas de vidas y daños materiales. Fue entonces cuando los organismos públicos, preocupados por la seguridad general, comenzaron a dictar ordenanzas para reglamentar el diseño, construcción y montaje.

En Abril de 1946, el instituto Americano del Hierro y el Acero adoptó las Especificaciones para el Diseño de miembros Estructurales de Lamina de Acero Delgado, Formados en Frio. Al mismo tiempo que se iban desarrollando nuevas tecnologías y técnicas, se revisaban todas las especificaciones, y siguen siendo revisadas y actualizadas constantemente.

Aunque las distintas especificaciones pueden discrepar en ciertos conceptos, todas ellas se basan en los siguientes requisitos generales para lograr una estructura satisfactoria:

- El material debe ser apropiado y de calidad adecuada
- En el diseño deben considerarse las cargas y condiciones de servicio adecuadas a cada caso
- El diseño y los cálculos deben hacerse de manera que la estructura y sus detalles posean la rigidez y resistencia requeridas
- La mano de obra debe ser buena.

### III.1.- NORMAS SOBRE PRODUCTOS GALVANIZADOS.

En este capítulo se relacionan algunas de las principales normas existentes sobre productos galvanizados. En se indican las normas relativas a los métodos de ensayo sobre los recubrimientos galvanizados.

#### Normas Internacionales

ISO-R-1461-1970	Galvanización en caliente de artículos de hierro y acero, excepto alambre, tubo y chapa
-----------------	---

#### NORMAS ALEMANAS

DIN-50.975	Recubrimientos de zinc por galvanización en Caliente. Generalidades
DIN-50.976	Recubrimientos de zinc galvanizados en caliente sobre productos de hierro y acero



<b>DIN-2.444</b>	Recubrimientos de zinc sobre tubos de acero; condiciones técnicas de suministro para los tubos galvanizados.
<b>DIN-50.954</b>	Determinación del peso del recubrimiento de zinc mediante disolución química.

#### **NORMAS INGLESAS**

<b>BS-1387:1967</b>	Tubos y accesorios de acero adecuados para roscarlos a los tubos <b>BS-21</b> .
<b>BS-729:Parte 1:1961</b>	Recubrimientos galvanizados sobre artículos de hierro y acero.

#### **NORMAS ESTADOUNIDENSES**

<b>ASTM-A 153-65</b>	Recubrimientos galvanizados sobre artículos férreos.
<b>ASTM-A123-69</b>	Recubrimientos galvanizados sobre artículos fabricados a partir de productos laminados prensados y forjados, así como a partir de barras, placas y fleje
<b>ASTM-A386-65</b>	Recubrimientos galvanizados sobre construcciones ensambladas de acero.
<b>ASTM-A525-67</b>	Exigencias generales para el suministro de chapa de hierro o acero galvanizada en caliente en forma de bobinas o de planchas
<b>ASTM-A384-59</b>	Práctica recomendada para evitar el alabeo y la distorsión durante la galvanización en caliente de conjuntos ensamblados.

**ASTM-A 143-65**

Práctica recomendada para prevenir la  
fragilización de los productos de acero  
galvanizado

## CAPÍTULO IV

# LA LÁMINA GALVANIZADA EN “INDUSTRIAS MONTERREY”.

Es un método mediante el cual evita la corrosión de la lamina negra, y consiste en sumergir la lamina en una paila con zinc fundido, cuando la superficie del acero a sido sometida a un tratamiento térmico de limpieza en un horno no oxidante. El zinc fundido al contacto con el acero reacciona galvánicamente formando así (en ambas caras de la lamina) un recubrimiento muy resistente para la protección del acero contra la corrosión.

### **IV.1.- ACTUACIÓN DEL ZINC.**

El zinc reacciona al contacto con el aire formando una capa protectora de oxido de zinc (color blanco) la cual alarga la vida del producto, y debido a la diferencia de potencial electromagnético entre el zinc y el acero se da protección catódica en cortes y perforaciones.

#### ***Composición química de la paila de galvanizado***

	Mínimo	Máximo
Aluminio (Al)	0.22%	0.26%
Plomo (Pb)		0.03%
Antimonio(Sb)	0.12%	0.22%
Cadmio (Cd)		0.02%
Fierro (Fe)	0.02%	
Zinc (Zn)	99.59%	

#### **IV.2.- TIEMPO DE VIDA DEL GALVANIZADO.**

La duración del acero galvanizado depende del medio ambiente a que este expuesto, este es un principio fundamental para cualquier tipo de recubrimiento para proteger al acero ejemplo:

<b><i>Ambiente</i></b>	<b><i>Duración promedio</i></b>
marítimo severo	3 años
marítimo moderado	8 años
industrial pesado	10 años
industrial moderado	15 años
rural	25 años

#### **IV.3.- CLASES DE RECUBRIMIENTOS MÁS COMUNES.**

El espesor del recubrimiento se expresa en onzas por pie cuadrado.

En Galvanizado	En Zintro-alum
G-90 - 0.0015"	AZ-50 - 0.0016"
G-60 - 0.0010"	AZ-55 - 0.0017"

#### **IV.4.- MÉTODO DE GALVANIZACION EN IMSA.**

El método de galvanización con que cuenta IMSA es por inmersión en caliente en sistema continuo, y actualmente cuenta con 3 líneas de galvanización y operado bajo el mismo sistema pero su diseño y capacidad es diferente.

#### **IV.5.- PROCESO DE ZINTRO- ALUM.**

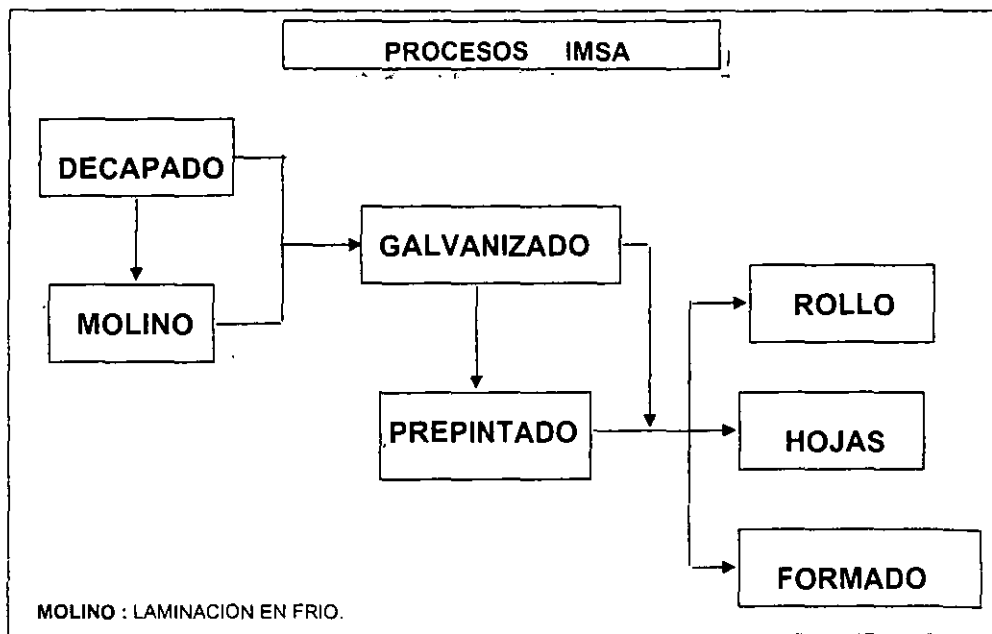
El proceso de Zintro - Alum consiste en sumergir la lamina en una paila con metal fundido, que contiene una aleación de aluminio, zinc y silicio, cuando la superficie del acero ha sido sometida a un tratamiento térmico de limpieza en un horno no oxidante, el metal fundido al contacto con el acero reacciona galvánicamente formando así en ambas caras de la lamina un recubrimiento mucho más resistente que el galvanizado estándar para proteger al acero contra la corrosión.

El Aluminio reacciona al contacto con la humedad formando óxido de aluminio (color negro), por lo que se debe de mantener bajo techo antes de instalar.

El Zintro-Alum no es recomendable en ambientes Alcalinos (contacto con detergentes, sosa cáustica, etcétera).

En la paila donde se encuentra el metal para el recubrimiento se carga con la siguiente proporción:

Aluminio	55 %
Zinc	43.3 %
Silicio	1.5 %



#### IV.6.- ACTUACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN

**El Aluminio** por naturaleza se auto-protege y no reacciona con la humedad del medio ambiente ni con el agua, por lo que en este elemento no existe la corrosión, aunque el Aluminio no tiene protección catódica que solo el zinc puede dar para proteger los bordes de cortes y perforaciones del producto. El zinc da la protección galvánica que finalmente hace nuestro producto más resistente a la corrosión y a más altas temperaturas, alcanzando una duración mayor que el galvanizado estándar.

