



**SOLDADURA**



# INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA

El hierro, el acero y sus aleaciones constituyen el mayor tonelaje entre todos los metales y aleaciones empleados actualmente en las estructuras metálicas. El agregado de elementos aleantes, la posibilidad de los distintos tratamientos térmicos y el trabajado en frío o en caliente de las aleaciones de hierro le confieren un muy extenso campo de aplicaciones industriales. El éxito de los empalmes soldados de las aleaciones ferrosas (o base hierro) depende de su historia térmica así como su respuesta ante cambios de composición química y ante las tensiones aplicadas.

## ORIGEN Y FABRICACIÓN DEL HIERRO DE PRIMERA FUSIÓN (O ARRABIO)

Todas las aleaciones de hierro y de acero se basan en el elemento metálico hierro (Fe), uno de los más abundantes en la corteza terrestre.

El hierro forma parte de varios minerales (menas), en combinación con otro elementos. Las menas de hierro de importancia comercial son óxidos, como la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

La extracción química del 50% al 65% de hierro que contienen estas menas se logra en los altos hornos, calentando el mineral junto con carbón que coque y caliza. El coque metalúrgico que es básicamente carbono, se combina con el oxígeno del mineral de hierro a elevadas temperaturas. En la parte inferior del horno, por la piqueta se recoge el hierro metálico fundido, el que es «sangrado» como hierro de primera fusión o arrabio. La caliza combinada con otras impurezas del mineral forma esco-

ria que flota sobre la masa líquida de hierro y se la extrae periódicamente del horno a través de la «bigotera». El arrabio no es hierro puro pues contiene disueltas cantidades relativamente grandes de carbono (C), manganeso (Mn), silicio (Si), fósforo (P), y azufre (S).

## REFINACIÓN DEL HIERRO DE PRIMERA FUSIÓN

El arrabio es una materia prima que se refina para obtener hierro colado, hierro forjado, acero y otros materiales, mediante diversos procesos metalúrgicos. Proceso Bessemer, Siemens Martin, proceso de Horno Eléctrico y Horno de Oxígeno Básico. La refinación del arrabio es, esencialmente, la eliminación de los elementos perjudiciales que contiene.

## HIERRO COLADO

Los hierros colados son muy parecidos al arrabio y se los fabrica en las fundiciones mediante un horno de cubilote donde se afina el hierro de primera fusión.

Estos todavía contienen grandes cantidades significativas de otras impurezas.

## FUNDICIÓN BLANCA

Con un enfriamiento rápido, y con la presencia de manganeso, se impide la separación del carbo-

no y queda combinado con el hierro formando carburo de hierro o cementita. Es muy dura y frágil, se la usa principalmente para el moldeo de piezas resistentes a la abrasión. Su porcentaje de carbono oscila entre 2,5% a 4%.

### FUNDICIÓN MALEABLE

Forma relativamente dúctil de hierro colado, que se obtiene como resultado del tratamiento térmico de fundiciones blancas especiales.

### FUNDICIÓN GRIS

Comparativamente blandas y maquinables pero también frágiles. Se obtiene con un enfriamiento muy lento principalmente, y con la presencia de silicio que favorece la formación de grafito. Todo el carbono se encuentra presente en forma de láminas de grafito dispersas dentro de la matriz metálica. Estas láminas hacen que la superficie fracturada aparezca de color gris y que el metal sea frágil. Su porcentaje de carbono oscila entre 2,5% a 4%.

### FUNDICIÓN NODULAR O DÚCTIL

Químicamente similar a la fundición gris pero, debido a un tratamiento especial mientras está fundida, el carbono está presente en forma de grafito pero en esferas o nódulos en lugar de láminas. Esto mejora la ductilidad.

### HIERRO FORJADO

Antes de que el acero se lo empleara ampliamente en estructuras, el hierro forjado, con propiedades físicas mejoradas, (con respecto a los hierros colados) se forjaba y laminaba en forma de chapas y perfiles.

Producido originalmente en un horno de pudela-

do, el hierro forjado consiste en hierro casi puro con un 4% de escoria (en volumen), atrapada en la estructura. Las vetas de escoria le confieren al metal una estructura fibrosa. Puesto que tienen una matriz de bajo contenido de elementos aleantes, se lo suelda comúnmente con facilidad.

### FABRICACIÓN DEL ACERO

El exceso de carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio que contiene el arrabio, debe reducirse fuertemente para producir el acero. Los hornos de fabricación de acero eliminan estos elementos empleando oxígeno y formando escorias.

El oxígeno decarbura mediante la formación de óxido de carbono (CO) o anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) gaseosos y las escorias eliminan las otras impurezas.

A los hornos de fabricación de acero se los clasifica en «ácidos» y «básicos» en función de la clase de escoria que emplea. Las escorias básicas contienen gran cantidad de cal y eliminan en forma efectiva el azufre y el fósforo. Las escorias ácidas tienen elevado contenido de sílice (SiO<sub>2</sub>).

### ACERO BESEMER ÁCIDO

Está constituido de tal manera que el aire comprimido resulte soplado dentro de la masa fundida de 25x30 toneladas de arrabio. El oxígeno del aire quema el carbono, el manganeso y el silicio pero no elimina en forma efectiva el fósforo ni el azufre, los que degradan las propiedades físicas y la soldabilidad del acero así obtenido. El nitrógeno del aire también se disuelve en el acero fundido y por envejecimiento lo fragiliza considerablemente.

### ACERO SIEMENS-MARTIN BÁSICO

Se fabrica en hornos de hogar abierto básico de capacidad variable entre 150 a 300 toneladas por

colada (entre 6 a 8 hs. es la duración de una colada). El horno puede ser cargado con chatarra, caliza, mineral de hierro y arrabio fundido. El oxígeno se sopla para reducir el mineral de hierro y suplementariamente para acortar los tiempos de colada. El baño de metal es calentado por un combustible. Los óxidos de carbono, silicio y manganeso se eliminan en forma de gases o a través de la escoria básica que flota sobre el baño metálico.

### CONVERTIDOR BÁSICO AL OXÍGENO

Un proceso de elaboración de acero relativamente moderno es el gran convertidor básico aloxígeno (más de 200 toneladas) que es similar al convertidor Bessemer. El oxígeno se inyecta directamente en el hierro líquido por lanzas que se introducen por la boca superior del recipiente.

Mediante este proceso se fabrica acero de alta calidad (comparable al del proceso Siemens-Martin) en escoria básica rica en cal que permite la eliminación del fósforo azufre.

### ACERO DE HORNO ELÉCTRICO

Los aceros inoxidables de alta aleación, los aceros resistentes al calor y las calidades especiales de aceros al carbono, se producen en hornos eléctricos de 3 a 200 toneladas de capacidad. El calor es proporcionado por los arcos eléctricos que se establecen entre los electrodos de grafito y el baño de escoria. Los hornos eléctricos pueden proporcionar aceros limpios (de bajo contenido de impurezas) y de composición química muy ajustada en cuanto a su tolerancia se refiere.

El horno eléctrico comúnmente se carga con chatarra en lugar de hacerlo con arrabio. Las condiciones de fusión y afino de estos hornos son similares a las imperantes en el pequeño baño líquido que se forma durante la soldadura con arco eléctrico.

### PRODUCCIONES DE LINGOTES

Debido a los procesos de afino, el acero fundido contiene usualmente oxígeno disuelto en exceso. Con el objeto de eliminar dicho exceso que produce porosidad en los lingotes y para mejorar la calidad del acero se le agregan «desoxidantes» al baño fundido (normalmente conteniendo silicio, aluminio, titanio o circonio). Estos agregados forman óxidos que se eliminan por vía de la escoria.

Variando la cantidad de desoxidación se producen tres tipos de lingotes:

**Aceros efervescentes** - Son aceros de bajo carbono y con el menor grado de desoxidación. Los lingotes efervescentes contienen una capa de hierro casi puro, próxima a las paredes de la lingotera un núcleo algo poroso.

**Acero calmado** - Son lingotes completamente desoxidados que forman una gran cavidad debida a la contracción que sufren durante el enfriamiento, también llamada rechupe. Esta parte del lingote debe ser cortada antes del laminado subsiguiente. (Se puede eliminar el rechupe utilizando una mazarota).

**Acero semicalmado** - Son intermedio entre los efervescentes y calmados. Se agregan suficientes desoxidantes para reducir la contracción pero quedan algunos gases disueltos. Los aceros semicalmados son menos costosos que los calmados y representan la mayor parte de los aceros estructurales soldables.

### EL PROCESO DE LAMINADO

Los productos derivados del acero se obtienen de dos formas:

- A** - colando en un molde de forma final de la pieza.
- B** - colando en una lingotera y luego dándole al lingote la forma deseada por laminación o forjado.

Aproximadamente al 95% del tonelaje total del acero se le da forma por ese segundo camino.

La mayor parte del conformado de los lingotes se realiza en caliente laminándolos en varias cajas desbastadoras y luego en cajas terminadoras.

En el primer conformado se fabrican tochos, desbastes planos, palanquillas y luego barras, chapas gruesas y otros perfiles estructurales.

La operación de laminado en caliente «suelta» los poros (inclusiones de gas), reduce el tamaño del grano y mejora la tenacidad y la ductilidad.

A muchos productos de acero se los comercializa laminados en frío. El laminado en frío permite lograr tolerancias dimensionales más ajustadas, una superficie más lisa y con frecuencia, una mayor resistencia a la fluencia debido al envejecimiento que produce el trabajo en frío. (Resistencia a la fluencia: es la carga por unidad de área transversal original de la probeta que produce una determinada deformación permanente).

## TIPOS DE ACERO

La mayoría de los aceros comerciales pueden clasificarse en tres grupos: los aceros al carbono, los de baja aleación y los de alta aleación.

### ACEROS AL CARBONO

Constituyen el grupo mayor en cuanto a tonelaje de empleo, son aleaciones de hierro con cantidades variables pero reducidas de carbono, manganeso, fósforo y azufre. Las propiedades y la soldabilidad de estos aceros depende principalmente de su contenido de carbono, si bien los otros elementos pueden influir también aunque en cierta medida.

Los aceros al carbono se clasifican frecuentemente por su contenido de carbono, tal como se indica en la siguiente tabla.

**Designación común:** Hierro dulce o de lingote.  
**Contenido de carbono:** 0.03 % máximo.

**Uso típico:** Esmaltado, galvanizado y estampado profundo.

**Soldabilidad:** Excelente.

**Designación común:** Acero de bajo contenido de carbono.

**Contenido de carbono:** 0.15% - 0.3%

**Uso típico:** Electrodo para soldadura, chapas y perfiles especiales, chapas finas, flejes.

**Soldabilidad:** Excelente.

**Designación común:** Acero de mediano contenido de carbono.

**Contenido de carbono:** 0.30% - 0.50%

**Uso típico:** Piezas de máquinas.

**Soldabilidad:** Se precisa precalentamiento y frecuentemente tratamiento térmico posterior.

**Designación común:** Acero de alto contenido de carbono.

**Contenido de carbono:** 0.50% - 1.00%

**Uso típico:** Resortes, matrices, rieles para ferrocarril.

**Soldabilidad:** Difícil de soldar sin precalentamiento y adecuado tratamiento térmico.

### ACEROS DE BAJA ALEACIÓN

El agregado de otros elementos (níquel, cromo, molibdeno, manganeso, silicio) pueden mejorar marcadamente las propiedades mecánicas, su resistencia ante los tratamientos térmicos y su resistencia a la corrosión. El agregado de elementos de aleación no pasa generalmente del 5% y normalmente es la combinación de dos o más elementos. La mayoría de los aceros de baja aleación caen dentro de los siguiente tipos: aceros estructurales de baja aleación y alta resistencia, aceros para máquinas y para la industria automotriz, aceros para servicio a baja y elevada temperatura.

En las modernas estructuras se emplean aceros que posean propiedades mecánicas superiores a las de los aceros estructurales al carbono. Después de laminados se obtienen resistencias a la trac-

ción del orden del 49 Kgs/mm<sup>2</sup> con sólo agregar bajos porcentajes de dos o más elementos aleantes, la soldabilidad adecuada se mantiene limitando el 1% del carbono a un máximo de 0.20 %. Para su uso en piezas de máquinas se han desarrollado varios aceros de baja aleación, se los ha clasificado de acuerdo a su composición química según los sistemas de los códigos AISI-SAE. (AISI - AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE / SAE - SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS)

Para satisfacer los requerimientos del servicio criogénico, se han desarrollado aceros de aleación con tenacidad adecuada a temperaturas sub-cero, se emplean con frecuencia aceros calmados tratados con aluminio, de grano fino, con hasta 10% de níquel.

También se fabrican para servicio a elevada temperatura, para su empleo en estructura soldadas tales como calderas, torres de destilación de petróleo, etc. El agregado de cromo y molibdeno le confieren propiedades de resistencia a la fluencia lenta y de rotura a temperaturas del orden de los 590°C.

(Fluencia lenta- es el incremento continuo de la deformación o deflexión de una pieza tensionada. En la fluencia lenta (o creep) la deformación aumenta continuamente a tensión constante, depende de la carga y de la temperatura).

### ACEROS DE ALTA ALEACIÓN

Es el grupo de aceros de mayor valor y alta calidad que presentan notables características mecánicas, resistencia a la corrosión, oxidación y muy buen comportamiento a elevadas temperaturas.

Los aceros inoxidables resisten el ataque de medios corrosivos a temperatura ambiente y elevada.

Contienen por lo menos un 12% de cromo y, algunas cantidades importantes de níquel, con fines especiales se agregan también otros elementos de aleación.

Las matrices, punzones, guillotinas, etc. se fabrican con aceros para herramientas de alto contenido

de carbono y también moderadas cantidades de elementos aleantes, por lo general son difíciles de soldar y requieren procedimientos especiales.

## METALURGIA BÁSICA DEL ACERO

Dos características fundamentales de las aleaciones de hierro hacen posible variar sus propiedades en amplia gama:

**1** - Pequeños cambios en la composición química, producen grandes cambios en sus propiedades mecánicas.

**2** - El hierro y la mayoría de los aceros sufren una transformación alotrópica, al calentarse y enfriarse se transforma la estructura y esta transformación es la causa por la cual al acero se lo puede tratar térmicamente y obtener así gran variedad de propiedades físicas a partir de una dada composición química de la aleación.

