



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

REVISION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE  
SOLDADURA PARA ACEROS INOXIDABLES



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

TRABAJO MONOGRAFICO

Para obtener el Título de  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P r e s e n t a

JOSE ROBERTO RAMIREZ VIVAS



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.

## CONTENIDO.

INTRODUCCION

CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES

ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS

ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS

PROCESOS DE SOLDADURA ..

ARCO ELECTRICO.

PROCESOS POR ARCO METALICO CON ELECTRODOS REVESTIDOS

PROCESO TIG

PROCESO MIG

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

APENDICE

TABLAS

DIBUJOS

NORMAS.

## I.- INTRODUCCION.

Debido al incremento de la industrialización del país, en especial en la industria petrolera se han abierto nuevas áreas y acelerado el crecimiento de industrias relacionadas con el manejo de derivados del petróleo. Un ejemplo muy palpable es la zona sureste, Minatitlán, Pajaritos, Cangrejera, La Venta, El Plan, Cactus, Cd Pemex, Nueve Pemex.

Lo anterior ha provocado un desarrollo económico y social en la región e incrementado industrias tales como Albanex, Fertimex, Tereftalatos, Azufrera Panamericana, Celanese, etc.

En ellas se maneja una gran cantidad de aceros inoxidable por las propiedades que presenta estos. El consumo de aceros inoxidable ha aumentado más rápidamente que ningún otro tipo de acero; los aceros inoxidable son un grupo de aceros, altamente aleados con poco contenido de carbono que ofrecen la ventaja de tener una gran resistencia a la corrosión y a la oxidación, altas características mecánicas a alta y baja temperatura, y un aspecto limpio y atractivo.

El fin que persegue este trabajo, es la recopilación de los métodos de soldadura de los aceros inoxidable y de las normas existentes para realizar la soldadura tal que tenga una información útil de fácil entendimiento para aquellos supervisores o ingenieros que trabajan en esta área, ya que es muy difícil actualmente encontrar información específica de soldadura de aceros inoxidable.

## CAPITULO I

### CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

## CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

Los aceros inoxidable son un grupo de aceros aleados con poco contenido de carbono que ofrecen la ventaja de tener una gran resistencia a la corrosión y a la oxidación, altas características mecánicas a alta e baja temperatura, y un aspecto atractivo y limpio.

Las conductividades eléctrica y térmica de los aceros inoxidable son considerablemente menores que los aceros al carbono. Al igual que todos los materiales industriales, los aceros inoxidable tienen también sus limitaciones. Tienen buena resistencia química en medios corrosivos que se encuentran a temperaturas por lo general inferiores a los 300 ° C. La corrosión de los aceros se produce cuando existen un ataque químico o electroquímico de una o más sustancias que lo rodean.

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable se debe a la formación, en la superficie de los mismos, de una película de óxido muy delgada y resistente que recibe el nombre de película pasivada.

Esta capa protectora o película pasivada, es formada espontáneamente por la exposición del metal desnudo al aire, o, más rápidamente, darle al metal un tratamiento de pasivación, así como una inmersión en una solución oxidante de 10-50 % de ácido nítrico por unos cuantos minutos.

El hierro, níquel y cromo son los tres elementos base de estos aceros, siendo el cromo el elemento que mayor influencia tiene, ya que todas las aleaciones de este metal adquieren su propiedad de "pasividad estable". La densidad de los aceros inoxidable es grande, por lo que

las construcciones con acero inoxidable tienen dos inconvenientes en su contra : un mayor costo por kilogramo y un mayor peso por metro cúbico o cuadrado. Finalmente el coeficiente de dilatación térmica de los aceros inoxidables es aproximadamente el triple que para el acero ordinario.

Pese a ser de alta aleación, los aceros inoxidables no están incluidos en la normalización AISI- S.A.S. Para identificarlos se utiliza un sistema numérico de tres cifras, comparado con los cuatro que es habitual.

Designación de la serie.	Grupos.
2XX	Cromo-níquel-manganeso; no templables, austenítico, no magnético.
3XX	Cromo-níquel; no templable, austenítico, no magnético.
4XX	Cromo; templable, martensítico, magnético.
4XX	Cromo; no templable, ferrítico, magnético.
5XX	Cromo; bajo en cromo; resistencia alta temperatura.

Sin embargo los aceros inoxidables pueden dividirse, de acuerdo con su estructura, en tres categorías principales, que son:

Ferríticos

Martensíticos

Austeníticos.