**El Zinc** da la protección catódica para proteger el acero y este da la protección en los bordes de cortes y perforaciones a nuestro producto inhibiendo así la corrosión de los bordes.

**El Silicio** cumple con un papel muy importante, ya que regula el tamaño de la capa de aleación (intermedia) y si ésta es muy gruesa hace que la capa de recubrimiento Aluminio - Zinc sea muy quebradiza. Para obtener buena calidad en zinc-alum la capa intermedia no se debe de eliminar, solo se debe regular disminuyendo su espesor con el Silicio a un promedio de 0.0004".

**El Plomo** ayuda a la formación de escoria ya que esta se sedimenta en el fondo de la paila, al mismo tiempo favorece su extracción, tiene también influencia en el floreado, por otra parte, exceso de plomo en el zinc, nos ha dado como resultado problemas de adherencia del metal base con el zinc, puesto que el plomo hace crecer la capa de aleación entre el acero base y la capa de recubrimiento de zinc.

**El Antimonio** contribuye notablemente a la uniformidad del recubrimiento sobre todo cuando el espesor de este es grande, influye también en el tiempo del floreado regulándolo y dándole una mejor presentación a la lamina galvanizada.

**El Cadmio** como elemento de aleación en la composición del zinc usado como galvanizar es indeseable, pero no es posible eliminarlo por ninguno de los métodos prácticos para la obtención del zinc y solo 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 lamina galvanizada para la fabricación de utensilios de cocina que estén en contacto con los alimentos.

**El 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 debido a la presencia de estos elementos.

#### **IV.7.- TIEMPO DE VIDA DE LA LÁMINA RECUBIERTA.**

La duración del acero galvanizado zintro - alum depende del medio ambiente a que este expuesto, esto es fundamental para cualquier tipo de recubrimiento para proteger el acero.

**TABLA COMPARATIVA**

<u>Ambiente</u>	<u>Duración</u>	
	Z-ALUM	GALV.
marítimo severo	10 años	6 años
marítimo moderado	15 años	8 años
industrial pesado	20 años	10 años
industrial moderado	30 años	15 años
rural	40 años	25 años

## **IV.8.- SECCIONES DE LA LINEA DE GALVANIZADO**

Las Líneas de galvanizado se dividen en tres secciones:

Entrada

Proceso

Salida

### **SECCION DE ENTRADA**

La Sección de entrada consta de dos desenrolladores, equipados con carros portarrollos y rodillos alimentadores, cizalla doble para cortar lamina hasta calibre 10, un calibrador electrónico para determinar el perfil del espesor de cada rollo que se carga a la línea, una soldadora eléctrica para soldar lamina de calibre 32 a calibre 14, rodillos de presión No. 1 y No. 2, una cortadora de bordes con 2 fosas eliminadoras de tensión, brida No. 1 con dos rodillos de retención, rol deflector y guiador del carro acumulador No. 1, rol deflector y guiador No. 1.

### **SECCION DE PROCESO**

#### **HORNO**

Para remover los residuos de los lubricantes que usan los molinos de reducción en frío, antes del revestimiento se volatilizan quemándolos en un horno no oxidante conocido como el F-1 y/o precalentador, (zona de limpieza) a fuego directo.

La temperatura de cinta en esta Sección debe ser de 426 a 454 grados centígrados, a esta temperatura todo el aceite es volatilizado, quedando una superficie con oxido de hierro en la hoja, el color de la hoja oxidada a esta temperatura debe ser de azul pálido a azul gris, los colores paja y morado, corresponden a temperaturas de menos de 426 grados centígrados, óxidos gruesos formados a mas de 482 grados centígrados son de color grises y tienden hacia color negro.



La hoja oxidada pasa al horno de reducción F-2 (Recocido), donde la capa de oxido de hierro es reducida a hierro metálico por la atmósfera de hidrogeno y nitrógeno, después de la reducción la superficie del acero queda preparada para la inmersión al baño de zinc derretido, donde el recubrimiento se lleva a cabo, durante el paso de la hoja a través del horno hacia el baño de zinc, la hoja esta en una atmósfera protectora libre de oxigeno.

La hoja procede a través del horno reductor , donde es calentada de 732, 840 y 954 grados centígrados dependiendo del ciclo de calentamiento deseado y enfriamiento de 510 a 535 grados centígrados, en la siguiente y ultima zona (F3) Enfriamiento.

### PAILA

Esta Sección del proceso es considerada como la parte más importante de la línea de galvanizado zintro, consiste en un gran baño de acero especial con una profundidad de 1.80 metros. Que aloja en su interior 60 toneladas. de zinc fundido cuya composición química es la siguiente:

		Mínimo	y	Máximo
Aluminio	(al)	0.22 %		0.26 %
plomo	(pb)	0.003 %		0.01 %
Antimonio	(sb)	0.12 %		0.22 %
fierro	(fe)	0.04 %		
cadmio	(cd)	0.003 %		0.01 %
zinc	(zn)	99.59 % (por diferencia)		

La paila contiene hasta .22 % de Aluminio para suprimir la formación de los compuestos de hierro - zinc, ínter metálico y quebradizo, el zinc por lo general es alto grado especial, con la adición frecuente de antimonio y aluminio para uniformizar el recubrimiento y adherencia del mismo a una temperatura de 448 a 462 grados centígrados en el zinc, y temperatura de cinta de 37 grados centígrados por arriba o por abajo de la temperatura del zinc.

Los factores que afectan el revestimiento son los siguientes:

temperatura de la paila

calidad del zinc

nivel de la paila

velocidad de línea

El análisis del zinc es el siguiente:

	Alto grado especial	Alto grado
zinc	99.90 %	99.90 %
plomo	0.003 %	0.03 %
cadmio	0.003 %	0.02 %
hierro	0.003 %	0.02 %

Con estas características de zinc se puede obtener un recubrimiento con flor regular y muy lisa, esto es con una aleación de antimonio de .12 % a .22 %, esto se logra con agregados de 1 barra de antimonio cada 3 turnos o antes, según sea el resultado del análisis de zinc. El aluminio inhibe el crecimiento de la capa de aleación hierro - zinc quebradizo, esto sucede con una aleación de .22 % a .26 % con promedio de 0.24 %.

Esto se logra con agregados de dos barras de aluminio por cada turno o más según resultado del análisis del zinc, el peso de una barra de aluminio oscila entre 20 y 25 kilogramos y el peso del antimonio promedio es de 15 a 20 kilogramos cada barra.

En el caso de la paila de zintro-alum por diferencia de la densidad en peso del Al, Zn, Si, aloja en su interior una mezcla en relación del:

aluminio 55.0 %

zinc 43.5 %

silicio 1.5 %

Un promedio de 37,500 kilogramos tomando en cuenta la densidad promedio de la mezcla de los siguientes valores:

$$3,750 \text{ kgs/m}^3 \times 10 \text{ m}^3 = 37,500 \text{ kgs.}$$

% peso a cargar en Kg promedio                      m<sup>3</sup>                      % volumen

Aluminio	20,625.0	7.6	76.0
Zinc	16,312.5	2.2	22.0
Silicio	562.5	0.2	2.0
Resultado	37,500.0	10.0	100.0

## SECCIÓN DE SALIDA

En la Sección de salida se lleva a cabo la asignación del producto para el cliente final, se verifican todas las propiedades mecánicas de manera que cumplan con los requisitos de calidad de nuestros clientes.

La Sección de salida cuenta con 2 enrolladores en la línea de Zintro III, y un enrollador en la línea de Zintro II.

#### IV.9.- PROTECCIÓN DE LA LÁMINA

En las líneas de galvanizado la protección que se usa son las siguientes:

a) Aceite antioxidante

b) Pasivado

##### a) Protección de aceite antioxidante (temporal).

Esta protección consiste en aplicar una delgada capa de aceite antioxidante que se aplica a la lámina galvanizada que posteriormente se va a pintar, el uso de este aceite tiene consigo una serie de problemas, principalmente de manejo, el cual hace peligroso debido a lo deslizante de la superficie de la lámina, además esta superficie esta muy susceptible de atrapar tierra y polvo del medio ambiente.

##### b) Protección de pasivado.

Es una solución anticorrosiva que se usa en el galvanizado o zintro alum y consiste en una capa protectora de cromatos, se hace pasar la lámina por inmersión a travez de un baño que contiene una solución basándose en cromo.