### 1. ELEMENTOS QUÍMICOS EN EL ACERO.-

**CARBONO.-** Es el elemento aleante más importante en los aceros y puede estar presente hasta en concentraciones del 2% (si bien la mayoría de los aceros soldables no pasa del 0.05%). El carbono puede encontrarse disuelto o combinado en forma de carbono de hierro (Fe<sub>3</sub>C). Un incremento en la proporción de carbono aumenta la resistencia mecánica, límite elástico, dureza, fragilidad, magnetismo y templabilidad. Por otra parte se reduce la ductilidad, maleabilidad, tenacidad, y temperatura de fusión y soldabilidad.

**NIQUEL.-** Aumenta la dureza, alargamiento, tenacidad, resistencia a la corrosión y facilita el temple. Los aceros empleados en la construcción de máquinas contienen aproximadamente 0.35% de carbono, 2 a 5% de níquel y algo de Si y Mn, con este

material se construyen ejes, bieles, cigüeñales, ruedas dentadas y pernos. Con 20% a 25% de níquel el acero es resistente a la oxidación, al calor, a los ataques químicos y no es magnético. Con 36% de níquel recibe el nombre de IMBAR y su coeficiente de dilatación es prácticamente nulo, se utiliza en piezas de relojería, cintas y aparatos de medida.

**CROMO.-** Aumenta la dureza, resistencia a la corrosión, oxidación y al desgaste. Se emplea en rodamientos, con 5% de cromo se construyen tubos para calderas, con 8% para válvulas de motores y con más de 12% para aceros inoxidable.

**MANGANESO.-** Se encuentra en todos los aceros pues actúa como desfluorante, cuando el porcentaje es mayor al 1% aumenta la resistencia al desgaste mecánico y facilita el temple. Con 12% recibe el nombre de HADFIELD, tiene gran tenacidad y resistencia al desgaste, es utilizado para mandíbulas de trituradoras, molinos, balde de dragas, orugas, etc.

**SILICIO.-** Aumenta considerablemente el límite elástico y la dureza, pero disminuye la maleabilidad. Con 1 a 2% se emplean en elásticos de suspensión y resortes helicoidales. Con 2 a 4% aumenta la permeabilidad magnética y se usa para máquinas eléctricas y transformadores. En el acero laminado se encuentra en pequeñas cantidades (0,20%), es producto de su uso como desoxidante. En las fundiciones es común que su tenor sea de 0.35 a 1.00%

**TUNGSTENO.-** Proporciona gran resistencia al desgaste manteniéndola a altas temperaturas. Con 2 a 6% se usa en válvulas de escape y con 12% se fabrican aceros rápidos que mantienen el filo de corte hasta 600°C.

**MOLIBDENO.-** Produce efectos muy similares a los del tungsteno, se emplea en calderas, tubos de vapor, etc.

**VANADIO.-** Aumenta el límite elástico y mejora la estructura produciendo un grano fino.

**COBALTO.-** Aumenta el límite elástico y la dureza, con 34% se utiliza en imanes pues aumenta el mag-

netismo remanente (residuo).

**ALUMINIO.-** Actúa como desoxidante y aumenta la tenacidad por ser un refinador de grano.

**TITANIO.-** Mejora la resistencia a la corrosión y aumenta la dureza.

## ACEROS RÁPIDOS

Las herramientas requieren la gran capacidad de corte, de arrancar la mayor cantidad de viruta posible en el menor tiempo, esto se logra en los aceros rápidos, con tungsteno y cromo, y en los aceros extra rápidos, con contenido de vanadio, cobalto y molibdeno además el tungsteno y cromo.

## PLAQUETAS DE METALES Duros

Además de los aceros rápidos se fabrican aleaciones por aglomeración a base de cromo, cobalto y tungsteno, las cuales no contienen hierro. Las más particulares son la stelita que conserva la dureza hasta 800°C, y la widia que es una aleación de carburo de tungsteno en polvo aglutinado con cobalto que conserva la dureza y filo hasta 900°C.

## 2 - ESTRUCTURA DE LOS METALES.-

Los metales son sólidos cristalinos cuyos átomos están dispuestos de manera específica. Si a un metal se lo pudiera observar con aumento de varios millones de veces, a los átomos individuales se los vería formar un patrón geométrico. Esta disposición ordenada que presentan es responsable de la estructura cristalina de un metal. El modo en el que sus átomos se disponen determina, en parte, muchas de las propiedades de un metal.



# FORMACIÓN DE SÓLIDOS CRISTALINOS

Comúnmente, a los sólidos cristalinos se los produce solidificando un metal líquido. En estado líquido el metal pierde su carácter cristalino, pues no tiene una estructura precisa ni una disposición ordenada de los átomos. Cuando el metal fundido empieza a enfriarse comienzan a formarse partículas sólidas, llamadas núcleos. Estas pequeñas partículas sólidas iniciales ya están dispuestas en el orden atómico específico característico del metal. La solidificación continúa para dar partículas sólidas más grandes a las que se denominan granos. Un grano es un cristal que tiene límites atómicos irregulares. Cada grano de un metal tiene la misma estructura cristalina, o sea, igual disposición y espaciado de sus átomos. Sin embargo, como cada grano crece independientemente de los demás, la orientación espacial del cristal difiere de un grano a otro. Por consiguiente, los límites del grano son regiones en las que la disposición periódica y ordenada de los átomos no se cumple.

Hasta este momento hemos estado considerando metales teóricamente puros. Empero, la mayoría de los metales para aplicaciones industriales son aleaciones. Tanto la estructura atómica, como la pureza, los antecedentes térmicos y mecánicos de una aleación, ejercen influencia en la determinación de las propiedades industriales que posee.

En la elaboración de algunos de los átomos del metal base se los reemplaza por otros nuevos que toman las posiciones previamente ocupadas.

**A - Sustitución Directa:** Si el nuevo átomo es similar en tamaño y en comportamiento químico al del metal original puro, puede reemplazar directamente a uno de los originales de la red. Así, los átomos nuevos que se disuelven en el metal base se convierten en átomos solventes y forman lo que se denomina una solución sólida.

**B - Solución Sólida Intersticial:** Cuando el átomo nuevo es pequeño en relación con el átomo base se puede disolver en la estructura original,

en los espacios que hay entre los átomos del metal base, sin desplazar a ninguno en realidad. A esto se denomina solución sólida intersticial.

Con mucha frecuencia, los nuevos átomos no pueden disolverse por completo, ni intersticial ni sustitutivamente; estas circunstancias dan como resultado, por lo común, la formación de clases mixtas de agrupamientos atómicos dentro de una única aleación, presentando una estructura cristalina diferente. A cada agrupamiento con su propia estructura cristalina se lo llama fase y a la aleación, aleación estructura.

Muchos fenómenos particulares que afectan profundamente a las propiedades de una aleación, acontecen en los límites de grano: éstos por eje, aumentan la resistencia a la tracción de los materiales a la temperatura ambiente. A temperaturas elevadas, los átomos de los límites de grano pueden desplazarse y deslizarse entre sí reduciendo la resistencia del material. Como resultado, los materiales de grano fino poseen mejores propiedades para el servicio a temperatura ambiente, mientras que los de grano grueso son convenientes para servicios a temperaturas elevadas.

## TRANSFORMACIONES DE FASE (PUNTOS CRÍTICOS)

Las diferencias de temperatura hacen que los átomos de muchos metales varíen sus disposiciones cristalográficas.

El hierro solidifica a 1535°C dando una estructura cúbica centrada en el cuerpo y que se denomina hierro delta.

En el enfriamiento lento la estructura del hierro delta persiste hasta que a los 1391°C se transforma en una red cúbica centrada en las caras que se llama hierro gamma o austenita. La austenita permanece hasta que se llega a una temperatura de 910°C, momento en el cual se transforma nuevamente en una estructura cúbica centrada en el cuerpo y que para distinguirla del hierro delta, sólo por la temperatura a la cual se formó, se llama hie-

Estructura de los metales comunes	
Estructura	Metales con esta estructura
Cúbica Centrada en el Cuerpo (BCC)	Fe (a la temperatura ambiente y también cerca de su punto de fusión, Cr, Cb, W, V, Mo.
Cúbica Centrada en las Caras (FCC)	Fe (a la temperatura alta intermedia) Cu, Au, Pb, Ni, Ag, Al.
Hexagonal Compacta (HCP)	Co, Mg, Sn, Ti, Zn, Zr.

Las tres estructuras cristalinas más comunes en metales y en aleaciones (izquierda) - Cúbica Centrada en las Caras (FCC) (centro) - Cúbica Centrada en el Cuerpo (BCC) (derecha) - Hexagonal Compacta (HCP).

rrro alfa.

A este cambio de estructura cristalina se lo denomina transformación alotrópica o de fase. Hay que señalar las temperaturas de transformaciones de fase, que se denomina como puntos críticos.

El acero es en primer término una aleación de hierro y carbono, la presencia de este último altera la temperatura de solidificación y de las transformaciones de fase.

Las aleaciones de hierro-carbono se solidifican dentro de un ámbito de temperaturas y hay diferentes temperaturas entre el líquido y solidus dependiendo de la composición. A medida que aumenta el contenido de carbono hasta llegar a 4.3%, disminuyen las temperaturas del líquido (comienzo de la solidificación) y del sólido (fin de la solidificación). Los cambios significativos en las temperaturas de transformación de fase son:

#### 1 - Ferrita Delta - Transformación Austenítica:

- a) Ello tiene lugar a los 139°C en caso de hierro puro, aumenta hasta un máximo de 1492°C cuando crece el contenido de carbono.
- b) La ferrita delta no se forma en aceros con más de 0,50% de C.

#### 2 - Austenita - Transformación Ferrítica y Formación de Carburo de Hierro (Cementita)

- a) Es esta la transformación más importante en los aceros ya que es la base de la mayor parte de sus tratamientos térmicos.
- b) Esto ocurre en el hierro puro a 910°C con un incremento en el porcentaje de carbono. La transformación tiene lugar dentro de un rango variable de temperaturas: la temperatura superior ( $A_3$ ) varía desde 910°C hasta descender a 723°C, cuando aumenta el carbono. Para un acero de 0.10% C por ejemplo, la temperatura  $A_3$  es de 871°C, mientras que para un acero de 0,50% la temperatura  $A_3$  es de 777°C.

**3** - La temperatura inferior del rango ( $A_1$ ) permanece constante a  $723^{\circ}\text{C}$  para todos los aceros.

**4** - La austenita puede disolver hasta 2.0% de carbono en solución sólida. La ferrita en cambio, puede hacerlo sólo hasta un máximo de 0.025% C. Por debajo de  $A_1$  la austenita se transforma en ferrita mientras que el exceso de carbono, sobre 0.025%, precipita en forma de carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), o cementita (que contiene 6.67% C).

## EL DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO-CARBONO

Indica la naturaleza de las fases presentes en todas las aleaciones hierro-carbono en condiciones cercanas al equilibrio, es decir, con calentamiento y enfriamiento muy lentos. Las microestructuras a temperatura ambiente de las aleaciones hierro-carbono en condiciones próximas al equilibrio, incluyen uno o más de los constituyentes siguientes:

- 1. Ferrita** - Solución sólida de carbono en hierro alfa.
- 2. Perlita** - Láminas alternadas de cementita y ferrita.
- 3. Cementita** - Carburo de hierro presente en la perlita o como cementita completa en los aceros con alto contenido de carbono y fundiciones.

Las definiciones siguientes se refieren a la composición general del acero.

Los aceros hipoeutectoides son aquellos que contienen menos de 0.80% C y su microestructura es de 100% perlita.

Los aceros hipereutectoides tienen más de 0.80% C y su microestructura es perlita más cementita.

## TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Son los procesos mediante los cuales logramos

modificar las propiedades mecánicas de los aceros, fundiciones y otros metales.

Estos procesos se basan en elevar la temperatura del elemento y mantenerla el tiempo necesario, luego el enfriamiento, que se puede dar de muchas formas y de estas dependerá el tratamiento dado.

Los tratamientos térmicos pueden constituir únicamente en cambio de estructura sin variar su composición, pero hay otros que pueden modificarla, especialmente en la superficie del metal. Según esto, los tratamientos se pueden clasificar en tratamientos con y sin cambio en su porcentaje de carbono.

## TRATAMIENTO SIN CAMBIO EN SU PORCENTAJE DE CARBONO:

**Recocido:** El recocido del acero es un tratamiento térmico por el cual se calienta a una temperatura en la zona crítica, se mantiene por algún tiempo y luego se enfría, en general muy lentamente.

El recocido total del acero al carbono consiste en calentarlo ligeramente por encima del punto crítico superior para los aceros hipoeutectoides y ligeramente por sobre el punto crítico inferior para los hipereutectoides, manteniendo hasta que esté uniforme calentando, y luego se enfría lentamente hasta  $540^{\circ}\text{C}$ , después al aire. La estructura resultante es la laminar de la perlita. El recorrido se emplea:

- 1º)** Para ablandar aceros para el maquinado, cortado, estampado, etc.
- 2º)** Para modificar la ductilidad, tenacidad, características eléctricas o magnéticas.
- 3º)** Para rebajar las tensiones y dureza resultantes del trabajo en frío.

Para aceros al carbono se recomiendan las temperaturas de recocido siguiente (A.S.T.M.) Aceros de menos del 0.12% de C,  $872$  a  $927^{\circ}\text{C}$ ; aceros del

0.12 al 0.29% de C, 843 a 872°C; del 0.30 al 0.49% de C, 816 a 843°C; y para aceros del 0.5 a 1% de C, de 788 a 816°C.

La esferoidización y el normalizado son casos especiales del recorrido:

**La Esferoidización del Acero:** Según la AMERICAN SOCIETY OF METALS, es un procedimiento de calentar y enfriar que produce una forma globular de carbono. Los aceros de alto carbono se esferoidizan para perfeccionar su maquinabilidad en tornos. En los de bajo carbono es para reunir ciertos requisitos de resistencia antes de tratamientos térmicos subsiguientes, y la resistencia al desgaste.

**La Normalización del Acero:** Consiste en calentarlo a una temperatura superior a la usada para el recocido, generalmente unos 37°C por sobre la zona crítica superior, y luego enfriarlo al aire tranquilo ambiente. Con esto se pretende conferir unas condiciones apropiadas de tamaño del grano y refinamiento, uniformes y sin tensiones internas. Esto es particularmente importante para las piezas de forja que luego han de ser tratadas térmicamente.

**Temple:** Fundamentalmente se realiza en dos etapas. La primera consiste en calentar el acero a una temperatura superior a su punto de transformación, por lo menos 38°C, de modo que su estructura sea enteramente austenítica. La segunda radica en enfriar a una velocidad mayor que la crítica, que depende del contenido de carbono y de los demás elementos aleados, y del tamaño del grano de la austenita, para obtener una estructura martensítica.

Las mejores temperaturas de temple para un acero de herramientas dado, dependen del tipo de la herramienta y del servicio que ha de prestar. Las recomendaciones generales para las temperaturas de temple del acero de herramientas al carbono se basan en el contenido de carbono.

Ejemplo:

para acero de 0.65 a 0.80% de C, de 787 a 842°C

para acero de 0.80 a 0.95% de C, de 765 a 793°C

para acero de 0.95 a 1.1 % de C, de 753 a 776°C

para acero de 1.1 y más % de C, de 748 a 770°C

## BAÑOS DE TEMPLE

La misión de un baño de temple es absorber el calor del acero que ha de templarse a una velocidad mayor de la crítica de enfriamiento. Para lograr diferentes velocidades de enfriamiento para distintas clases de trabajo, se usan baños de varios tipos, como son: agua fresca, soluciones de salmuera o de soda cáustica, aceites de varias clases, emulsiones de agua y aceite, baños de sales o en plomo fundidos para aceros rápidos, y enfriamiento por el aire para algunas herramientas de acero rápido cuando se precisa pequeña velocidad de enfriamiento.

## BAÑOS DE SALES

Existen sales comerciales para estos baños que cubren una extensa gama de temperaturas y otros requisitos. Por ejemplo, hay sales neutras para calentar los aceros de herramientas y de matrices sin producir cementación de las superficies, baños para carburizar las superficies de las piezas de acero con bajo carbono, baños para las temperaturas usuales de revenido, es decir de 150 a 600°C, y baños que pueden alcanzar temperaturas del orden de 1320°C para el temple de aceros rápidos. Las superficies que no han de carburizarse se protegen con un recubrimiento electrolítico de cobre. Cuando la pieza está sumergida, sólo las partes no cobreadas estarán sujetas a la acción carburizante. Los baños pueden constituirse en una mezcla de cloruros de sodio, potasio, bario y calcio o nitritos sódico, potásico, bórico y cálcico, en varias proporciones, a los que se añade algunas veces carbonato sódico y cianuro sódico para evitar la decarburación.

## REVENIDO

El objeto del revenido es reducir la fragilidad del acero templado y eliminar las tensiones residuales causadas por el enfriamiento súbito en el baño de

temple. Consiste en calentar el acero por distintos medios a una cierta temperatura y luego enfriarlo. Si el acero está a todo temple, su estructura consiste principalmente de martensita. Al recalentar a una temperatura de unos 150 a 400°C se forma una estructura más blanda y más tenaz conocida como troostita. Si el acero se recalienta a una temperatura de 400 a 700°C se forma una estructura llamada sorbita que tiene algo menos de resistencia que la troostita, pero mucha mayor ductilidad. (El enfriamiento es al aire libre).

## TRATAMIENTOS CON CAMBIO EN SU PORCENTAJE DE CARBONO

### CEMENTACIÓN.-

Para templar el acero de bajo carbono es necesario aumentar el contenido en carbono de la superficie del acero, o sea que una capa exterior delgada puede templarse por calentamiento del acero a la temperatura de temple y después enfriamiento súbito. El procedimiento, sin embargo, supone dos etapas distintas. La primera es la operación de carburizar, por saturación de la capa superficial térmica de las piezas carburadas, para obtener una capa exterior dura y al mismo tiempo dar al núcleo las propiedades físicas requeridas.

### CARBURACIÓN.-

Es el resultado de calentar hierro o acero a una temperatura inferior a su punto de fusión en presencia de un sólido, líquido o gas que se descompone, liberando carbono al ser calentado. Así es posible obtener, por una penetración, difusión o absorción gradual del carbono por el acero, una zona o cáscara de más alto contenido de carbono en su superficie que en su interior.

Cuando se carburizan materiales sólidos, la cementación se efectúa colocando las piezas de ace-

ro, en cajas de metal, envueltas con mezclas carbonosas. Las cajas se tapan herméticamente y se introducen en un horno, donde se mantienen usualmente a una temperatura aproximada de 900 a 925°C por un período de tiempo dependiente de la extensión de la carburación deseada. El carbono de la mezcla carbonosa es entonces absorbido por el acero en las superficies deseadas, donde el acero de bajo carbono se convierte en de alto carbono, mientras que el núcleo y las partes aisladas de las piezas conservan prácticamente su acero original de bajo carbono. El resultado es una zona de dos estructuras (alto y bajo carbono) en la misma pieza. El acero carburado o cementado puede luego tratarse térmicamente por el temple, lo mismo que un acero de alto carbono, a fin de desarrollar las propiedades de dureza y tenacidad, pero como el acero en realidad consiste en dos aceros en uno, el tratamiento correcto consta de dos procesos y varía según la clase de acero usado. Generalmente un calentamiento inicial y un enfriamiento lento son seguidos por un recalentamiento a 760 - 788°C, temple al aceite o el agua, y un revenido final.

### CARBURIZANTES.-

Existen muchos en los cuales los materiales empleados como generadores pueden ser carbón vegetal duro o blando, carbón animal, coque, cáscaras vegetales, huesos y cueros o varias combinaciones de éstos. Los activadores pueden ser el bario, cianógeno, compuestos amoniacales, diversas sales, cenizas sódicas o cal e hidrocarburos del aceite.

### CIANURIZACIÓN.-

Cuando el acero de bajo carbono necesita una superficie exterior muy dura pero sin cualidades de resistencia al choque, el procedimiento de endurecer por cianuración puede emplearse para obtener esta dureza superficial. Consiste en carburizar una capa exterior muy delgada (que puede ser sólo de unas pocas centésimas de milímetro) sumergido el acero en un baño de cianuro sódico. Las tempera-

turas generalmente oscilan de 785 a 900°C y el tanto por ciento de cianuro sódico del baño varía según el tipo de acero y las propiedades exigidas.

### **NITRURACIÓN.-**

Es un procedimiento para endurecer la superficie de ciertos aceros aleados, calentándolos en una atmósfera de nitrógeno (gas amoníaco) aproximadamente a 510°C. Luego el acero se enfría lentamente. Las superficies mecanizadas y acabadas, endurecidas por tales como tenacidad, resistencia al impacto fuerte, etc., pueden conferirse al núcleo por tratamientos térmicos previos y no resultan afectadas por las temperaturas de revenido hasta 510°C.

# ACEROS

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS

### SERIES SAE Y AISI

SAE (Society of Automotive Engineers) y AISI (American Iron and Steel Institute) han efectuado clasificaciones extensas de los aceros de acuerdo a su composición química, llegando a establecer la siguiente normalización

### Designación de Letras

B: Acero al Carbono (Horno BESSEMER, ácido)  
C: Acero al Carbono (Horno Solera abierta, básico)  
E: Acero al Carbono (Horno eléctrico)

### Designación Numérica

(10XX) Aceros al Carbono  
(13XX) Manganeso 1.60 a 1.90%  
(23XX) Níquel 3.50%  
(25XX) Níquel 5.0%  
(31XX) Níquel 1.25% - Cromo 0.60%  
(33XX) Níquel 3.50% - Cromo 1.60%  
(40XX) Molibdeno  
(41XX) Cromo - Molibdeno  
(43XX) Níquel - Cromo - Molibdeno  
(46XX) Níquel 1.65% - Molibdeno 0.25%  
(48XX) Níquel 3.25% - Molibdeno 0.25%  
(51XX) Cromo  
(52XX) Cromo y alto carbono  
(61XX) Cromo - Vanadio  
(86XX) Cromo - Níquel - Molibdeno  
(87XX) Cromo - Níquel - Molibdeno  
(92XX) Silicio 2.0 % - Cromo  
(93XX) Níquel 3.0% - Cromo - Molibdeno.  
(94XX) Cromo - Níquel - Molibdeno  
(97XX) Cromo - Níquel - Molibdeno  
(98XX) Cromo - Níquel - Molibdeno



## ACEROS AL CARBONO

Número SAE	C	Mn	P Max.	S Max.	Número AISI
—	0.06 max.	0.35 max.	0.040	0.050	C1005
1006	0.08 max.	0.25-0.40	0.040	0.050	C1006
1008	0.10 max.	0.25-0.50	0.040	0.050	C1008
1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.040	0.050	C1010
—	0.10-0.15	0.30-0.60	0.040	0.050	C1012
—	0.11-0.16	0.50-0.80	0.040	0.050	C1013
1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.040	0.050	C1015
1016	0.13-0.18	0.60-0.90	0.040	0.050	C1016
1017	0.15-0.20	0.30-0.60	0.040	0.050	C1017
1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050	C1018
1019	0.15-0.20	0.70-1.00	0.040	0.050	C1019
1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.040	0.050	C1020
—	0.18-0.23	0.60-0.90	0.040	0.050	C1021
1022	0.18-0.23	0.70-1.00	0.040	0.050	C1022
—	0.20-0.25	0.30-0.60	0.040	0.050	C1023
1024	0.19-0.25	1.35-1.65	0.040	0.050	C1024
1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.040	0.050	C1025
—	0.22-0.28	0.60-0.90	0.040	0.050	C1026
1027	0.22-0.29	1.20-1.50	0.040	0.050	C1027
—	0.25-0.31	0.60-0.90	0.040	0.050	C1029
1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.040	0.050	C1030
1033	0.30-0.36	0.70-1.00	0.040	0.050	C1033
1034	0.32-0.38	0.50-0.80	0.040	0.050	C1034
1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.040	0.050	C1035
1036	0.30-0.37	1.20-1.50	0.040	0.050	C1036
1038	0.35-0.42	0.60-0.90	0.040	0.050	C1038
—	0.37-0.44	0.70-1.00	0.040	0.050	C1039
1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.040	0.050	C1040
1041	0.36-0.44	1.35-1.65	0.040	0.050	C1041
1042	0.40-0.47	0.60-0.90	0.040	0.050	C1042
1043	0.40-0.47	0.70-1.00	0.040	0.050	C1043
1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.040	0.050	C1045
1046	0.43-0.50	0.70-1.00	0.040	0.050	C1046
1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.040	0.050	C1050
—	0.45-0.56	0.85-1.15	0.040	0.050	C1051
1052	0.47-0.55	1.20-1.50	0.040	0.050	C1052
—	0.50-0.60	0.50-0.80	0.040	0.050	C1054
1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.040	0.050	C1055
—	0.50-0.61	0.85-1.15	0.040	0.050	C1057
—	0.55-0.65	0.50-0.80	0.040	0.050	C1059
1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.040	0.050	C1060
—	0.54-0.65	0.75-1.05	0.040	0.050	C1061
1062	0.54-0.65	0.85-1.15	0.040	0.050	C1062
1064	0.60-0.70	0.50-0.80	0.040	0.050	C1064
1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.040	0.050	C1065
1066	0.60-0.71	0.85-1.15	0.040	0.050	C1066
—	0.65-0.75	0.40-0.70	0.040	0.050	C1069
1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.040	0.050	C1070
—	0.65-0.76	0.75-1.05	0.040	0.050	C1071
1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.040	0.050	C1074



## ACEROS DE ALEACIÓN

Número AISI	C	Mn	P Max.	S Max.	Si	Ni	Cr	Otros	Número SAE
1320	0.18-0.23	1.60-1.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	—	1320
1321	0.18-0.23	1.60-1.90	0.050	0.540	0.20-0.35	—	—	—	—
1330	0.28-0.33	1.60-1.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	—	1330
1335	0.33-0.38	1.60-1.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	—	1335
1340	0.38-0.43	1.60-1.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	—	1340
2317	0.15-0.20	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	—	2317
2330	0.28-0.33	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	—	2330
2335	0.33-0.38	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	—	—
2340	0.33-0.43	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	—	2340
2345	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	—	2345
E2512	0.09-0.14	0.40-0.60	0.025	0.025	0.20-0.35	4.75-5.25	—	—	2512
2512	0.12-0.1	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	4.75-5.25	—	—	2515
E2517	0.15-0.20	0.45-0.60	0.025	0.025	0.20-0.35	4.75-5.25	—	—	2517
3115	0.13-0.18	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.55-0.75	—	3115
3120	0.17-0.22	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.55-0.75	—	3120
3130	0.28-0.33	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.55-0.75	—	3130
3135	0.33-0.38	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.55-0.75	—	3135
3140	0.38-0.43	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.55-0.75	—	3140
3141	0.38-0.43	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.70-0.90	—	3141
3145	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.70-0.90	—	3145
3150	0.48-0.53	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.70-0.90	—	3150
E3310	0.08-0.13	0.50-0.60	0.025	0.025	0.20-0.35	3.25-3.75	1.40-1.75	—	3310
E3316	0.14-0.19	0.45-0.60	0.025	0.025	0.20-0.35	3.25-3.75	1.40-1.75	—	3316
								<b>Mo</b>	
4117	0.15-0.20	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4017
4023	0.20-0.25	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4023
4024	0.20-0.25	0.70-0.90	0.040	0.035-0.050	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4024
4027	0.25-0.30	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4027
4028	0.25-0.30	0.70-0.90	0.040	0.035-0.050	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4028
4032	0.30-0.35	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4032
4037	0.35-0.40	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4037
4042	0.40-0.45	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4042
4047	0.45-0.50	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4047
4053	0.50-0.56	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4053
4063	0.60-0.67	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4063
4068	0.63-0.70	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	468
—	0.17-0.22	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.40-0.60	0.20-0.30	4119
—	0.23-0.28	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.40-0.60	0.20-0.30	4125
4130	0.28-0.33	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	4130
E4132	0.30-0.35	0.40-0.60	0.025	0.025	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.18-0.25	—
E4135	0.33-0.38	0.70-0.90	0.025	0.025	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.18-0.25	—
4137	0.35-0.40	0.70-0.90	0.025	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	4137
E4137	0.35-0.40	0.70-0.90	0.025	0.025	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.18-0.25	—
4140	0.38-0.43	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.18-0.25	4140