Esta solución de cromatos no reacciona químicamente con el zinc sino forma una delgada película de cromatos generalmente cristalina que inhibe la corrosión del zinc, retardando así el oxido blanco en la lámina galvanizada u oxido negro en lámina zintro alum

En pruebas aceleradas entre aceite antioxidante y el pasivado el resultado es el siguiente:

		<i>cámara salina</i>	<i>cámara de humedad</i>
Galvanizado	aceite antioxidante	8 hrs. (inicio de ox. bco.)	24 hrs. (inicio de ox. bco.)
	pasivado	24 hrs. (inicio de ox. bco.)	92 hrs. (Inicio de ox. Bco.)
zintro alum	aceite antioxidante	8 hrs. (Inicio de ox. Bco.)	24 hrs. (Inicio de ox. Bco.)
	pasivado	120 hrs. (Inicio de oct. bco.)	92 hrs. (Inicio de oxidación en blanco)

## CAPA DE ZINC

Para la medición de la capa de recubrimiento se efectúa: el decapado del recubrimiento o medida con equipo electrónico Sentrol.

**Decapado del recubrimiento:** Este procedimiento tiene como base el obtener la determinación de la capa de recubrimiento por diferencia de peso antes y después del decapado.

### ***El procedimiento es el siguiente:***

- \* cortar una muestra de 4" por lo ancho de la hoja y en el equipo saca-bocados se sacan 3 muestras circulares de 2.54" de diámetro.
- \* pesar por separado cada muestra circular en la balanza analítica con aproximación hasta milésimas de gramo (p1) registrando el peso.
- \* con un protector de hule auto-adherible, se cubre una cara de la muestra.
- \* se introduce en una solución de 50 % agua y 50 % de ácido clorhídrico, para eliminar el zinc de la cara sin protector.
- \* una vez decapada, se quita el protector y se introduce en agua para enjuagar y secar cada muestra, se procede nuevamente a pesarla, registrando nuevamente los pesos, se restan a los primeros y la diferencia es igual a peso de recubrimiento por una cara.

\* Las muestras se vuelven a introducir en el ácido para decapar la otra cara, Repitiendo el procedimiento.

ejemplo:

peso galvanizado (gramos)	peso decapado (gramos)	diferencia (gramos)	capa de zinc oz/ft2
10.7511	- 10.3303	= 0.4208 cara sup.	0.4208
10.3303	- 9.8340	= <u>0.4963</u> cara inf.	0.4963
	Total	= 0.9171 ambas caras	

Nota: lo anterior se puede aplicar para un decapado total (ambas caras) o parcial (una cara), como se indica en el procedimiento.

En espesores de calibres gruesos, la muestra se saca en el aparato Erichsen con un diámetro de 2.950 pulgadas y se usa un factor para la conversión por diferencia de peso.

El procedimiento del decapado es igual al de calibres delgados y después de restar el decapado de cada muestra, se multiplica por el factor (0.744) y el resultado es igual al peso de recubrimiento en oz/ft<sup>2</sup>.

ejemplo:

36.0348 - 35.1376 = 0.8972 = 0.6675168 por cara sup.

35.1376 - 34.3804 = 0.7572 = 0.5633568 por cara inf.

Capa Total = 1.2308736 ambas caras

Lo anterior se hace porque el sacabocados de 2.54 pulgadas no tiene capacidad para sacar la muestra de calibres gruesos.

#### IV.10.- NORMAS INTERNACIONALES ASTM:

Las normas más usuales para nuestro producto son las siguientes:

**ASTM A-924 GALVANIZADO Y ZINTROALUM.-** Esta Norma establece en forma general los requerimientos en cuanto a las dimensiones y características químicas del material galvanizado y/o zintroalum según el uso final que se va a aplicar.

### **Especificaciones:**

#### 1.- Análisis químico del acero

Carbono (C)

Silicio (Si)

Manganeso (Mn)

Fósforo (P)

Azufre (S) etc.

#### 2.- Tolerancias Dimensionales

Espesor

Ancho

Largo

Planeza

Escuadre, Etc.

#### 3.- Propiedades mecánicas del recubrimiento

Flexión

Adherencia

Impacto

Peso

**Nota:** En acero galvanizado algunas especificaciones como: cambiar defectos superficiales y/o apariencia, no hay un estándar escrito y se deberá llevar a cabo una negociación entre cliente y proveedor, para definir las características y estandarizar su aceptación o rechazo.

**ASTM A-446** Esta Norma establece que el material es calidad estructural. **ASTM A-526.** Esta Norma establece que el material es calidad comercial **ASTM A-527.** Esta Norma establece que es calidad lockforming y debe soportar **ASTM A-528.** Ésta Norma establece que es calidad Troquelado Profundo.

**ASTM A-642.** Esta Norma establece que es calidad Troquelado Extraprofundo.

A partir de 1995 todas las normas o especificaciones de calidad anteriores se agruparon en la Norma **ASTM A-653**, bajo el mismo esquema y designación con el fin de facilitar la búsqueda y localización de las especificaciones. Dividiéndose en tablas con las diferentes calidades requeridas.

Así mismo, la calidad estructural se mantiene para el zintroalum **ASTM A-792** **ASTM A-792 ( Z-ALUM )**. Esta Norma establece que la calidad cumpla con la estructura física del material y se usa normalmente para acanalados que soportan cargas ya antes calculadas, con propiedades mecánicas, resistencias en flexión tanto del acero base como el recubrimiento y buena planeza, aprovechando la resistencia estructural del propio acero.

1.- formados estructurales y de construcción.

Se usa en diferentes grados:

Grado	Limite Elástico	Resistente a la Tracción	% Elongación	Tipo de Acero
Z-Alum	(lb/in <sup>2</sup> )	(lb/in <sup>2</sup> )	(2")	
33	33,000	45,000	20	1006 cc
37	37,000	52,000	18	1006 cc
40	40,000	55,000	16	1010 cc
50	50,000	65,000	12	1018 cc
50-II	50,000	NO SE ESPECIFICA	12	1018 cc
80	80,000	82,000	—	1006 o 1012 cc

#### IV.11.- CALIDADES DE LA LÁMINA:

**Línea Blanca:** Para esta mercado se necesita que la lámina sea muy tersa, con mínima flor, este tipo de acabado lo utilizan los clientes para la fabricación de línea blanca o partes expuestas en donde su aplicación es 100 % visible.



El material que se utiliza es el Intro matizado o templado ya que este material es de excelente acabado y tersura.

	mínimo	máximo
Calibres	28	16
Anchos	Yoder's ò Cinta	48"
Dureza de acero	50	60
% Elongación	28	
Típo de Acero	1002 o 1006 Colada Continua	

Se requiere una excelente planeza libre de ondulaciones y aglobaciones

**Calidad Industrial.**- Es la de mejor calidad que se puede ofrecer IMSA en cuanto a lo que se refiere a: Acabado superficial, propiedades mecánicas, apariencia y forma para las aplicaciones de mayor exigencia.

### ***Características***

**Superficie.**- Flor de regular a pequeña, sin problemas, en lo que se refiere a defectos superficiales por acero base y/o recubrimiento como: oxido de rolado, laminaciones, escamas, marcas de molino, grano de zinc, puntos negros aislados, y cualquier otro defecto que altere la buena apariencia superficial.

**Planeza.**- Se requiere una buena planeza sin ondulaciones ni aglobaciones continuas

Propiedades Físicas.- La calidad industrial deberá cumplir con las características de troquelado medio que son:

- Resistencia a la tensión, máximo 60,000 PSI
- Alargamiento mínimo 22% en calibres 32 al 28 y mínimo 24%, en calibres 26 a más gruesos, para troquelado medio además de 28% en calibres 32 al 28 y 30

% del

calibre 26 al más grueso para troquel profundo.

Cuando no se requiera determinar estas propiedades, y para fines prácticos, durante el proceso se considera una dureza máxima de 64 rockwell "B"

Adherencia de recubrimiento.- A continuación se anexa una tabla con el mínimo de impacto por calibre.

<b>Calibres</b>	<b>Impacto a la resistencia de zinc</b>
	<b>lb-plg. mínimo</b>
30-32	60
28	80
26	100
24	120
22	120 dobles
20	140 dobles
18	160 dobles
16	160 dobles
14	N. A.
12	N. A.
10	N. A.
N. A. ( NO APLICA)	

La flexibilidad para una capa máxima de G-90 oz/ft<sup>2</sup> debe ser de 0T, en los calibres del 32 al 10. En calibres del 14 al 10 no se aplica la prueba de impacto y la flexión debe soportar por lo menos 2T en capas similares a G-200 oz/ft<sup>2</sup>.

**Calidad Comercial.** En esta calidad cumple con los requisitos de forma y apariencia superficial no son tan severos.

**Planeza.-** Para lámina lisa o en rollo no se permite ondulación china ni globo de chorizo aun y cuando estos valores estén dentro de Norma, (excepto para rollo full-hard o recocidos, destinados para acanalar o para su corte en cintas).

**Propiedades Físicas.-** Esa calidad será determinada para fines prácticos del proceso, solamente por la prueba de flexión.