## CURSO DE SOLDADURA

### ACEROS DE ALEACIÓN

Número AISI	C	Mn	P Max.	S Max.	Si	Ni	Cr	Otros	Número SAE
								<b>Mo</b>	
4142	0.40-0.45	0.75-1.001	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	
4145	0.43-0.48	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	4145
4147	0.45-0.50	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	—
4150	0.48-0.53	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	4150
4317	0.15-0.20	0.45-0.65	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30	4317
4320	0.17-0.22	0.45-0.65	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30	4320
4327	0.35-0.40	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	—
4340	0.38-0.43	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	4340
4608	0.06-0.11	0.25-0.45	0.040	0.040	0.20 Max	1.40-1.75	—	0.15-0.25	4608
4615	0.13-0.18	0.45-0.65	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	4615
—	0.15-0.20	0.45-0.65	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	4617
E4617	0.15-0.20	0.45-0.65	0.025	0.025	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.27	—
4620	0.17-0.22	0.45-0.65	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	4620
X4620	0.18-0.23	0.50-0.70	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30 X	4620
E4620	0.17-0.22	0.45-0.65	0.025	0.025	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.27	—
4621	0.18-0.23	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	4621
4640	0.38-0.43	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	4640
E4640	0.38-0.43	0.60-0.80	0.025	0.025	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.27	—
4812	0.10-0.15	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30	4812
4815	0.13-0.18	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30	4815
4817	0.15-0.20	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30	4817
4820	0.18-0.23	0.50-0.70	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30	4820
5045	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.55-0.75	—	5045
5046	0.43-0.58	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.55-0.75	—	5046
—	0.13-0.18	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	—	5115
5120	0.17-0.22	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	—	5120
5130	0.28-0.33	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	—	5130
5132	0.30-0.35	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.05	—	5132
5135	0.33-0.38	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.05	—	5135
5140	0.38-0.43	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	—	5140
5145	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	—	5145
5147	0.45-0.52	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.90-1.20	—	5147
5150	0.48-0.53	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	—	5150
5152	0.48-0.55	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.90-1.20	—	5152
E50100	0.95-1.10	0.25-0.45	0.025	0.025	0.20-0.35	—	0.40-0.60	—	50100
E51100	0.95-1.10	0.25-0.45	0.025	0.025	0.20-0.35	—	0.90-1.15	—	51100
E52100	0.95-1.10	0.25-0.45	0.025	0.025	0.20-0.35	—	1.30-1.60	—	52100
								<b>V</b>	
6120	0.17-0.22	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	0.10 Min	—
6145	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15 Min	—
6150	0.48-0.53	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15 Min	—
6152	0.48-0.55	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.10 Min	—

## ACEROS DE ALEACIÓN

Número AISI	C	Mn	P Max.	S Max.	Si	Ni	Cr	Mo	Número SAE
8615	0.15-0.18	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.50-0.60	0.15-0.25	8615
8617	0.15-0.20	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8617
8620	0.18-0.23	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8620
8622	0.20-0.25	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8622
8625	0.23-0.28	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8625
8627	0.25-0.30	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8627
8630	0.28-0.33	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8630
8632	0.30-0.35	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8632
8635	0.33-0.38	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8635
8637	0.35-0.40	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8637
8640	0.38-0.43	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8640
8641	0.38-0.43	0.75-1.00	0.040	0.040-0.60	0.20-0.35	0.40-0.87	0.40-0.60	0.15-0.25	8641
8642	0.40-0.45	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8642
8645	0.43-0.48	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8645
8647	0.45-0.50	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8417
8650	0.48-0.53	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8650
8653	0.50-0.56	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8653
8655	0.50-0.60	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8655
8660	0.50-0.65	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8660
8720	0.18-0.23	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8720
8735	0.33-0.38	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8735
8740	0.38-0.43	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8740
8742	0.48-0.45	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	—
8745	0.43-0.48	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8745
8747	0.45-0.50	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	—
8750	0.48-0.53	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8750
—	0.58-0.60	0.50-0.60	0.040	0.040	1.20-1.60	—	0.50-0.80	—	9254
9255	0.58-0.60	0.70-0.95	0.040	0.040	1.80-2.20	—	—	—	9255
9260	0.55-0.65	0.70-1.00	0.040	0.040	1.80-2.20	—	—	—	9260
9261	0.55-0.65	0.75-1.00	0.040	0.040	1.80-2.20	—	0.10-0.25	—	9261
9262	0.55-0.65	0.75-1.00	0.040	0.040	1.80-2.20	—	0.250-0.400	—	9262
E9310	0.08-0.13	0.45-0.65	0.025	0.025	0.20-0.35	3.00-3.50	1.00-1.40	0.80-0.15	9310
E9315	0.13-0.18	0.45-0.65	0.025	0.025	0.20-0.35	3.00-3.50	1.00-1.40	0.80-0.15	9315
E9317	0.15-0.20	0.45-0.65	0.025	0.025	0.20-0.35	3.00-3.50	1.00-1.40	0.80-0.15	9317
9437	0.35-0.40	0.90-1.20	0.040	0.040	0.20-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.80-0.15	9437
9440	0.38-0.43	0.90-1.20	0.040	0.040	0.20-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.80-0.15	9440
9442	0.40-0.45	1.00-1.30	0.040	0.040	0.20-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.80-0.15	9442
9445	0.43-0.48	1.00-1.30	0.040	0.040	0.20-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.80-0.15	9445
9447	0.45-0.50	0.50-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.10-0.25	0.15-0.25	9447
9763	0.60-0.67	0.50-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.10-0.25	0.15-0.25	9763
9840	0.38-0.43	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	9840
9845	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	9840
9850	0.48-0.53	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	9850

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS INOXIDABLES

AUSTENITICOS							
Tipo AISI	Carbono %	Manganeso Máximo %	Silicio Máximo %	Cromo %	Níquel Elementos %	Otros	
201	0.15 Max.	5.5/7.5	1.00	16.00/18.00	3.50/5.50	N <sub>2</sub> 0.25 Max. N <sub>2</sub> 0.25 Máx.	
202	0.15 Máx.	7.5/10.00	1.00	17.00/19.00	4.00/6.00		
301	0.15 Máx.	2.00	1.00	16.00/18.00	6.00/8.00	S 0.15 Min. Se 0.15 Min.	
302	0.15 Máx.	2.00	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00		
302B	0.15 Máx.	2.00	2.00/3.00	17.00/19.00	8.00/10.00		
303	0.15 Máx.	2.00	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00		
303Se	0.15 Máx.	2.00	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00		
304	0.08 Máx.	2.00	1.00	18.00/20.00	8.00/12.00		
304L	0.03 Máx.	2.00	1.00	18.00/20.00	8.00/12.00		
305	0.12 Máx.	2.00	1.00	17.00/19.00	10.00/13.00		
308	0.08 Máx.	2.00	1.00	19.00/21.00	10.00/12.00		
309	0.20 Máx.	2.00	1.00	22.00/24.00	12.00/15.00		
309S	0.08 Máx.	2.00	1.00	22.00/24.00	12.00/15.00		
310	0.25 Máx.	2.00	1.50	24.00/26.00	19.00/22.00		
310S	0.08 Máx.	2.00	1.50	24.00/26.00	19.00/22.00		
314	0.25 Máx.	2.00	1.50/3.00	23.00/26.00	19.00/22.00	Mo2.00/3.00 Mo2.00/3.00 Mo3.00/4.00 Ti5 x C Min. Cb +Ta10 C Min. Cb +Ta10 C Min.	
316	0.08 Máx.	2.00	1.00	16.00/18.00	10.00/14.00		
316L	0.03 Máx.	2.00	1.00	16.00/18.00	10.00/14.00		
317	0.08 Máx.	2.00	1.00	18.00/20.00	11.00/15.00		
321	0.08Máx.	2.00	1.00	17.00/19.00	9.00/12.00		
347	0.08 Máx.	2.00	1.00	17.00/19.00	9.00/13.00		
348	0.08 Máx.	2.00	1.00	17.00/19.00	9.00/13.00 Ta 0.10 Máx.		
MARTENSITICOS							
403	0.15 Máx.	1.00	0.50	11.50/13.00	1.25/2.50	Al 0.10/0.30	
405	0.08 Máx.	1.00	1.00	11.50/14.50			
410	0.15 Máx.	1.00	1.00	11.50/13.50			
414	0.15 Máx.	1.00	0.50	11.50/13.50			
416	0.15 Máx.	1.25	1.00	12.00/14.00			
416Se	0.15 Máx.	1.25	1.00	12.00/14.00	1.25/2.50	S 0.15 Min. Se 0.15 Min.	
420	Sobre 0.15	1.00	1.00	12.00/14.00			
431	0.20 Máx.	1.00	1.00	15.00/17.00			
440A	0.60/0.75	1.00	1.00	16.00/18.00			
440B	0.75/0.95	1.00	1.00	16.00/18.00			
440C	0.95/1.20	1.00	1.00	16.00/18.00	4.00/6.00	Mo 0.75 Máx. Mo 0.75 Máx. Mo 0.75 Máx.	
501	Sobre 0.10	1.00	1.00	4.00/6.00			
502	0.10 Máx.	1.00	1.00	4.00/6.00			
FERRITICOS							
405	0.08 Máx.	1.00	1.00	11.50/14.50		S 0.15 Min. Se 0.15 Min.	
430	0.12 Máx.	1.00	1.00	14.00/18.00			
430F	0.12 Máx.	1.25	1.00	14.00/18.00			
430FS	0.12 Máx.	1.25	1.00	4.00/18.00			
442	0.20 Máx.	1.00	1.00	18.00/23.00			
446	0.20 Máx.	1.50	1.00	23.00/27.00		N <sub>2</sub> 0.25 Máx.	

## **PRECALENTAMIENTO**

### **TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO PARA DIFERENTES ACEROS**

El precalentamiento de las piezas a reparar con soldadura resistente al desgaste puede ser necesario, para evitar grietas en el metal base, como también en el depósito.

La temperatura de precalentamiento para cada aleación está indicada en su descripción respectiva y dependerá del contenido de Carbono y elementos de aleación en el metal base. Cuanto más alto el contenido de Carbono, mayor debe ser la temperatura de precalentamiento.

Las temperaturas indicadas en esta tabla representan los valores mínimos para cada material, por lo que se recomienda usar siempre la temperatura más alta de las cifras indicada para el metal base y para el material de aporte.

<b>Aceros</b>	<b>Designación</b>	<b>% Carbono</b>	<b>Precalentamiento Recomendado</b>
ACEROS AL CARBONO	Aceros al Carbono	Bajo 0,20	Sobre 90°C
	Aceros al Carbono	0,20-0,30	90°C - 150°C
	Aceros al Carbono	0,30 - 0,45	150°C - 260°C
	Aceros al Carbono	0,45 - 0,80	260°C - 420°C
ACEROS CARBONO-MOLIBDENO	Aceros Carbono-Molibdeno	0,10 - 0,20	150°C - 260°C
	Aceros Carbono-Molibdeno	0,20 - 0,30	200°C - 320°C
	Aceros Carbono-Molibdeno	0,30 - 0,35	260°C - 420°C
ACEROS AL MANGANESO	Aceros al Mn Medio	0,20 - 0,25	150°C - 260°C
	SAET 1330	0,30	200°C - 320°C
	SAET 1340	0,40	260°C - 420°C
	SAET 1350	0,50	320°C - 480°C
	Ac. Mn. 12% (HADFELD)	1,25	No requiere
ACEROS DE ALTA RESISTENCIA	Acero Molibdeno-Manganeso	0,20	150°C - 260°C
	Acero T1	0,10 - 0,20	90°C - 200°C
	Aceros Alta Resistencia ARMCO	0,12 Máx.	Sobre 90°C
	Aceros Mayari R	0,12 Máx.	Sobre 150°C
	Aceros DUR-CAP	0,25 Máx.	90°C - 200°C
	Aceros YOLOY	0,05 - 0,35	90°C - 320°C
	Aceros Cr-Cu-Ni	0,12 Máx.	90°C - 200°C
	Aceros CROMO-MANGANESO	0,40	200°C - 320°C
	Aceros Hi	0,12 Máx.	90°C - 260°C

## CURSO DE SOLDADURA

Aceros	Designación	% Carbono	Precalentamiento Recomendado
ACEROS AL NIQUEL	SAE 2015 SAE 2115 Acero Níquel 2 1/2% SAE 2315 SAE 2330 SAE 2340	0,10—0,20 0,10—0,20 0,10—0,20 0,15 0,20 0,30	Sobre 150°C 90°C - 150°C 90°C - 200°C 90°C - 260°C 90°C - 260°C 150°C - 320°C
ACEROS CROMO-NIQUEL	SAE 3115 SAE 3125 SAE 3130 SAE 3140 SAE 3150 SAE 3215 SAE 3230 SAE 3240 SAE 3250 SAE 3315 SAE 3325 SAE 3435 SAE 3450	0,15 0,25 0,30 0,40 0,50 0,15 0,30 0,40 0,50 0,15 0,25 0,35 0,50	90°C - 200°C 150°C - 260°C 200°C - 370°C 260°C - 430°C 320°C - 480°C 150°C - 260°C 260°C - 370°C 370°C - 540°C 480°C - 600°C 260°C - 370°C 480°C - 600°C 480°C - 600°C 480°C - 600°C
ACEROS AL MOLIBDENO	SAE 4140 SAE 4340 SAE 4615 SAE 4630 SAE 4640 SAE 4820	0,40 0,40 0,15 0,30 0,40 0,20	320°C - 430°C 370°C - 480°C 200°C - 320°C 260°C - 370°C 320°C - 430°C 320°C - 430°C
ACEROS CROMO-MOLIBDENO	Aceros 2% Cr - 1/2% Mo Aceros 2% Cr - 1/2% Mo Aceros 2% Cr - 1% Mo Aceros 2% Cr - 1% Mo Aceros 5% Cr - 1/2% Mo Aceros 5% Cr - 1/2% Mo	Sobre 0,15 0,15 - 0,25 Sobre 0,15 0,15 - 0,25 Sobre 0,15 0,15 - 0,25	200°C - 320°C 260°C - 430°C 260°C - 370°C 320°C - 430°C 260°C - 430°C 320°C - 480°C
ACEROS AL CROMO	12 - 14% Cr tipo 410 16 - 18% Cr tipo 430 23 - 30% Cr tipo 446	0,10 0,10 0,10	150°C - 260°C 150°C - 260°C 150°C - 260°C
ACEROS INOXIDABLES CROMO - NIQUEL	18% Cr - 8% Ni tipo 304 25 - 12 tipo 309 25 - 20 tipo 310 18 - 8 Cb tipo 347 18 - 9 Mo tipo 316 18 - 8 Mo tipo 317	0,07 0,07 0,10 0,07 0,07 0,07	Estos aceros no requieren de precalentamiento



## DUREZA

## TABLA COMPARATIVA DE DUREZA

Brinell	Vickers	Rockwell C	Rockwell B	Resistencia a la tracción x 1000 psi	Brinell	Vickers	Rockwell C	Rockwell B	Resistencia a la tracción x 1000 psi
898				440	223	223	20	97	110
857				420	217	217	18	96	107
817				401	212	212	17	96	104
780	1150	70		384	207	207	16	95	101
745	1050	68		368	202	202	15	94	99
712	960	66		352	197	197	13	93	97
682	885	64		337	192	192	12	92	95
653	820	62		324	187	187	10	91	93
627	765	60		311	183	183	9	90	91
601	717	58		298	179	179	8	89	89
578	675	57		287	174	174	7	88	87
555	633	55	120	276	170	170	6	87	85
534	598	53	119	266	166	166	4	86	83
514	567	52	119	256	163	163	3	85	82
495	540	50	117	247	159	159	2	84	80
477	515	49	117	238	156	156	1	83	78
461	494	47	116	229	153	153		82	76
444	472	46	115	220	149	149		81	75
429	454	45	115	212	146	146		80	74
415	437	44	114	204	143	143		79	72
401	420	42	113	196	140	140		78	71
388	404	41	112	189	137	137		77	70
375	389	40	112	182	134	134		76	68
363	375	38	110	176	131	131		74	66
352	363	37	110	170	128	128		73	65
341	350	36	109	165	126	126		72	64
331	339	35	109	160	124	124		71	63
321	327	34	108	155	121	121		70	62
311	316	33	108	150	118	118		69	61
302	305	32	107	146	116	116		68	60
293	296	31	106	142	114	114		67	59
285	287	30	105	138	112	112		66	58
277	279	29	104	134	109	109		65	56
269	270	28	104	131	107	107		64	56
262	263	26	103	128	105	105		62	54
255	256	25	102	125	103	103		61	53
248	248	24	102	122	101	101		60	52
241	241	23	100	119	99	99		59	51
235	235	22	99	116	97	97		57	50
229	229	21	98	113	95	95		56	49

## TEMPERATURAS DE TEMPLE INDICADAS POR EL COLOR DEL ACERO

Grados centígrados	Grados Fahrenheit	Color del acero
221.1	430	Amarillo muy pálido
226.7	440	Amarillo claro
232.2	450	Paja pálido
237.8	460	Paja intenso
243.3	470	Paja muy intenso
248.9	480	Amarillo oscuro
254.4	490	Amarillo castaño
260.0	500	Castaño amarillo
265.6	510	Rojo castaño moteado
271.1	520	Castaño púrpura
276.7	530	Púrpura claro
282.2	540	Púrpura
287.8	550	Púrpura oscuro
293.3	560	Azul
298.9	570	Azul oscuro
337.8	640	Azul claro
400	752	Rojo, visible en la oscuridad.
474	885	Rojo, visible entre dos luces.
525	975	Rojo, visible en luz de día.
581	1077	Rojo visible al sol.
700	1292	Rojo oscuro.
800	1472	Cereza oscuro.
900	1652	Cereza.
1000	1832	Cereza brillante.
1100	2092	Rojo anaranjado.
1200	2192	Amarillo anaranjado.
1300	2372	Blanco amarillento.
1400	2552	
1500	2732	Blanco brillante.
1600	2912	Blanco deslumbrante (blanco azulado).



# ACERO INOXIDABLE

## INTRODUCCIÓN

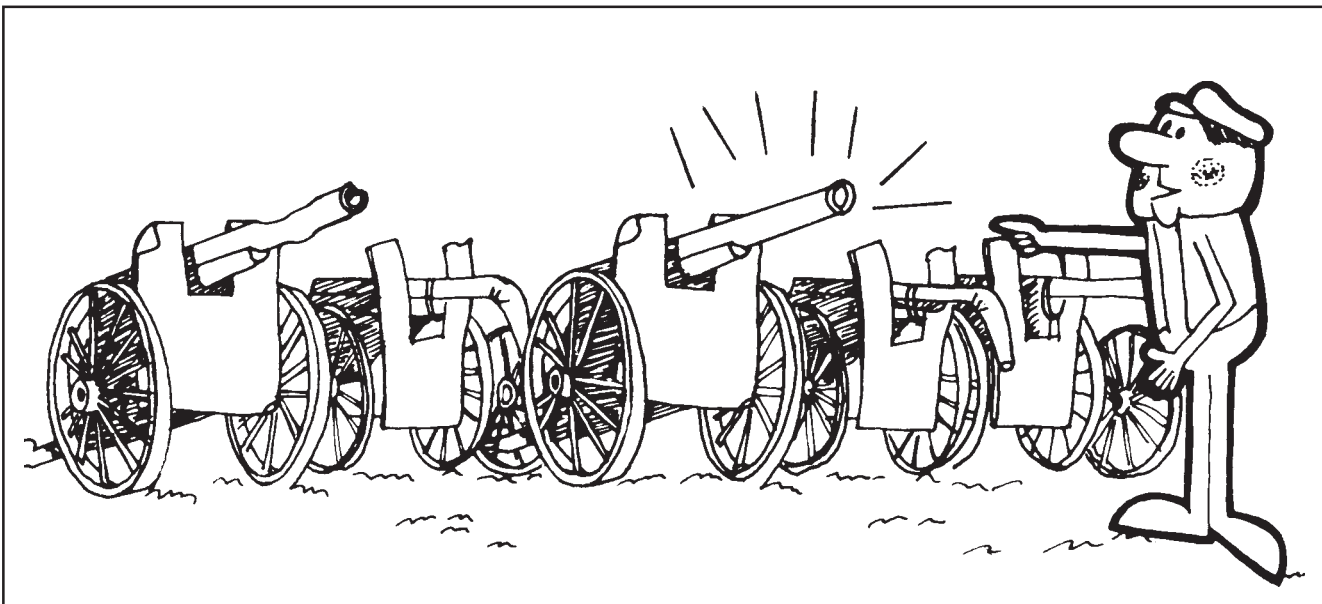
### EL ORIGEN DEL ACERO INOXIDABLE

Existen muchas versiones diferentes sobre el origen del acero inoxidable. Una de las más dignas de crédito, afirma que un comerciante francés de chatarra se dio cuenta de que el tubo de un cañón permanecía brillante y limpio entre un montón de viejos y oxidados cañones de la Primera Guerra Mundial. Aparentemente no había sido afectado por el tiempo y la intemperie. Las investigaciones revelaron que se había agregado una cantidad excesiva de cromo al acero básico durante la fabricación de ese cañón en especial. Así, el acero inoxidable,

cuna de las aleaciones más importantes que conoce el hombre, fue descubierto casi por casualidad. Al principio se le llamó «acero sin herrumbre»

En la actualidad existen más de 30 tipos estándar de aceros inoxidables, además de incontables aleaciones especiales. La comprensión del procedimiento para soldar el inoxidable, así como también los tipos de metal de aporte que se deben usar, requerirá de un conocimiento básico de las estructuras y propiedades de los METALES INOXIDABLES

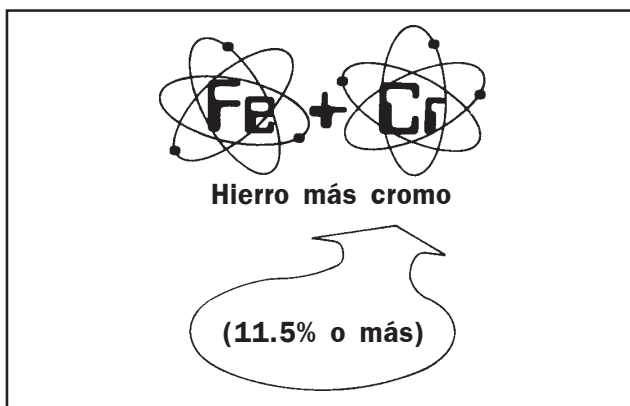
Esta primera sección tratará acerca de los **METALES BASE** y de la pregunta primaria **¿QUÉ ES UN ACERO INOXIDABLE?**



## CONOCIMIENTOS GENERALES DEL ACERO INOXIDABLE

### ¿QUÉ ES UN ACERO INOXIDABLE?

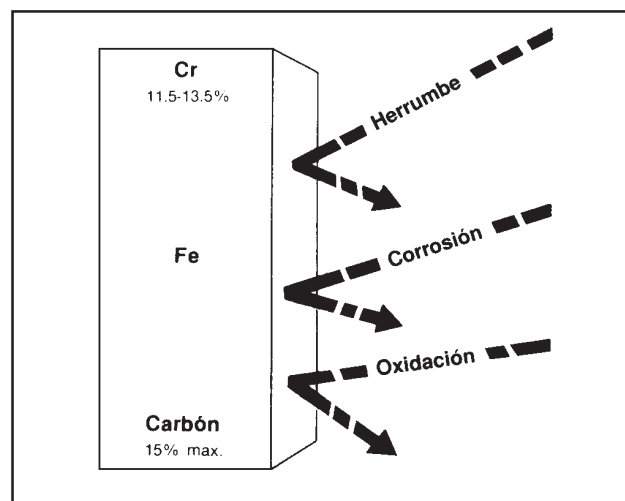
Simplemente es una aleación compuesta por hierro (Fe) y cromo (Cr). El hierro es el elemento fundamental de todos los aceros inoxidable. Sin embargo, para hacer que el hierro sea «inoxidable», el contenido de cromo en solución debe ser por lo menos de un 11,5%. Se agregan otros elementos para proporcionar ciertas propiedades, de lo cual nos ocuparemos después. Mientras que se emplea casi nueve veces más hierro que cromo, debemos considerar que el cromo es el elemento aleante indispensable, tanto en los aceros inoxidables de la serie 300 como en los de la 400, donde las propiedades de «resistencia a la corrosión» de gran importancia.



### ¿CUÁL ES EL EFECTO DEL CROMO?

Cuando se agrega al hierro cantidades de cromo iguales o mayores a 11,5% se forma espontánea-

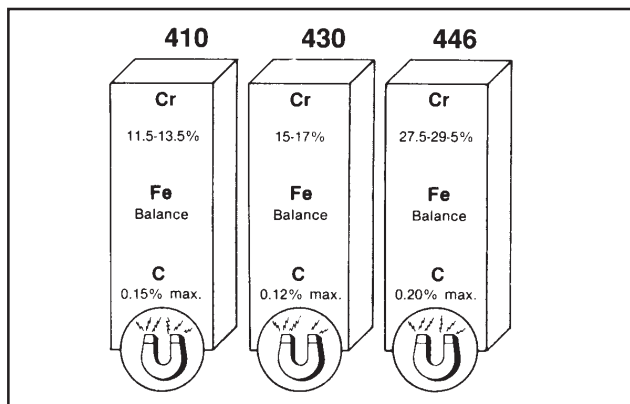
mente en las superficies expuestas al aire una delgada, plateada y altamente adherente capa de óxido de cromo. Esta fina película actúa como una barrera para retardar una futura oxidación o corrosión. El acero no puede oxidarse y por ello su nombre es ACERO INOXIDABLE



### ¿QUÉ SON LOS ACEROS INOXIDABLES DE CROMO DIRECTO?

Existen cerca de 15 tipos de acero inoxidable compuestos casi exclusivamente de cromo, hierro y cantidades controladas de carbono. Estos son los que se conocen como la «serie 400». A pesar de que usualmente se los conoce como Aceros Inoxidables tipo «CROMO DIRECTO», se pueden agregar pequeñas cantidades de otro elemento para proporcionar dureza, resistencia, facilidad de maquinado, etc. Los tres tipos que se muestran aquí, 410, 430 y 446, se usan mucho en toda la

industria. En lo que respecta a la aleación, la única diferencia entre ellos consiste en la cantidad de cromo que se ha agregado al hierro, que va del 11,5% al 29%. **Los aceros inoxidable de la serie 400 son altamente magnéticos.**



## ¿CUÁLES SON LOS USOS COMUNES DE LA SERIE 400?

Los aceros inoxidable de la serie 400 se usan para fabricar productos tales como hojas de rasurar, cuchillería, asientos para válvulas, bombas, compuertas de presas, componentes de motores jet y muchos otros productos de uso común.



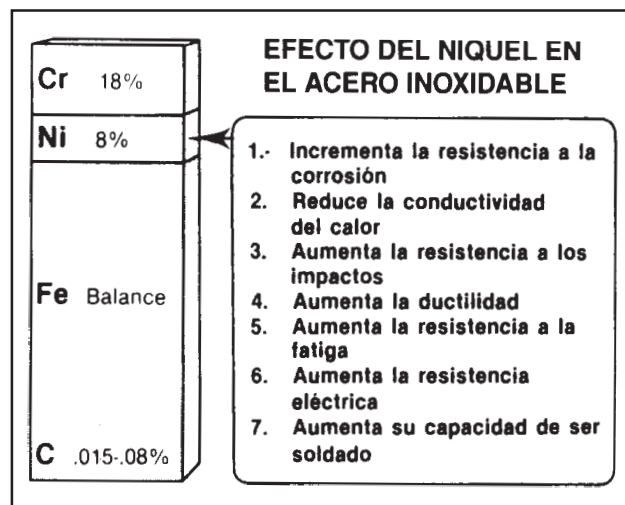
## ¿QUÉ SON LOS ACEROS INOXIDABLES AL CROMO NÍQUEL?

La adición de níquel a la aleación básica de hierro/cromo da como resultado los aceros inoxidable de la serie 300, comúnmente conocidos como tipos «cromo níquel».