***Adherencia del recubrimiento***

<b>Calibres</b>	<b>Impacto a la resistencia de zinc</b>
	<b>lb-pulg mínimo</b>
30-32	40
28	40
26	60
24	80
22	100 dobléz
20	120 dobléz
18	120 dobléz
16	120 dobléz

La flexibilidad para una capa de recubrimiento máximo de G-90 oz/ft<sup>2</sup> para el acero base debe ser 0T, en los calibres del 30 al 16, en calibres del 14 al 10 no se aplica la prueba de impacto y la flexión debe soportar por lo menos 1T.

La tabla anterior no se aplica para el material calidad full - hard, que corresponde a la Norma ASTM A-446 Grado "E", ya que esta establece que esta calidad cumpla con la estructura del recubrimiento, la lámina que no cumpla por lo menos con estas características ser considera lámina de segunda calidad.

La lámina con defectos superficiales en grado alto o en exceso de cualquier tipo, ya sea provocado por el acero base o por el proceso, será considerada de segunda calidad. No se incluye el defecto de óxido blanco o manchas negras causadas por la humedad, las cuales no son aceptadas como lámina de primera calidad en ningún grado de intensidad, debido a que un material con estas características prácticamente termina su tiempo de vida útil.

#### **IV.12.- PRUEBAS DE LABORATORIO**

**Pruebas de Tensión.-** Según Norma ASTM A-446-72, Norma ASTM B-310-1981 Y o **Mecánicas A-370**

El objetivo de la prueba de tensión es la siguiente:

Establecer especificaciones y los métodos para la prueba de tensión en los productos de acero, y poder determinar las siguientes características.

- \* Limite elástico
- \* Esfuerzo a la tracción
- \* Alargamiento

La prueba consiste en someter a una probeta de acero maquinada o de sección completa, a un esfuerzo de tensión creciente aplicado axialmente, hasta causarle la ruptura.

**Definiciones:**

Limite elástico: Es el esfuerzo mínimo al que ocurre una deformación permanente de la muestra y se da en Kgs./ cm2 o Lb/plg2.

Esfuerzo a la tracción: Es el esfuerzo máximo al que ocurre la ruptura de la muestra y se da en Kgs./cm2 o Lb/plg2.

Alargamiento: Es la distancia entre las marcas puestas en la muestra antes de la prueba, se determina juntando las partes de la muestra después de la ruptura, y se da en porcentaje.

El método para obtener el esfuerzo a la tensión es el siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{esfuerzo a} \\ \text{la tension} \end{array} = \frac{\text{carga (Kgs.)} \times \text{Kgs.} \quad \text{lb}}{3 \text{ (in) X A (in) X } 6.4516 \quad \text{Cm}^2 \quad \text{In}^2} = \text{-----} \times 14.223 = \text{-----}$$

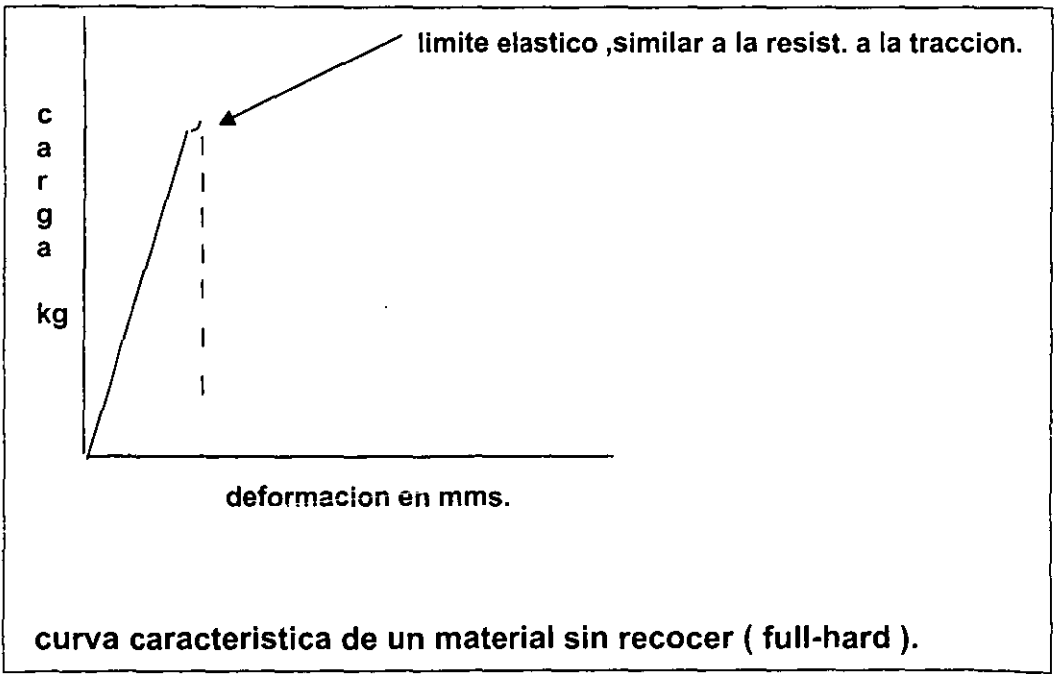
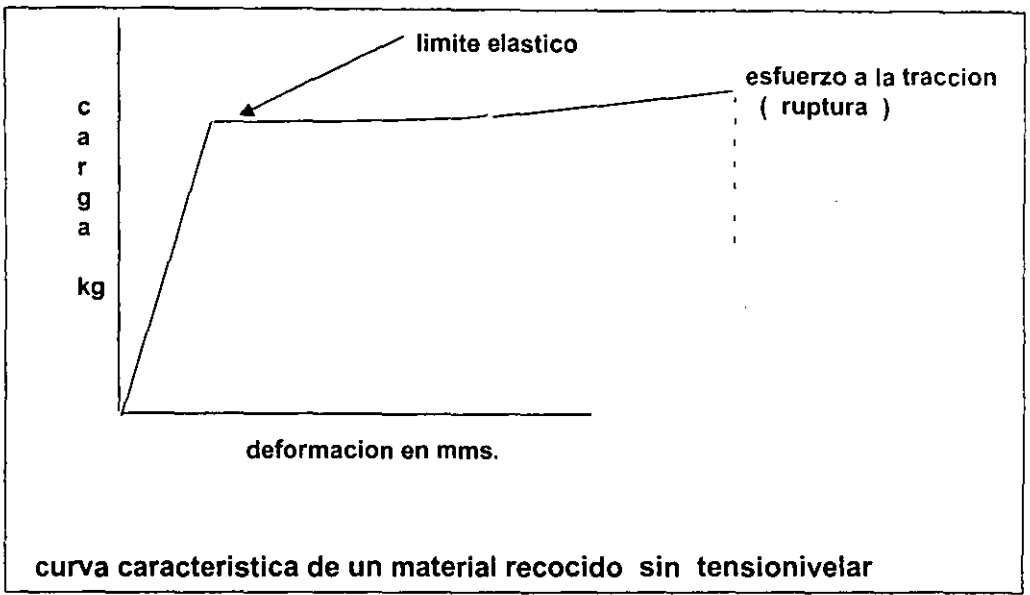
Carga = Lectura en maquina universal

E = Espesor de probeta en negro = (espesor en galvanizado - 1.5 capa)

A = Ancho de probeta

6.4516 = Factor conversión de pulgadas cuadradas a centímetros cuadrados

14.223 = Factor conversión de Kg. a lb  
cm2 in2



## **Dureza**

Mide el grado de suavidad del acero y según el calibre es la escala y carga a utilizar. Se mide en rockwell - B entre menor sea el número ó valor obtenido será más suave el acero.

### ***Tabla de pesas a utilizar para efectuar la prueba de dureza por calibres:***

<b>Calibre</b>	<b>Peso aplicado</b>	<b>Lectura</b>
32 al 28	15 kgs. (15 T)	15 T y transformar a Rock. B.
26,25 y 24	30 kgs. (30 T)	30 T y transformar a Rock. B
22 al 8	100 kgs. (B)	lectura directa en equipo.

## **Copa Erichsen**

Prueba utilizada para medir la ductibilidad ó el grado de embutición de un acero y se mide en milímetros, verificando su troquelado. Existen tablas ya estandarizadas donde se muestran los valores mínimos para cada troquelado y calibre.

Procedimiento:

- 1.- Se corta una muestra de 4" por el ancho que tenga la lámina.
- 2.- La muestra se lubrica con una grasa especial para su destizamiento en el embutido en 3 puntos diferentes, uno en cada extremo y la otra al centro de la muestra.
- 3.- Se coloca en la maquina erichsen exactamente al centro de la base para la efectividad del embutido del dado de 20 mm. apretando la muestra con el tornillo sujetador.
- 4.- Se prende la máquina y la operación debe ser a una velocidad media, hasta que la copa o elevación del acero reviente.
- 5.- Se toma la lectura del manómetro que determina la elongación en milímetros que alcanza la copa en el momento de ocurrir la fractura.

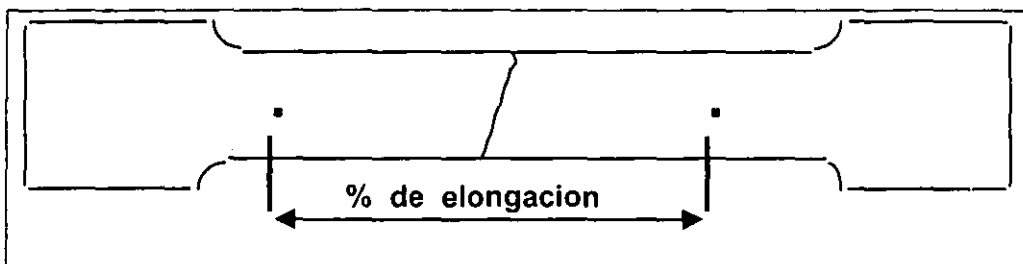
Con el resultado de la dureza rockwell y de la copa erichsen se clasifica la lámina en cuanto al grado de troquelabilidad.

Limite Elástico y Resistencia a la tracción son denominados esfuerzos, ya que la carga a la cual son obtenidos estos valores se divide entre el área.

$$P \text{ (Kg)} = \text{Limite Elástico } \dot{\text{ o }} \text{ Resistencia a la Tracción}$$

El Área es un valor constante, lo que cambia es la carga, es decir kilogramos de carga para el Limite Elástico y para la ruptura o Resistencia a la Tracción.

#### **Porcentaje de elongación**



Es el grado de Alargamiento que sufre el acero al momento de la ruptura tomando como base 2 plgs. Uniendo ambas partes fracturadas, como lo indica la figura.

La medición se lleva a cabo con un extensómetro ya calibrado a 2 plgs., Es decir la lectura de porcentaje es directa.

#### **IMPACTO**

##### **Determinación de la prueba de adherencia de zinc.**

El equipo que se utiliza es el siguiente:

Impacto metro Gardner

Cinta adhesiva scotch # 610

Con el fin de mantener un control de la lamina Zintro en cuanto a adherencia de zinc se refiere, se efectúa la prueba de impacto para determinar la adherencia de zinc.



**Procedimiento**

Sujetar la muestra a probar entre la hembra y el macho, subir la masa de 4 lbs. hasta la graduación y dejarla caer. Aplicar cinta scotch y verificar si hay desprendimiento del recubrimiento, para considerar si la prueba es satisfactoria, no debe haber ningún punto de desprendimiento.

**ESPECIFICACIONES DE IMPACTO Y FLEXION LAM. GALVANIZADA**

MERCADO	INDUSTRIAL Y LINEA BLANCA		COMERCIAL Y CONSTRUCCION	
CAL.	IMPACTO LBS-PLG.	FLEXION	LBS-PLG.	FLEXION
32	60	0T	40	0T
30	60	0T	40	0T
28	80	0T	40	0T
26	100	0T	60	0T
24	120	0T	80	0T
22	120 DOBLES	0T	100 DOBLES	0T
20	140 DOBLES	0T	120 DOBLES	0T
18	160 DOBLES	0T	120 DOBLES	0T
16	160 DOBLES	0T	120 DOBLES	0T
14	N/A	0T	N/A	1T
12	N/A	0T	N/A	1T
10	N/A	0T-1T	N/A	2T

N/A = NO APLICA

**TABLA DE ESPECIFICACIONES DE PRUEBA DE TENSION**

CAL.	TROQUELADO O CALIDAD	LIMITE ELASTICO LB/PLG.2 PROMEDIO	RESISTENCIA A LA TRACCION LB/PLG.2 PROMEDIO	% DE ALARGAMIENTO EN 2 PLG.
26 A 32 25 A 10	MEDIO	45000	55000	22 24
26 A 32 25 A 10	PROFUNDO	40000	50000	28 30
14 A 10	ALTA RESISTENCIA	55000	65000	12

**ESPECIFICACIONES DE PROPIEDADES FISICAS PARA LAM. GALVANIZADA  
VALORES DE COPA ERICHSEN Y DUREZA DE ACERO**

	TROQUELADO MEDIO		TROQUELADO PROFUNDO		TROQUELADO EXTRA-PROFUNDO	
30	7.65	64	8.35	56	8.95	48
28	7.85	64	8.50	56	9.10	48
26	8.25	64	8.50	56	9.45	48
25	8.35	64	9.25	56	9.75	48
24	8.75	64	9.35	56	9.90	48
22	9.25	64	9.75	56	10.30	48
20	9.70	64	10.20	56	10.70	48
19	10.10	64	10.60	56	11.50	48
18	10.45	64	10.95	56	11.35	48
17	10.75	64	11.20	56	11.65	48
16	11.10	64	11.50	56	11.90	48
14	11.70	64	12.05	56	12.35	48
13	12.30	64	12.40	56	12.60	48
12	12.60	64	12.80	56	13.00	48
11	12.80	64	13.10	56	13.30	48
10	13.20	64	13.30	56	13.50	48

### **Análisis químicos por medio de espectrometría.**

Equipo a utilizar:

Espectrómetro de emisión óptica

Impresora Epson Modelo RX-80

Estándares de Calibración

Tanque de Argón de alta presión

Este análisis es realizado 1 ó 2 veces por turno a los baños de galvanizado y zintro-alum, el acero base se analiza cuando las necesidades del producto así lo ameriten.

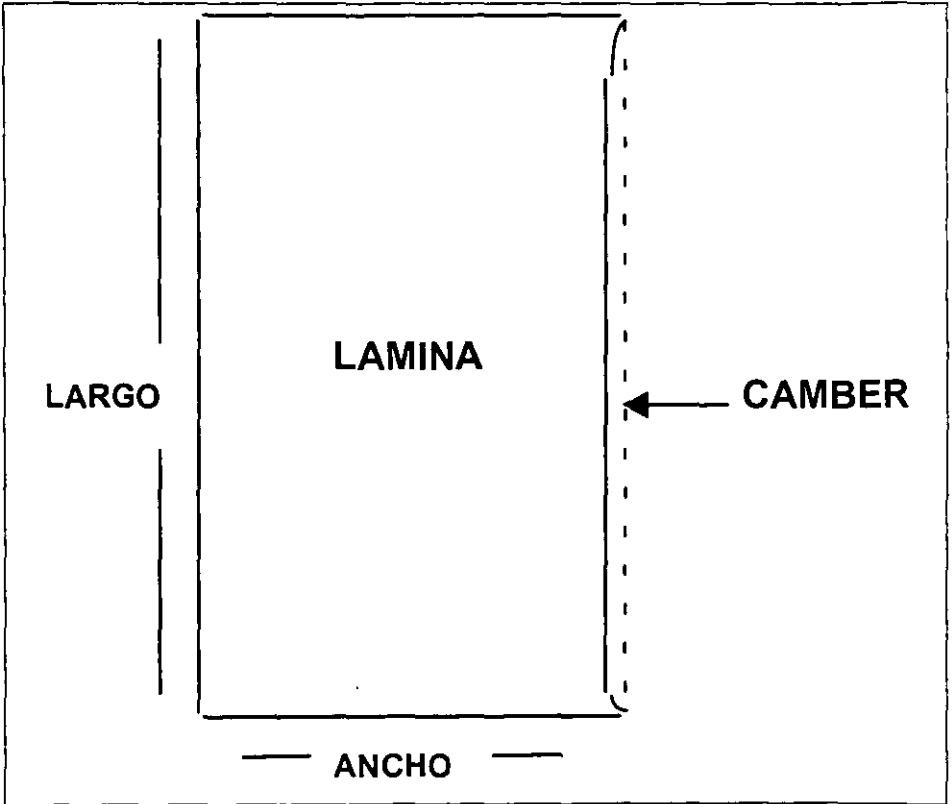
Esta prueba es aplicada a cualquier muestra que su componente principal sea zinc, aluminio o antimonio, así como a todo tipo de acero cuyo porcentaje de carbono sea menor al 1%.

Procedimiento: La muestra a probar deberá ser preparada de tal manera que tenga una superficie plana, esta es colocada, sobre la mesa de trabajo y sujeta firmemente, la mesa es inundada de Argón. El nombre de la muestra es insertado por medio del teclado y se presiona el botón de arranque. El procedimiento del análisis es completado automáticamente. Los resultados son mostrados en la pantalla de video como concentraciones de los elementos de una matriz, después este reporte puede ser impreso fácilmente.

### **CAMBER**

Es la mayor desviación de una orilla de la lamina con respecto a una linea recta, la medida será tomada sobre el lado cóncavo de la lamina con respecto a la linea recta.