Originalmente, las composiciones de cromo y níquel se componían de 18% de Cr y 8% de Ni - de aquí el término tan usado de «inoxidable» 18/8. Las modificaciones del 18/8 original (308) se designaron como «18/8 Cb (347), 18/8 Mo (316), y 18/8 Ti (321)». Todos ellos fueron conocidos como el «Grupo 18/8».

Dos puntos que se deben recordar a propósito de los metales base de la serie 300: Todos ellos contienen níquel y, al revés de la serie 400, son **no-magnéticos**.

Números AISI comunes dentro de la serie 300: 301, 302, 302B, 303, 303SE, 304, 305, 308, 309, 310, 312, 316, 317, 321, 347, 304L, 308L, 316L.



## EL CARBONO ES CON FRECUENCIA EL VILLANO EN EL GRUPO 18/8.

Para bien o para mal, los metales base de la serie 300 también contienen carbono. En la mayoría de los casos particularmente en el grupo. 18/8 donde la soldadura es necesaria, el carbono es un elemento indeseable que debe ser minimizado o controlado por medio de estabilizadores. Es importante entender la reacción del carbono cuando se somete a los metales tipo 18/8 al calor de la soldadura.



## LA PRECIPITACIÓN DE CARBUROS DE CROMO - ¡UN INDESEABLE!

Es la causa más común de corrosión en el área de soldadura.

Bajo ciertas condiciones el carbono se combina con el cromo, formando carburos que no tienen ninguna resistencia a la corrosión.

Esta reacción química se conoce generalmente como la «Precipitación de Carburos de Cromo».

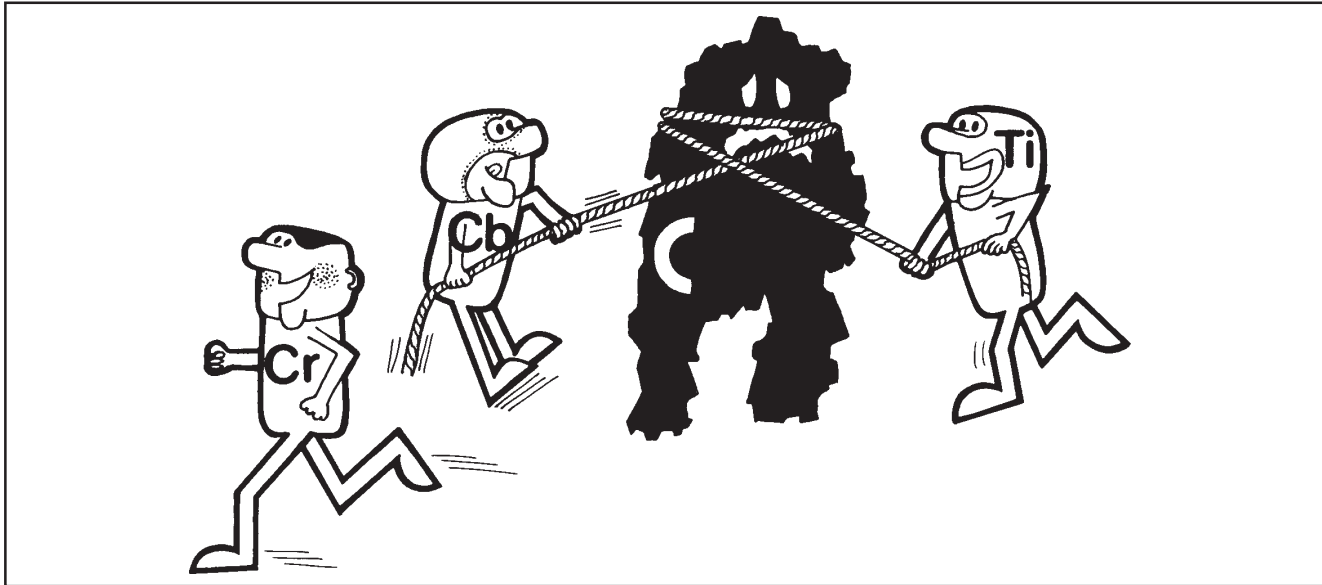
Los carburos de cromo se forman cuando el acero pasa lentamente a través de temperaturas de 426°C a 871°C, tal como puede ocurrir durante la soldadura. Bajo estas condiciones el carbono inhibe la acción del cromo y las zonas alrededor del carburo de cromo quedan susceptibles a la corrosión. Ello ocurre en el metal base adyacente a la soldadura. **Usualmente, la soldadura en sí no resulta afectada.**



## ¿CÓMO SE IMPIDE LA PRECIPITACIÓN DE CARBUROS?

### CUATRO RESPUESTAS:

- 1) Limite el nivel de carbono a 0,03% o menos en los metales bases, lo que es suficientemente bajo para minimizar la formación del perjudicial carburo de cromo. Los aceros inoxidables con niveles máximos de carbono del 0,03% son conocidos comúnmente como tipo ELC (Carbono Extra Bajo) o tipo L (Bajo).

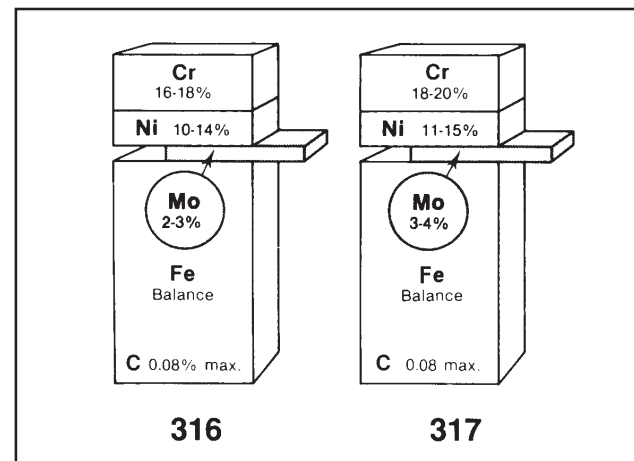


2) Agregue cualquiera de los elementos. Cumbio (Cb) o Titanio (Ti), llamados estabilizadores. Estos dos elementos se combinan preferentemente con el carbono para formar inofensivos carburos de Cumbio o de Titanio. Estos carburos no afectan la resistencia da la corrosión y dejan al cromo libre para realizar su labor. Los metales estabilizadores son llamados tipos 347 (Cb) y 321 (Ti).

3) La precipitación del carburo puede controlarse, también hasta cierto punto, usando electrodos de menor diámetro, menor temperatura y, si es posible, enfriando después de cada pasada para reducir el tiempo en que la zona afectada por el calor permanece entre los 426°C y los 871°C.

4) Otra práctica común utilizada en los trabajos de fundición, es calentar toda la soldadura hasta los 1.150°C y luego enfriar rápidamente en agua.

comunes que contienen molibdeno son el 316 y 317. He aquí lo que hace la adición de Molibdeno:



1.- Aumenta la resistencia al creep\* a elevadas temperaturas.

2.- Aumenta la resistencia a las picaduras en aplicaciones expuestas a la corrosión. Las picaduras pueden ocurrir en el tipo 304 cuando ciertos líquidos corrosivos (como el agua de mar) suben y bajan alternativamente humedeciendo y exponiendo la superficie al aire.

## ¿CUÁL ES EL EFECTO DEL MOLIBDENO?

El Molibdeno es otro elemento de aleación que se usa para mejorar las cualidades del acero inoxidable. Dos de los tipos de acero inoxidable más

*\*Creep: Resistencia al flujo o deformación plástica de los metales mantenidos por largos períodos de tiempo a cargas menores que la resistencia a la fluencia normal. Factores que incluyen además de la carga son el tiempo y la temperatura.*

## NO TODOS LOS DE LA SERIA 300 SON INOXIDABLES DE BAJO CARBONO.

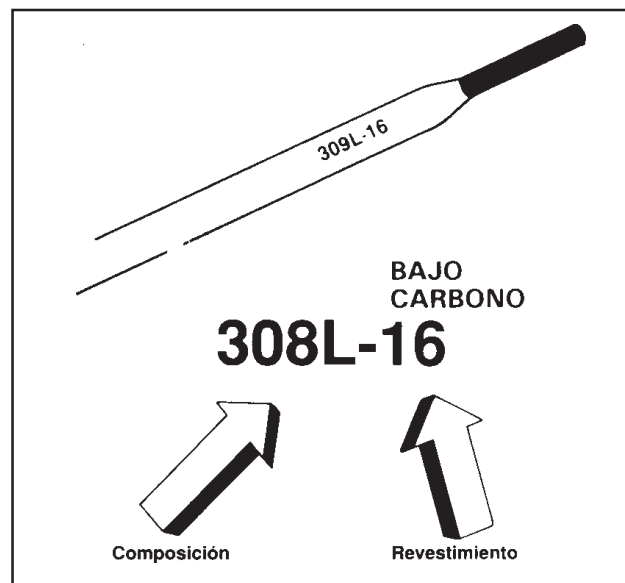
En los aceros inoxidable tipo 18/8 es importante mantener bajos los porcentajes de carbono a fin de mejorar su resistencia a la corrosión. En cambio existen otros grados dentro de la serie 300 que tienen cantidades significativamente más altas de carbono y de cromo. Estos incluyen los metales base 309 y 310, así como el tipo 312 que se encuentra principalmente en piezas fundidas. En estos casos el contenido más alto de carbono es beneficioso, porque mejora las propiedades mecánicas a temperaturas muy altas y el mayor contenido de cromo mejora la resistencia a la formación de escamas a altas temperaturas. Los tipos 309HC y 310HC en versiones de fundición con carbono entre 0,25% y 0,45%, encuentran muchas aplicaciones en tuberías para refrigerantes de sistemas nucleares, para uso en hornos de cemento, componentes de hornos, etc.

<b>Cr</b> 22-24% <b>Ni</b> 12-14% <b>Fe</b> Balance <b>C</b> 0.20% <b>309</b>	<b>Cr</b> 24-26% <b>Ni</b> 19-22% <b>Fe</b> Balance <b>C</b> 0.25% <b>310</b>	<b>Cr</b> 29% <b>Ni</b> 9% <b>Fe</b> Balance <b>C</b> 0.30% <b>312</b>
--	--	---

## CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE

La American Welding Society o AWS, ha establecido un número de sistemas que incorporan la designación de series inoxidables que se usa como un método normal para identificar los electrodos inoxidables. Los tres primeros dígitos indican la

composición del electrodo y los dos últimos, separados por un guión indican el tipo de revestimiento. En los casos en que aparezca la letra «L», indica bajo contenido de carbono en el depósito.



## DESIGNACIÓN DE LOS REVESTIMIENTOS:

Los dos número finales que indican el tipo de revestimiento, determinan automáticamente el tipo de corriente que se debe usar y las posiciones de soldadura.

Clasificación AWS	Tipo Corriente	Posición de Soldadura
EXXX(X)-15	DC (+)	Todas
EXXX(X)-25	DC (+)	Horizontal, Filete
EXXX(X)-16	DC (+), AC	Todas
EXXX(X)-17	DC (+), AC	Todas
EXXX(X)-26	DC (+), AC	Horizontal, Filete

# LA SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE

Desde el punto de vista metalúrgico, los aceros inoxidable están agrupados dentro de tres tipos básicos de acuerdo a su microestructura: Martensíticos, Ferríticos y Austeníticos.

## MARTENSITICOS:

Estos aceros contienen entre 11,5% y 18% de cromo, como su principal elemento de aleación. Algunos ejemplos de este grupo son los aceros martensíticos AISI 410, 416, 420, 431, 501, 502.

En la soldadura de los aceros martensíticos (aceros autotemplables), se pueden producir tensiones y por consiguiente grietas, si no se adoptan las precauciones convenientes.

Siempre que sea posible se deben emplear como metal de aporte aleaciones austeníticas (Ej. AISI 309-310-312) con el fin de absorber las tensiones en las zonas cercanas al cordón y así evitar grietas. Cuando se usan electrodos inoxidables martensíticos, es conveniente precalentar entre 300-350°C las piezas que van a ser soldadas.

Después de la soldadura y una vez enfriadas las piezas, se recomienda un revenido\* entre 600 a 700°C.

La resistencia óptima a la corrosión de estos aceros se obtiene efectuando tratamientos térmicos de temple y revenido a las temperaturas requeridas; sin embargo, esta resistencia a la corrosión no es tan buena como los aceros austeníticos o ferríticos.

Su campo de acción está en piezas que están sometidas a corrosión y que requieren de cierta resistencia mecánica. Se utilizan generalmente en aletas para turbinas, rodetes de turbinas hidráulicas, fundiciones resistentes a la corrosión, cuchillería, piezas de válvulas, etc.

## FERRITICOS:

Los aceros inoxidables ferríticos, contienen entre 17% y 27% de cromo. Ejemplos de éstos son los aceros AISI, 405, 430, 422, 446.

Estos aceros no se endurecen por tratamiento térmico sino sólo moderadamente mediante trabajo en frío. Son magnéticos al igual que los martensíticos. Pueden trabajarse en frío o en caliente, pero alcanzan su máxima suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión en la condición de recocido.

En los aceros ferríticos con un contenido alto de cromo, existe el peligro de la formación de la fase sigma (dura y frágil) cuando se les mantiene durante mucho tiempo a temperaturas cercanas a 470°C. Por otro lado, los aceros ferríticos son muy propensos al crecimiento del grano, (850°C - 900°C), inconvenientes para la soldadura. Si las piezas a soldar son de dimensiones considerables, se recomienda post-calentar las piezas entre 700°C a 850°C, seguido de un enfriamiento rápido.

Con los aceros ferríticos se pueden deformar fácilmente en frío, se utilizan mucho para estampados profundos de piezas, como recipientes para industrias químicas y alimenticias, y para adornos arquitectónicos o automotrices.

## AUSTENITICOS:

Estos son los aceros inoxidables al cromo - níquel (típico 3XX) y al cromo-níquel-manganeso (tipo 2XX). Son esencialmente no magnéticos en la con-

---

**\*Revenido:** Tratamiento térmico que consiste en recalentar un material endurecido por temple a una temperatura bajo el rango de transformación, seguido por un enfriamiento controlado. El propósito del revenido es liberar los esfuerzos residuales y mejorar la ductilidad y tenacidad del acero.



dición de recocido y no endurecen por tratamiento térmico. El contenido total de níquel y cromo es de por lo menos 23%. Se pueden trabajar fácilmente en caliente o en frío. El trabajo en frío les imparte una amplia variedad de propiedades mecánicas y, en esta condición, el acero puede llegar a ser ligeramente magnético. Son muy resistentes al impacto y difíciles de maquinar. De todos los aceros inoxidable, éstos son los que tienen la mejor resistencia a elevadas temperaturas y a la formación de escamas. Su resistencia a la corrosión suele ser mejor que la de los aceros martensíticos o ferríticos.

Tal como se indicó anteriormente, el mayor inconveniente que presenta la soldadura de los aceros austeníticos es la precipitación de carburos que se puede producir en las zonas cercanas al cordón de soldadura. Con ello los aceros quedan sensibilizados a la corrosión intergranular. Para evitar esta precipitación se deben soldar las piezas sin precalentamiento y con el menor aporte de calor posible. Otra posibilidad es emplear aceros inoxidable austeníticos con porcentajes de carbono menor a 0,03% o aceros austeníticos estabilizados con titanio, niobio, columbio o tántalo.

Debido a que el acero inoxidable se expande un 50% más que el acero dulce y su conducción de calor es muy inferior, éste tiende a combarse o torcerse al ser soldado. Para evitar tal inconveniente se debe emplear la corriente de soldadura más baja posible o soldar a mayor velocidad. El uso de un respaldo de cobre ayudará mucho a disipar el calor y evitar las distorsiones.

A continuación se detalla una lista de las principales recomendaciones para la soldadura de estos aceros:

- 1) Usar electrodos con porcentajes extra bajos en carbono (0,03%).
- 2) Limpiar cuidadosamente el área y las piezas a soldar para prevenir la inclusión de partículas de carbono en la soldadura. Limpie las inclusiones de carbono en el cordón, después de cada pasada.
- 3) Use electrodos de acero inoxidable que han sido adecuadamente almacenados. La absor-

ción de humedad por el recubrimiento del electrodo puede provocar porosidad y grietas en el cordón de soldadura.

- 4) Usar el menor diámetro posible de electrodo para mantener al mínimo el aporte de calor.
- 5) Evitar excesivo zigzagado haciendo cordones delgados para obtener mejor calidad de soldadura y prevenir sobrecalentamientos.
- 6) Mantener el arco corto para mejor control direccional y evitar pérdidas de elementos de aleación. Un arco largo puede quemar el cromo y reducir así la resistencia a la corrosión.
- 7) Evitar calor excesivo. Usar el amperaje recomendado para el diámetro correspondiente al electrodo.
- 8) En aceros no estabilizados minimizar el tiempo en que la temperatura de soldadura está en el rango 400 - 900°C. Si existen precipitación de carburos, efectuar tratamiento térmico a temperaturas entre 1050°C y 1100°C para redissolverlos y después enfriar rápidamente en agua.

## SELECCIÓN DE ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE

### ¿CUÁL ES EL EFECTO DE LA FERRITA?

La mayoría de los depósitos de soldadura de acero inoxidable austenítico, contienen entre 3% y 20% Ferrita. Se ha comprobado que con estos porcentajes se inhibe la posibilidad de agrietamiento en caliente. La Ferrita es una forma magnética de hierro que se presenta cuando el hierro, el cromo, el níquel, el carbono, el molibdeno, el silicio, etc. están en cierto balance.

El contenido real de Ferrita se puede determinar mediante el uso de instrumentos de laboratorio,



sensibles al magnetismo o bien mediante el uso del llamado «Diagrama de Schaeffler». Este diagrama es una forma práctica y conveniente para estimar el contenido de Ferrita en los depósitos de soldadura. Los fabricantes y los usuarios lo utilizan como una guía para establecer el balance adecuado de los elementos de aleación y con ello controlar el contenido de Ferrita en el depósito. El hecho es que existen algunos elementos de aleación que favorecen la formación de la Ferrita (alfagenos), y otras, el de la Austenita (Gamagenos). El diagrama simplemente compara la influencia de unos con otros. Dado que no todos los elementos tienen la misma influencia se aplica un factor a cada uno de ellos y el resultado se traduce en el cromo equivalente (Alfagenos) y el Níquel equivalente (Gamagenos). Las técnicas de soldadura pueden jugar un papel importante en el contenido uniforme de Ferrita. Mientras que un 10% de Ferrita puede ser considerado normal para un cordón en particular, un arco demasiado largo al inicio o al final del cordón puede resultar en 0% en esos puntos, haciéndolos vulnerables a las grietas.

## USO DEL DIAGRAMA DE SCHAEFFLER EN LA SELECCIÓN DE ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLES

Uno de los usos principales del Diagrama de Schaeffler es el de predecir la estructura del metal depositado obtenido en la unión de aceros inoxidable entre sí, uniones disímiles (acero inoxidable con acero carbono), etc. La idea es seleccionar un electrodo de tal forma que la estructura del metal depositado esté dentro de la zona N°5 del diagrama I. Con ello, nos aseguramos de que la unión es óptima respecto a sollicitaciones mecánicas.

Para el empleo práctico del diagrama se debe comenzar por calcular el Cromo y el Níquel equivalente, tanto del electrodo como del o los materiales base. Esto se consigue con la ayuda de las fórmulas que se indican a continuación, cuyos resultados se grafican posteriormente en el diagrama I.

### CROMO EQUIVALENTE

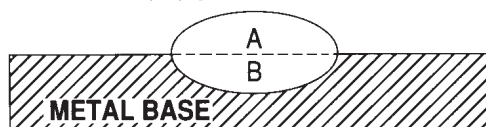
$$\% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 1,5 \times \% \text{ Si} + 0,5 \times \% \text{ Nb}$$

### NÍQUEL EQUIVALENTE

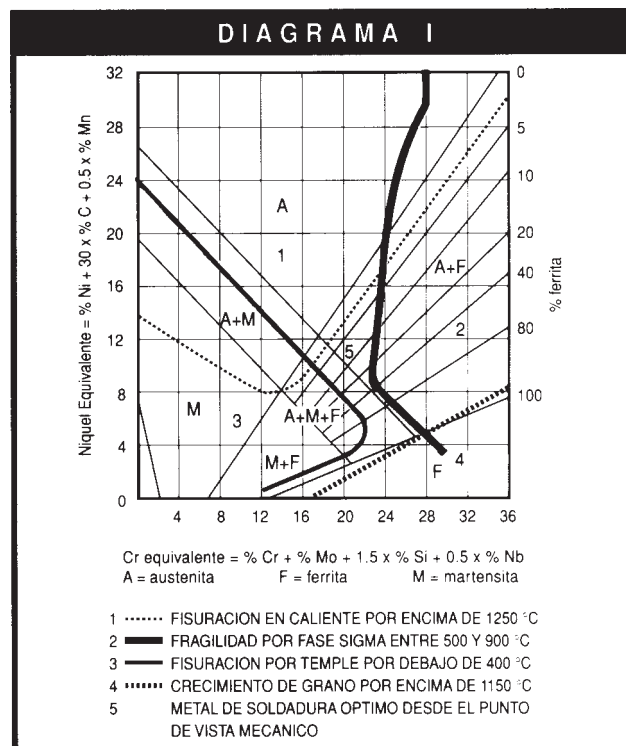
$$\% \text{ Ni} + 30 \times \% \text{ C} + 0,5 \times \% \text{ Mn}$$

Quando se trata de unir materiales de la misma composición química, el punto correspondiente al metal depositado se ubicara en la recta trazada entre los puntos pertenecientes al metal base y el electrodo. El lugar específico dependerá del grado de dilución con que se trabaje. Un valor típico para el proceso arco manual es de 30%:

$$\% \text{ DILUCION} = \frac{B}{A+B} \times 100$$



En el caso de unir materiales disímiles se grafican los puntos correspondientes al Cromo y Níquel equivalente de ambos materiales base. Se obtiene el punto medio de la recta trazada entre ambos puntos (siempre y cuando) ambos materiales participen en la misma proporción).

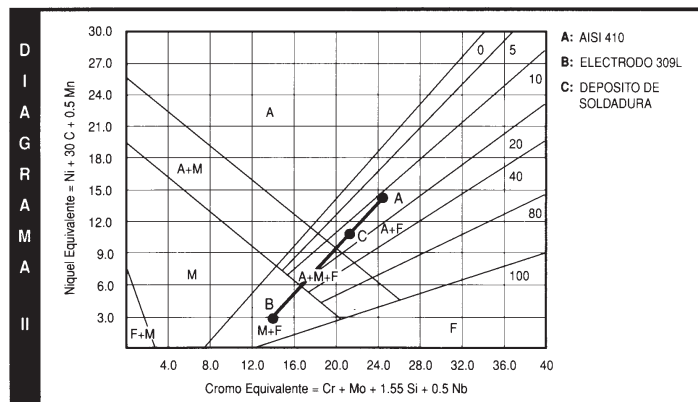


Después se une este punto con el punto correspondiente al electrodo. La composición del material depositado se encontrará dentro de esta recta y su ubicación específica dependerá del porcentaje de dilución (30% para arco manual).

## EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE SHCAFFLER

### 1) Unión de acero AISI 410 con electrodo austenítico (Diagrama III)

Queremos soldar un acero AISI 410 (13% Cr - 0,8% Mn - 0,5% Si y 0,08% C) con un electrodo 309L (23,5% Cr - 13,0% Ni - 0,65% Mn - 0,6% Si y 0,03% C) y suponemos una dilución del 30% (el metal base colabora con 30% de la unión y el electrodo con el 70%).



### ¿Cuál es la composición del cordón resultante?

Representamos la chapa 410 por el punto B (cromo equivalente 13,8%, Ni equivalente 2,8%) y el electrodo 309L por el punto A (Cromo equivalente 24,4 Ni equivalente 14,2). Cualquier metal que resulte de la mezcla A y B estará en la recta que los une. Dado que hemos supuesto que la dilución es del 30%, el punto C será el resultante del cordón depositado y tendrá un 13,1% de Ferrita. Por tanto es posible esta sol-

dadura sin peligro de fisuración en caliente.

### 2) UNIÓN ACERO CARBONO - ACERO INOXIDABLE (DIAGRAMA III)

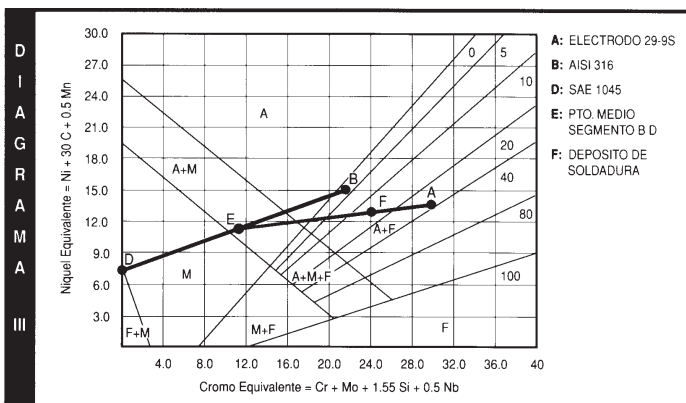
Supongamos que debemos soldar un acero SAE 1045 (0,45% C - 0,8% Mn) con un acero AISI 316 (18,7% Cr - 12% Ni - 2,5% Mo - 2,0 % Mn - 0,5% Si - 0,07% C) empleando un electrodo INDURA 29,9s (29,2% Cr - 10,6 % Ni - 0,57% Mn - 1,0% Si - 0,09% C)

### ¿Cuál es la composición del cordón resultante?

En el caso de los aceros al carbono, se deben considerar un 50% de descarbonización al soldar; por lo que en la fórmula del níquel equivalente se debe reemplazar el coeficiente correspondiente al carbono por el valor  $15 \times \% C$ .

De esta forma tenemos que para el acero SAE 1045 el cromo equivalente es igual a cero y el níquel equivalente igual a 7,15%, punto D. En el caso de la chapa AISI 316, tenemos cromo equivalente 22% y níquel equivalente 15,1%, punto B.

Para el electrodo INDURA 29-9S el cromo equivalente es 30,1 y el níquel equivalente de 13,6 punto A. Suponemos que ambas chapas (SAE 1045 y 316) participan por igual en la soldadura y que la dilución es del 30%. El punto E es resultante de ambas chapas y el punto F el resultante de aplicar el 30% de dilución al segmento AE. Por lo tanto, el cordón resultante tendrá un 15% de Ferrita y también es posible esta soldadura sin peligro de fisuración en caliente.



## ALGUNOS CONSEJOS PRACTICOS SOBRE LA SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE:

La limpieza superficial del trabajo es necesaria para obtener una soldadura sana y sin poros. Se debe quitar toda la suciedad, grasa y materiales extraños por medio de limpiadores, desengrasantes, maquinado o esmerilado. Se deben usar sólo cepillos de acero inoxidable para evitar la contaminación. El biselado con plasma o el corte con electrodo dejan, por lo general, una capa de óxido que debe ser retirada antes de soldar.

### **Para soldaduras planas:**

El electrodo debe sostenerse a un ángulo de 15° con el extremo superior inclinado en el sentido del avance. Se debe mantener un arco tan corto como sea posible.

### **Para soldaduras verticales:**

El electrodo se mantendrá perpendicular a la placa, usando una ligera oscilación en el cordón de raíz.

### **Para soldadura sobre cabeza:**

El depósito se debe hacer con cordones rectos y un arco corto. Se debe evitar la oscilación.

### **Para mayor resistencia a la corrosión:**

Los depósitos de soldadura inoxidable se deben hacer con el mínimo amperaje que sea práctico y con cordones rectos en vez de cordones oscilados. Los cordones rectos minimizan la entrada de calor y reducen la tendencia al agrietamiento de las uniones soldadas. Si fuera necesario usar cordones oscilados, debe limitarse a 2 1/2 veces el diámetro del electrodo. Llenar siempre los cráteres de las soldaduras inoxidables, antes de romper el arco.

### **Un amperaje demasiado alto:**

Y/o un arco demasiado largo, pueden producir graves salpicaduras, grietas en la soldadura, socavación, mal control del cordón, difícil remoción de la escoria y pérdida de la resistencia de la corrosión.