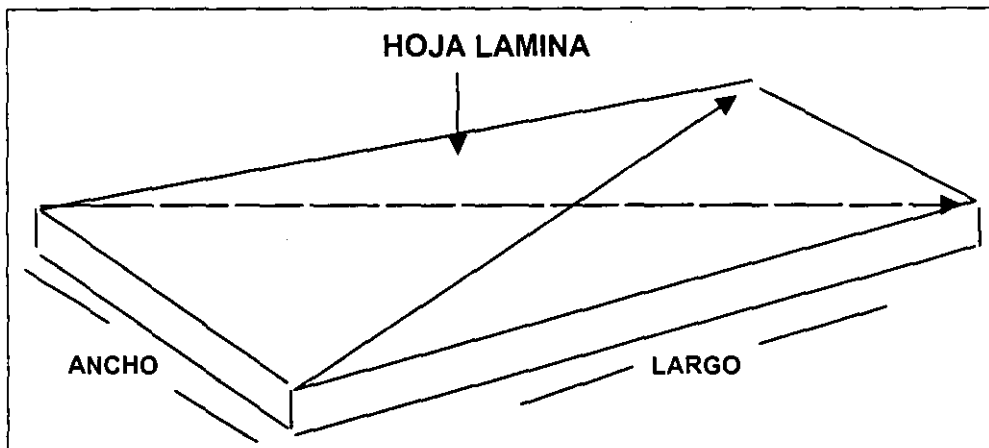
El valor máximo aceptado será de 1 milímetro por cada metro de longitud hasta un valor máximo de 6 milímetros en segmentos de 6 metros de longitud.



## DESCUADRE

Es la diferencia de las longitudes entre dos esquinas diagonalmente opuestas dividida entre 2, aplica para hojas.

Se acepta un valor máximo de 2 milímetros para todos los anchos en largos hasta 3.05 metros (10 pies). Para largos mayores se acepta un valor máximo de 3 milímetros.



## PLANEZA

El valor máximo permitido de ondulación y aglobación deberá ser :

calidad industrial	calidad comercial
2 onda por metro de long. ( 3 mm. de altura)	3 ondas por metro de long. ( 5 mm. de altura)

No se permiten aglobaciones u ondulaciones continuas aun y cuando se encuentren dentro de los valores máximos permitidos .

Estas son las posibles fallas que pueden ocurrir y que no son permitidas por tener que dar un producto de calidad.

**Descuadre.**

Esto solo se presenta en hojas lisas y es la diferencia de medidas de las esquinas opuestas divididas entre 2.

**Cabezón.**

Cuando un rollo presenta un levantamiento en una de sus orillas y va en aumento conforme se esta enrollando.

**Panzón.**

Es una protuberancia en el ancho del rollo, el cual se incrementa vuelta tras vuelta esto es generado por una raya de boquilla, exceso de zinc y diferencia de capa.

**Camber.**

Es una orilla más larga que otra.

**Diámetro interior y exterior fuera de especificaciones.**

Cuando un rollo no cumple con el diámetro solicitado por el cliente.

**Canoa.**

Es cuando las orillas de la lamina

**Costilla**

Se presenta a lo largo del rollo, en la parte central de la misma en forma de tallador y son continuas.

**Aglobado**

Cuando el material presenta un abombamiento en el centro del rollo, el cual puede ser continuo o aislado y de diferente profundidad y ancho.

**Ondulaciones en orillas**

Es la variación de alturas respecto al plano horizontal, la cual puede ser continuo o aislado y de diferente profundidad y ancho.

**Rejón**

Cuando la deformación de una orilla es excesiva partiendo del centro hacia la orilla.

**Globo de Chorizo**

Globo pequeño continuo a lo largo del rollo y en cualquier parte del ancho.

**Variación de Planeza**

Este defecto se presenta a lo largo del rollo en tramos donde las crestas son las mas altas de lo especificado por el cliente, debido a las variaciones de tensión o producidas en la laminación.

**Bajo peso**

Material cuyo peso esta abajo de lo especificado.

**Fuera de Peso**

Material cuyo peso esta fuera de especificación.

**Orilla de molino en galvanizado**

Cuando el material por condiciones de un proceso no se le quita 1/4 de plg. De ambas orillas, generando orilla de molino obtenida en la laminación en frío.

**Rayas mecánicas y marcas**

Lamina marcada con algún rodillo, las cuales son continuas y alargadas y pueden abarcar todo lo largo del rollo o solo unos cuantos metros, puede ser lamina negra, galvanizada o pintada.

**Manchas de decapado (sobredcapado)**

Son manchas oscuras provocadas por el tiempo excesivo de permanencia del material en el ácido lo cual provoca un efecto similar al del oxido en negro.

**Tachones**

Pequeño abultamiento en cualquier punto del rollo generados por defectos o incrustaciones en los rodillos donde pasa la lamina.

**Quebraduras**

Marcas que presenta la lamina al enrollarse en los mandriles a lo ancho de la misma generadas por falta del tensionivelado.

**Flor áspera**

Flor irregular en la superficie con rebordes altos

**Cacarizo**

Pequeñas áreas con menor recubrimiento sobre la superficie galvanizada, que pueden presentarse en forma aislada o continua en relieve generalmente alargado.

**Puntos Negros**

Pequeñas arreas del tamaño de la punta o cabeza de alfiler donde no hay recubrimiento, debido al acero sucio pudiéndose presentar en una o ambas caras.

**Plus mal aplicado**

Cuando la flor no es borrada completamente a lo ancho de la lamina.

**Manchas de grasa en orillas**

Defecto generado al ser laminado con exceso de aceite en emulsión.

**Grano de zinc**

Defecto del tamaño de una cabeza de alfiler que se presenta en forma de pequeña protuberancia en diferentes intensidades y tamaños.

**Tratamiento químico**

Ataque oscuro sobre el material por tiempo excesivo que permanece la lamina en el tratamiento (pasivado, tratamiento químico para pintado).

**Cáscara de naranja**

Se presenta cuando la superficie pintada da una apariencia semejante a una cáscara de naranja, la cual es ocasionada por la pintura o por el acero áspero.

**Marcas de rodillo pintador**

Son ocasionadas por un rodillo defectuoso o mal rectificado.

**Oxido Blanco**

Se presenta en material galvanizado atacado por la humedad del medio ambiente, degradando el zinc de la superficie galvanizada a óxido de zinc, que es de color blanco.

**Raya de boquilla**

Es un exceso de capa de zinc a lo largo del rollo en forma de línea a lo ancho del rollo.



**Marcas del templador**

Marcas brillantes que aparecen en la superficie de la lámina templada las cuales pueden ser producto del acero base presentando formas redondas, alargadas, a lo ancho y a lo largo del rollo.

**Burbuja**

Es aquella en forma de globo hacia arriba que puede presentarse reventada o sin reventar.

**Cráter**

Esta se presenta en forma de volcán la cual no deberá confundirse con burbuja reventada. La erupción se presenta con la parte superior hacia adentro y la burbuja reventada se presenta con la parte superior hacia afuera.

**Mapas**

Estos son como su nombre lo indica, mapas con una apariencia de una pintura con bajo poder cubriente.

**Grumo**

Es aquella partícula sólida ocasionada por un mal filtrado por la pintura y muchas veces se presenta directamente por el pigmento. Esto puede corroborarse a nivel laboratorio con la prueba de fineza, ya que para cualquier pintura esta propiedad no debe ser menor a 6.5 N.S.

**Problemas de capa de pintura**

Se presenta cuando se aplica un espesor de película diferente al solicitado, ya sea alta o baja.

**Fuera de tono**

Este es debido a la diferencia existente entre el panel muestra y el estándar de trabajo.

**Acordonado**

Se presenta en forma de rayas en favor del sentido del rolado que pueden verse más fácilmente colocando la muestra contra la luz.

**Exceso de pintura en orillas**

Esta se presenta en ambos extremos del rollo, lo cual es exceso de pintura hervida.

**Bloqueaduras**

Se presenta cuando la cara inferior de la superficie pintada se pega con la parte superior de esta misma, ya sea estando el material en rollo o empaquetado.

**Tableaduras**

Son marcas perpendiculares al sentido del rolado cuya forma semeja a unos tablonos.

**Raya de basura en la pintura**

Es la que se origina durante la aplicación de pintura y que en forma espontánea aparece repentinamente la basura en el rodillo aplicador.

**Mal veteadado**

Es cuando se aplica este acabado (veteado) y existen arreas sin dicha aplicación.

**Bajo poder cubriente**

Es la apariencia traslucida que ofrece una pintura presentándose a lo largo de una superficie pintada.

**Mal embozado (piel)**

Defecto que se provoca en el proceso de embozado y se aprecia en el embozado piel que esta casi liso (embozado ligero) o con exceso de profundidad (embozado profundo) al grado de apreciar el primer a travez del embozado.

**Ramilladuras**

Cuando una o ambas orillas se abre penetrando la grieta al interior del material y es un defecto continuo.

**Manchas sin galvanizar**

Tramos relativamente grandes de un tamaño considerable de áreas sin recubrimiento de zinc, que se presenta en una o ambas caras del rollo.

**Rugosidad**

Superficie del acero negro parecido a la cáscara de naranja la cual provoca que exista variación en el tamaño de la flor en el producto galvanizado si esto es excesivo.

**Exceso de aceite**

Se presenta en cualquier tipo de rollo es visible ya que el aceite escurre por los cantos del rollo.

**Áreas sin pintar**

Pequeñas áreas sin recubrimiento de pintura.

**Abrimiento de pintura**

Esta se presenta sobre la lamina de una manera semejante al aspecto proporcionado por una superficie contaminada por aceite y en la cual se le deja caer agua.

**Orillas ásperas**

Exceso de recubrimiento en orillas con flor más grande que el centro.

**Manchas de agua en el embozado**

Son manchas derivadas del escurrimiento de agua sobre el material caliente durante el proceso de embozado piel.

**Macheteado**

Segregaciones en el enfriamiento del zinc tipo oleaje.

**Aborregado**

Su apariencia es nebulosa y su problema se deriva de una pintura con bajo poder cubriente.

**Ojo de pescado**

Esta es de tamaño de una cabeza de alfiler, con un pequeño punto de pintura en el centro, lo que hace ver con este aspecto (ojo de pescado, deberá estar al descubierto el primer).

**lamina arrugada**

Es una lamina con marcas generadas por los rodillos de la linea (niveladores, rol de fondo, templadores), las cuales pueden variar en tamaño, gravedad y forma.

**Problemas en brillo**

Cuando el material no cumple con el brillo especificado por el cliente, quedando este fuera de rango establecido, entre cliente-proveedor.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

**Soldadura**

Cuando por una razón la unión de 2 rollos no es cortada para hacer otro rollo, y esta soldadura es enrollada dentro del mismo material.

**Manchas de tinta**

Son aquellas que aparecen durante el veteado, las cuales no forman parte de este tipo de acabado.

**Líneas de fluencia**

Defecto presentado en acero galvanizado y z-alum parecido a pequeñas venas que corren en el ancho del rollo las cuales varían de intensidad y tamaño.

**Embozado profundo**

Es aquel en el que la distancia de la superficie al fondo del embozado excede al máximo especificado.

**Embozado ligero**

Es aquel en el que la distancia de la superficie al fondo del embozado no alcanza lo especificado.

**Oxido oscuro en z-alum**

Se presenta en el material z-alum atacado por la corrosión o humedad del medio ambiente.

**Orilla de serrucho**

Defecto causado por la laminación en frío, tomando la apariencia de serrucho la cual podría provocar reventones de línea si esta no es desorillada o si es demasiado profunda.

**Mal acabado**

Es el material que tiene una apariencia no homogénea, lo cual impide su aplicación.

**Oxido de emulsión**

Manchas que se presentan generalmente del centro a la orilla de color marrón oscuro, las cuales se deben a un deficiente escurrimiento en su enrollador.

**Franjas brillosas**

Franjas a lo largo de la cinta de diferente tonalidad o brillo.

**Manchas de emulsión**

Cuando al salir del molino el material son exceso de aceite y temperatura genera manchas generalmente ámbar a lo largo del rollo.

**Problemas de dureza**

Cuando un material no cumple con la especificación de dureza para algún cliente o troquelado, quedando fuera de los valores aceptables.

**Baja adherencia**

Cuando un recubrimiento no permanece adherido (pruebas de flexión o impacto) al acero base o a otro recubrimiento intermedio (galvanizado, primer o pintura).

**Rebabas**

Es material mal desarrollado el cual no queda completamente desprendido del acero del ancho deseando esto se presenta en una o ambas orillas.

**Plastas de pintura**

Son exceso de pintura, las cuales son horneadas y ya una vez seco dan deformaciones en la superficie de la lamina pintada.

**Bajo curado**

Cuando un material no presenta resistencia al ataque del solvente, desprendiéndose la pintura debido a la acción de esta ultima.

**Plastas de zinc**

Cuando en la paila el material es salpicado por el zinc, generando una plasta en la superficie de la lamina sobre la capa de galvanizado.

**Poliétileno mal adherido**

Es el poliétileno que presenta una adherencia en la lamina muy pobre o en su defecto puede presentar una súper-adherencia de poliétileno.

**Mal bonderizado**

Es el que se presenta debido a una mala aplicación del tratamiento químico en el proceso de bonderizado.

**Parada y arranque de línea**

Es la detención o inicio de proceso, el cual es provocado por fallas mecánicas, eléctricas o de operación y esto genera defectos como manchas s/galv., puntos negros, lamina arrugada, etc.

**Lámina corrida**

Se genera cuando el rollo se enrolla en varios planos o que esta oscilando hacia ambas orillas o cargándose completamente a una de las orillas.

**Fractura de acero**

Acero que en las pruebas de doblez se agrieta generándose la fractura en el acero.

**Problemas en propiedades mecánicas**

Es cuando las pruebas al material no están dentro de especificaciones (límite elástico, resistencia a la tracción, elongación, copa erichsen, etc.)

**Material antiguo**

Material que tiene un tiempo considerablemente alto, en cuanto a su estadía en planta, y no a sido aplicado.

**Cinta sobrante**

Es el desperdicio por naturaleza propia del proceso o combinación de cortes, las cuales no tienen ninguna aplicación.

**Certificado de Calidad**

Es un documento donde se certifica la calidad del producto, ya que contiene las propiedades físicas y mecánicas del producto suministrado ,así como los análisis químicos del acero base y de tono en caso de productos pintados.  
industrias Monterrey elabora un certificado de calidad a todo el material que se procesa tanto en rollo, cinta u hoja para el mercado nacional y de exportación.

### **Equipo Minima Flor**

En la Linea de Zintro II se cuenta con un equipo para la producción de lamina galvanizada libre de floreado, esto para satisfacer los requerimientos de la industria de Linea Blanca e Industrial.

Tipo: Stein Heurtey

Sistema: Polvo de Zinc

### **Acabados en Zintro-Imsa**

**Zintro Estándar.-** Es un acabado tal y como sale de la linea de galvanizado y sin ningún acondicionamiento de la superficie. Solo va tensionivelado para darle una planeza excelente.

<i>Calibre</i>	<i>Ancho</i>
32 al 12	Hasta 48"
10	36"

**Zintro Matizado o Templado -** Es cuando al material se le da un acondicionamiento en su superficie, el cual tiene por objeto el borrar la flor y minimizar o nulificar las líneas de fluencia obteniéndose un acabado terso.

Este tipo de acabado es muy utilizado por clientes que fabrican linea blanca o partes expuestas en donde su aplicación es 100 % visible. Este material tiene mucha demanda para ser pintado posteriormente, por su excelente acabado y tersura.

<i>Calibre</i>	<i>Ancho</i>
28 al 16	Hasta 48"

**Zintro Mínima Flor.-** Este tipo de acabado es de una estética superior a al del zintro estándar, puesto que el producto final es sin flor, esto se logra la aplicación a la lamina de polvo de zinc inmediatamente después de ser recubierta de zinc (cuando aun esta liquido el recubrimiento), con esto se consigue borrar la flor, dando por resultado un producto de una gran apariencia estética.

<i>Calibre</i>	<i>Ancho</i>
18 al 26	36" Hasta 48"

**Zintro Embozado.-** Este acabado se logra mediante rodillos impresos, los cuales al pasar la lamina por ellos, imprimen este grabado sobre su superficie, este acabado le da mas rigidez al material. El área de mayor aplicación de este material es la cubierta interior de autobuses, partes de estufas, etcétera.

Este material puede surtirse galvanizado o pintado.

<i>Calibre</i>	<i>Ancho</i>
20 al 30	Hasta 48"

**Zintro-Alum.-** Para procesar este producto IMSA cuenta con una línea dual es decir que cuenta con dos pailas; una para galvanizar y otra para zintroaluminizar. (Línea de Zintro III). El recubrimiento zintroalum es una aleación Aluminio-Zinc-Silicio,



## CONCLUSIONES.

Los avances de la metalurgia y la fabricación de aceros de altas resistencias que se descubrieron durante el periodo de 1940 a 1950, pronto encontraron su aplicación en los aceros para el diseño de puentes y edificios y más adelante en diferentes artículos importantes para la humanidad. Los ingenieros habían estado en busca de aceros más resistentes que pudieran soportar mayor cargas, con pesos reducidos y que no sufrieran de una corrosión con mayor rapidez. Al principio, estos aceros de alta resistencia se usaron únicamente en aplicaciones especiales en puentes y edificios, porque no habían sido incorporados a las especificaciones de diseño en esa época. Conforme las normas se estandarizaban se acumulaban experiencias y a medida que más diseñadores solicitaban el uso de estos aceros más resistentes, se fueron incorporando a las especificaciones o normas.