### **Un amperaje demasiado bajo:**

Puede dar como resultado un arco inestable, al mismo tiempo se pega el electrodo, interferencia de la escoria en el arco, demasiadas salpicaduras y mal aspecto del cordón.

### **Dificultad para remover la escoria:**

Puede ser ocasionada también por contaminantes en las piezas, soldaduras desparejas y mal realizadas, humedad absorbida por el revestimiento y por uniones demasiado estrechas que no permiten que la escoria se expanda cuando se la golpea. A todas las soldaduras de les debe permitir que enfríen algo, antes de tratar de quitar la escoria.

### **Grietas en soldadura inoxidables:**

Pueden ser causadas por muchos factores, incluyendo cráteres sin rellenar, un arco demasiado largo al principio y al final de un cordón de soldadura, sobrecalentamiento de la pieza, excesivas velocidades de soldadura, mal diseño de la unión y uso incorrecto del electrodo. El excesivo calentamiento y los cráteres sin rellenar, causan la mayoría de los problemas por grietas. Esto es particularmente importante en aceros inoxidables tipo 310 y 330, los cuales son completamente austeníticos (no contienen Ferrita) y son susceptibles de agrietamiento en caliente.

### Alta penetración:

No es necesaria para la adecuada unión del metal de relleno con el metal base. Si el acero inoxidable está limpio y pulido antes de soldar, no se requiere más. Más que esto causa problemas sin ofrecer ventajas.

### Fallas en la soldadura:

Descubiertas por inspección con rayos X, deben ser evaluadas individualmente. Apegándose a las adecuadas técnicas de soldadura, normalmente se obtendrán cordones lisos y densos de los cuales se pueden quitar fácil y totalmente toda la escoria, dejando una base limpia para el próximo cordón. Para asegurar soldaduras de calidad «rayos-X», de debe remover toda la escoria y las socavaduras (si es necesario con esmeril) antes de reiniciar la soldadura.

## SIGA ESTOS PROCEDIMIENTOS PARA SOLDAR:

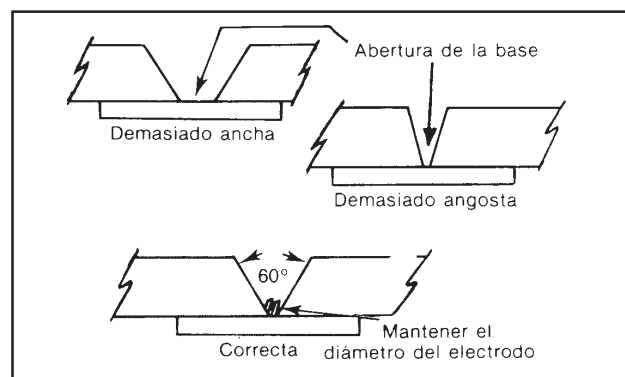
Como todas las soldaduras, los depósitos de acero inoxidable varían en calidad de acuerdo con la experiencia y la habilidad del soldador. Sin embargo, aunque en algunas aplicaciones se pueden tolerar soldaduras de segunda calidad, no es posible tolerarlas al tratarse de acero inoxidable. No solo es costoso el uso de estas aleaciones sino que la mayoría de las aplicaciones de los inoxidables son tan críticas que soldaduras de buena calidad son absolutamente esenciales.

## USE SOLO INOXIDABLE DE MÁXIMA CALIDAD:

La calidad de las piezas de acero inoxidable y de los materiales para la soldadura varía mucho. Es necesario asegurarse de que sólo se usen piezas y electrodos que cumplan con las especificaciones tales como las de AWS, AISI, ASME, y Mil-E-22200/2 A.

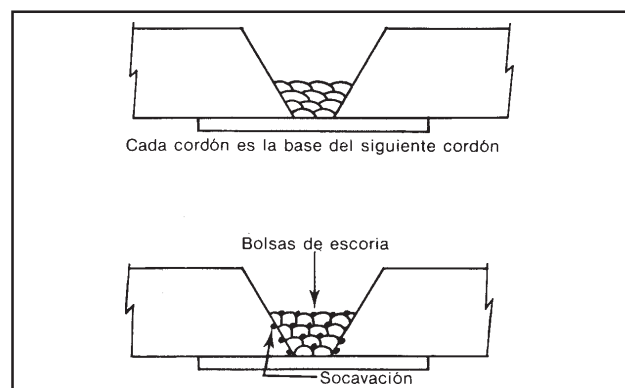
## ES ESENCIAL UN BUEN DISEÑO DE LA UNIÓN:

Las uniones de un diseño adecuado son absolutamente esenciales. Los biseles con aberturas demasiado angostas harán que la soldadura sea difícil y estorbarán para el retiro de la escoria. Un bisel excepcional ancho requerirá demasiado metal de relleno y aumenta el costo del trabajo. Se considera que un ángulo de 60° es correcto para la mayoría de los trabajos, excepto para secciones de gran espesor. La abertura de la raíz debe ser igual al diámetro del electrodo.



## LA ESTRUCTURA DE LOS CORDONES ES IMPORTANTE

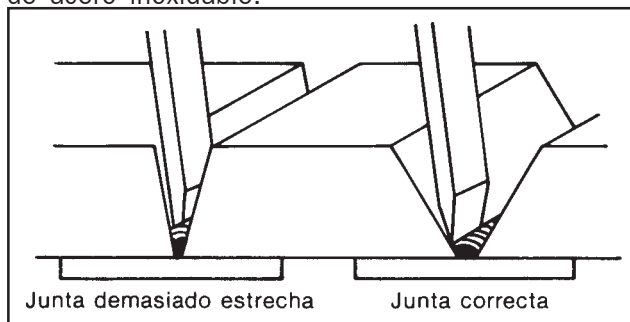
Evitar la mala formación de los cordones. Esto puede originar mala penetración y bolsas de escorias. Las bolsas de escoria o inclusiones como a veces se les llama, se pondrán de manifiesto en una prueba con rayos X. Si está en un área crítica, la soldadura fallará también en la prueba de doblado.



### EL BUEN DISEÑO DE LA UNIÓN HACE MÁS FÁCIL EL RETIRO DE LA ESCORIA:

Las uniones se deben diseñar con espacio suficiente para permitir el retiro de la escoria. La escoria debe ser retirada por completo en las soldaduras inoxidables. La escoria de los electrodos revestidos con dióxido de titanio para AC-DC, casi siempre se rompe en grandes trozos. La escoria de electrodos con revestimiento alcalino se desmenuza fácilmente, por tanto se requiere de mayor cuidado para quitar todas las partículas pequeñas. Son preferibles los cordones planos de bajo perfil porque hacen que el trabajo sea más fácil.

Como regla se puede emplear un cincel angosto y afilado para quitar la escoria. Si la unión es estrecha, la escoria será desprendida en pequeñas porciones. Una unión adecuada permitirá que la escoria se rompa en porciones mayores, independiente de la marca de electrodo que se use. Cuando se limpia se debe usarse un cepillo de alambre de acero inoxidable.

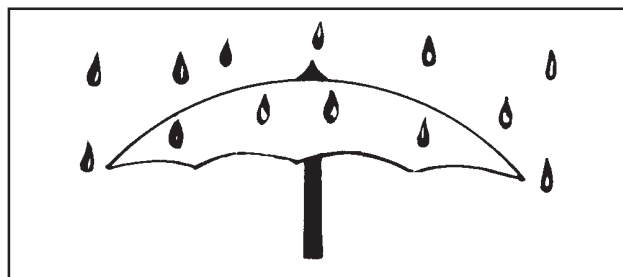


### ¿CUIDADO CON LA HUMEDAD?

Tanto el metal inoxidable base como los electrodos para soldar, deben ser preservados de la humedad. La humedad en la superficie de la pieza o del depósito de soldadura, no representa ningún problema si se descubre a tiempo y se toman las

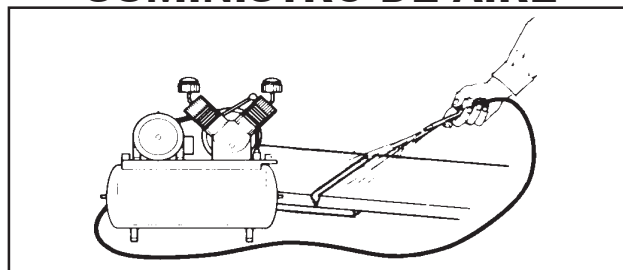
acciones correctas. Sin embargo, si la humedad está atrapada en la unión estrecha puede producir porosidad y debilitará toda la estructura de la soldadura.

Las pruebas tales como rayos X usualmente revelarán fallas. El único método para reestablecer la integridad de la soldadura es esmerilar en las áreas afectadas y volver a soldar. Esto aumentará los costos del trabajo tanto en términos de tiempo como el dinero.



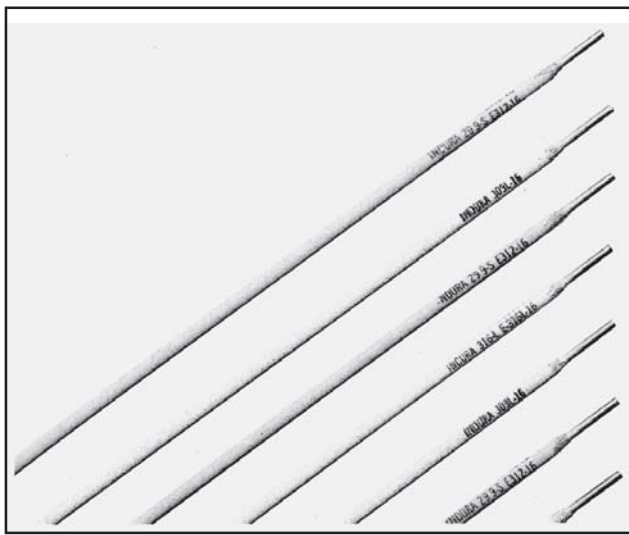
Existen muchas fuentes posibles de humedad y la más obvia es el agua que se usa para enfriar una soldadura de la serie 300. De hecho, es tan obvia que rara vez es la causa de la porosidad porque, en este caso, los soldadores normales se aseguran que la pieza esté seca antes de reanudar el trabajo. Son las fuentes menos obvias las que se deben considerar, tales como: un trapo mojado abandonado sobre la pieza, salpicaduras de una taza de café o de una botella de refresco, una manguera que gotea, una manguera de aire usada para soplar la escoria, etc. A propósito de la manguera de aire, en condiciones de humedad extrema la humedad se puede condensar en la manguera y el soldador sin darse cuenta soplará agua en la unión.

### CUIDADO CON LA CONDENSACIÓN EN EL SUMINISTRO DE AIRE



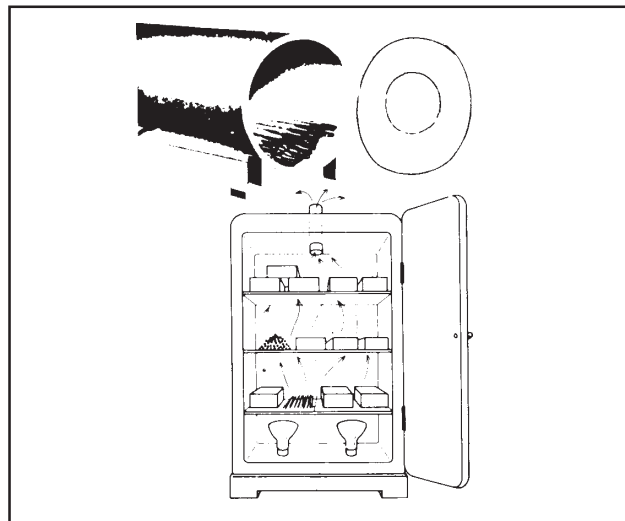
## LOS RECUBRIMIENTOS DE LOS ELECTRODOS ABSORBEN HUMEDAD

Otro problema lo constituye el bajo nivel de hidrógeno aceptable en los revestimientos de todos los electrodos de acero inoxidable. Las normas sostienen que los electrodos de bajo hidrógeno no deben ser expuestos a humedades del 50% por más de dos horas. Si se presenta esta condición de alta humedad, los recubrimientos pueden absorber suficiente humedad para ocasionar problemas al soldar. La primera identificación de electrodos húmedos es la dificultad para quitar la escoria. La segunda, por supuesto, es la porosidad visible.



## MANTENGA SECOS LOS ELECTRODOS

Una vez que se abren los envases de los electrodos y se exponen éstos al aire, los electrodos no usados deben permanecer en hornos para electrodos, a fin de asegurar que permanecerán libre de humedad. En el lugar de trabajo, se deben guardar en hornos portátiles.



Si se detectan electrodos húmedos, los electrodos fabricados por INDURA se pueden resecar entre 300°C a 350°C durante una hora para reducir el nivel de humedad. Si cualquier electrodo se introduce al agua, éste debe ser eliminado.



Es importante mantener seca la pieza de acero inoxidable. Si la humedad nocturna es alta, la condensación se puede concentrar en las uniones tal como se muestra en la figura. Si no se quita esta humedad antes de soldar, se presentarán todos los problemas como porosidad, dificultad para quitar la escoria y demás.

Si se sospecha que una unión no está completamente seca, se puede soplar el agua con una manguera de aire (seco) o se puede calentar el área con un soplete para eliminar la humedad.



### ¡CUIDADO CON OTROS CONTAMINANTES!

El agua y la humedad no son las únicas causas de soldaduras defectuosas. Casi todas las planchas inoxidableas están protegidas con papel al entregarse. Este papel se fija a la placa por medio de un adhesivo de presión. Cuando se quita el papel, se debe eliminar por completo el adhesivo con un limpiador o el calor formará gases que causarán porosidad.

Cosas tales como el azufre en el aceite para corte que se usa para maquinar una unión, pueden causar cambios que ocasionarán no solo porosidad, sino que aumentarán el contenido de carbono. Irónicamente, no hace ningún bien al fabricante esforzarse mucho para conservar al mínimo el carbono en los electrodos, sólo para ver que se les agrega carbono por prácticas descuidadas.

### FUENTES DE CARBONO

Algunas de las fuentes más comunes de carbono que se encuentran en todos los talleres de soldadura, son: Barnices pinturas, compuestos anti-salpicantes y el siempre presente lápiz graso. Este último contiene una gran cantidad de carbono.