Los aceros incluidos en las especificaciones han sido codificados por la sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) y se les ha dado una designación estándar. Aunque existen muchos tipos de aceros disponibles para usarse en el diseño, hay algunos que no se han incluido en las especificaciones, ya que son considerados propiedad de la compañía que los produce. Sin embargo, tales aceros pueden usarse en el diseño con el permiso de la oficina o agencia revisora.

Sin dejar aun lado las propiedades principalmente mecánicas estas depende de la composición química, los procesos de laminado y el tratamiento térmico de los aceros; otros factores que pueden afectar estas propiedades son las técnicas empleadas en las pruebas, tales como la rapidez de carga de la muestra las condiciones y geometría de la muestra, el trabajo en frío y la temperatura existente al llevarse a cabo la prueba. Estos factores pueden producir una apreciable variedad de resultado para un mismo tipo de acero.

Como se ha mencionado con anterioridad la ingeniería ha experimentado muchos cambios significativos durante las últimas cuatro décadas, y los conocimientos de la teoría se extienden ya desde el rango elástico hasta el rango inelástico del comportamiento del material. Se han llevado a cabo investigaciones de laboratorio y estudios de campo, con objeto de encontrar la relación entre el comportamiento real de los materiales y las predicciones teóricas.

El mejoramiento de los aceros y los métodos de fabricación han proporcionado mayores incentivos para el desarrollo de técnicas de diseño racionales y correctas.

### **ECONOMIA DE LOS RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS.**

#### **COMPARACION ENTRE LA GALVANIZACION EN CALIENTE Y OTROS SISTEMAS PROTECTORES**

Cuando se comparan los costes de la galvanización en caliente y de la pintura, u otros sistemas protectores, la base de comparación debe ser la duración requerida para la estructura o producto. Cuando se quieran obtener y comparar cifras de costes es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

**1. - Debe especificarse un sistema protección apropiado:** Un buen sistema de pintado debe incluir correo con granalla o decapado(y no limpieza manual o con llama, que son menos satisfactorias) y tres o cuatro capas de pintura de calidad comprobada. Esta es la exigencia mínima especificada para condiciones de servicio a la intemperie por la mayoría de las normas internacionales, tales como al British Standard. Code of Practice 2008 y la Australian Standard MA 1.5 " Steel Structures, Part 5 Protection of Steel from Corrosion".

Para determinar el coste inicial de un sistema de protección debe tenerse en cuenta que la galvanización en caliente incluye un decapado previo y que su coste de inspección es muy pequeño, dado que normalmente es suficiente con la inspección es muy pequeño, dado que normalmente es suficiente con la inspección visual.

En el caso de otros sistemas de protección la inspección se hace necesaria durante su aplicación y también al final del trabajo, por lo que el coste de esta inspección es considerable. Por otra parte, factores tales como condiciones locales o atmosféricas pueden afectar la calidad de este sistema y se hace necesario un control muy severo para evitar obtener malos resultados. La inspección adecuada de estos sistemas de protección supone, frecuentemente, la utilización de equipos complicados, lo que hace aumentar el coste total del sistema. Esto no ocurre en el caso de los recubrimientos galvanizados en caliente.

**2. - Debe considerarse el coste estimado de conservación durante la vida en servicio de la instalación:** Los recubrimientos galvanizados en caliente duran más que el mejor sistema completo de pintura aplicado en condiciones idóneas sobre acero preparado adecuadamente. Además del coste directo que suponga la reparación del sistema protector, en los intervalos de tiempo que correspondan en cada caso, deben tenerse en cuenta también los gastos que se produzcan por interferencia de estas operaciones de reparación con el funcionamiento de la instalación. Igualmente deben considerarse los gastos producidos por la necesidad de establecer accesos o instalar andamios para realizar las operaciones de reparación.

Merece la pena observar que el comportamiento de un sistema de pintado aplicado en la propia instalación, siempre será menos favorable que el de un sistema idéntico en las condiciones óptimas de aplicación y control existentes en el taller. Por Otra parte, el coste de los tratamientos de conservación "in situ" aumentarán continuamente en el futuro debido a la elevación continua de los salarios.

3. - Debe hacerse una valoración económica de los costos reales del sistema de protección durante la duración previsible en servicio: **De acuerdo con los modernos principios económicos, la determinación de los costos reales debe tener en cuenta que el valor del dinero es función del tiempo, esto es, una suma determinada de dinero disponible algún tiempo después. Esto se debe a que, además de la posible influencia de la inflación, puede obtenerse beneficio del dinero en este intervalo de tiempo.**

Existen dos métodos utilizados corrientemente para determinar, con fines comparativos, el coste de los sistemas de protección, que son los siguientes:

1. **Método del Valor Neto Presente.**
2. **Método del Coste Total Descontado.**

# BIBLIOGRAFÍA

## "MANUAL DE VENTAS DE LA INDUSTRIA IMSA".

ING. MAURICIO GARCÍA DE LA O.  
MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO. NOVIEMBRE DE 1999.

## "LA APLICACIÓN DE LA ELECTROQUÍMICA EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES".

ING. LUIS ENRIQUE CASTILLO NÁJERA.  
MAYO DE 1997.  
MÉXICO D.F.

## "PRONTUARIO DEL ACERO GALVANIZADO/ASOCIACIÓN TÉCNICA".

JOSEPH ROSELLI.  
EDITORIAL ESPAÑOLA.  
SEGUNDA EDICIÓN.  
ESPAÑA 1999.

## "TECNOLOGÍA DEL ACERO".

CIDETEC POLITÉCNICO.  
EDITORIAL LIMUSA.  
TERCERA EDICIÓN.  
MÉXICO, 1998.

## "GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE".

GABRIEL JESÚS GARCÍA IZQUIERDO.  
EDITORIAL MC GRAW-HILL.  
PRIMERA EDICIÓN.  
MÉXICO 1997.

## "DISEÑO BÁSICO DE ESTRUCTURAS DE ACERO".

INSTITUTO LATINOAMERICANO DEL FIERRO Y EL ACERO.  
EDIT. UNESID.  
MÉXICO 1995.

## "ALBUM DE DEFECTOS DE PRODUCTOS SIDERÚRGICOS".

INSTITUTO LATINOAMERICANO DEL FIERRO Y EL ACERO.  
EDIT. UNESID.  
MÉXICO 1992.

"FUNDICIONES".

JOSÉ BARREIRO APRAIZ.  
EDITORIAL CONTINENTAL S.A.  
SEGUNDA EDICIÓN.  
MÉXICO 1990.

# ÍNDICE

Objetivos .....	1.
Introducción .....	2.
Antecedentes .....	10.
<u>Capítulo I.- Lámina Galvanizada y su Proceso</u> .....	20.
1.1.- Prevención de la Corrosión del Hierro y el Acero .....	20.
1.2.- Protección Catódica del Hierro y el Acero .....	21.
1.3.- La Galvanización en Caliente como Medio de Evitar la Corrosión del Hierro y del Acero .....	22.
1.4.- Duración de la Protección Proporcionada por los Recubrimientos del Zinc .....	24.
1.5.- Intervalo de Pesos de los Recubrimientos de Zinc que Pueden Obtenerse por los Procedimientos Usuales .....	25.
1.6.- Tiempo de Protección de los Recubrimientos Galvanizados .....	29.
1.7.- Transporte y Almacenamiento .....	34.
<u>Capítulo II.- Uso, Manejo y Aplicación de las Diferentes Láminas en la Industria</u> .....	35.
<u>Capítulo III.- Normas y Especificaciones para el Uso y Manejo de la Lámina en la Industria</u> .....	40.
III.1.- Normas sobre Productos Galvanizados .....	44.
<u>Capítulo IV.- La Lámina Galvanizada en "Industrias Monterrey"</u> .....	47.
IV.1.- Actuación del Zinc .....	47.
IV.2.- Tiempo de Vida del Galvanizado .....	48.
IV.3.- Clases de Recubrimientos más Comunes .....	48.
IV.4.- Método de Galvanización en IMSA .....	48.
IV.5.- Procesos de Zintro-Alum .....	48.
IV.6.- Actuación de los Sistemas de Aleación .....	50.
IV.7.- Tiempo de Vida de la Lámina Recubierta .....	51.
IV.8.- Secciones de la Línea de Galvanizado .....	52.
IV.9.- Protección de la Lámina .....	56.
IV.10.- Normas Internacionales ASTM .....	58.
IV.11.- Calidades de la Lámina .....	60.
IV.12.- Pruebas de Laboratorio .....	64.
Conclusiones .....	85.
Bibliografía .....	89.
Índice .....	92.