La proporción en los aceros inoxidables de las fases austenítica y ferrítica está dada por los elementos de aleación que influyen en uno u otro sentido. Los elementos de mayor influencia son el cromo en el sentido de la ferrita y el níquel en el de la austenita. Maurer trazó un diagrama que da la proporción de las faess en función de estos elementos. No obstante no sólo el cromo y el níquel influyen sino también el carbono, manganeso, molibdeno, silicio y columbio. Shaeffler tomó en cuenta las influencias ferríticas y austeníticas de estos elementos y construyó el diagrama de su nombre (ver apendice). En este diagrama en las ordenadas está el equivalente de níquel y en las abscisas el equivalente de cromo. Estos equivalentes se calcula por medio de la siguientes ecuaciones:

$$\text{Eq. Ni} = \% \text{ Ni} + 30 (\% \text{ C}) + 0.5 (\% \text{ Mn})$$

$$\text{Eq. Cr} = \% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 1.5 (\% \text{ Si}) + 0.5 (\% \text{ Cb}).$$

La composición del metal depositado da los equivalentes y estos se llevan al diagrama. Tomando como ejemplo un acero inoxidable de la siguiente composición:

C	0.04 %	Cr	18.50 %
Mn	1.10 %	Ni	8.50 %
Si	0.50 %	Mo	2.75 %

se tiene las ecuaciones y los equivalentes siguientes:

$$\text{Eq. Ni} = 8.5 + (30 \times 0.04) + (0.5 \times 1.1) = 10.25$$

$$\text{Eq. Cr} = 18.5 + 2.75 + (1.5 \times 0.5) = 22.00$$

que llevados al diagrama de Schaeffler indica una estructura de casi 20 %

de ferrita. El gran mérito de Schaeffler reside en haber trazado un diagrama en que se tiene en cuenta las propiedades estabilizadoras de alfa y las propiedades estabilizadoras de gamma ( "alfágenas" y "gammágenas") de los diferentes elementos que entran en la composición del acero.

### Aceros Inoxidables Ferríticos.

La ferrita-Hierro alfa- de estructura cristalina cubica centrada en el cuerpo puede absorber, en forma de simple cristal mixto de interposición sólo hasta un 0.04 % en su peso de carbono; pero en presencia de manganeso, silicio e incluso fósforo, elementos siempre contenidos en estos aceros, se forman siempre cristales mixtos dobles, donde no sólo el carbono aislado está intercalado o adicionado en las vacantes del retículo del hierro si no que también átomos aislados de este metal están reemplazados o sustituidos por manganeso o silicio. La formación de cristales mixtos dobles se presenta en gran medida en los aceros inoxidables ferríticos, en trando en la red cristalina otros átomos metálicos como el cromo, molibdeno, Wolframio y , en pequeña parte, níquel en lugar de átomos de hierro. Estos aceros ferríticos contienen como constituyente fundamental de aleación 13 a 28 % de cromo. Con altos porcentajes de este elemento son frágiles y difíciles de trabajar con arranque de viruta; además son magnéticos. Un acero con un 13 % de cromo aproximadamente y 0.12 % de carbono , como máximo, es totalmente resistente a la oxidación en estado pulido, si bien su resistencia a

a muchas otras sustancias corrosivas es pequeña. La resistencia a la oxidación se hace mayor agregando molibdeno, con lo que mejora al mismo tiempo la resistencia mecánica en caliente. Estos aceros no se endurecen con el tratamiento térmico, resisten las altas temperaturas, son resistentes a medios corrosivos, es magnético, los aceros más comunes de este tipo son los 405, 409, 430, 446 .

En los aceros ferríticos, no hay transformación de la ferrita en austenita en el calentamiento ni transformación martensítica en el enfriamiento. Por esta razón no hay posibilidad de regeneración del grano y la cristalización sólo es posible mediante una deformación plástica en frío, previo recocido, o mediante una deformación en caliente.

A veces se añade nitrógeno en proporciones de 0.10 a 0.25 % para reducir, a temperaturas elevadas, la velocidad de crecimiento de los granos. En los aceros ferríticos con un contenido elevado de cromo, puede aparecer fase sigma cuando se los mantiene durante mucho tiempo a temperaturas comprendidas entre 550 y 900 °C. Para disolver esta fase es necesario calentar de nuevo por encima de 900 °C. Las deformaciones en frío y la adición de elementos como el níquel, manganeso y silicio aceleran la formación de la fase sigma.

#### **Aceros Inoxidables Austeníticos.**

El hierro gamma tiene la estructura de una red cúbica de caras centradas, por lo consiguiente, con el carbono puede formar cristales mixtos de interposición, en los que este elemento está en una proporción mucho más alta que en el hierro alfa; dependiendo de la temperatura, puede

interponerse en la red cristalina hasta el 1.7 % de carbono. La aleación así constituida se denomina, como constituyente estructural, austenita. Al igual que los aceros ferríticos no presentan transformación alguna en el calentamiento porque su estructura es austenítica a cualquier temperatura. A temperaturas elevadas y con permanencias largas, tiende a crecer el grano pero la fragilidad que adquieren no es muy grande. La precipitación de carburos de cromo en los límites de grano hace que se produzca una pérdida de cromo en las inmediaciones de dichos límites. Los límites de grano son a veces atacados preferencialmente por un agente corrosivo y el ataque se relaciona con la segregación de elementos específicos y la formación de un compuesto en el límite, que en este caso es el carburo de cromo.

Para evitar la precipitación de carburos puede disminuirse el contenido de carbono (  $C = 0.03\%$  ) e bien adicionarse al acero otros elementos, como el titanio e niobio, más ávidos del carbono que el cromo; estos elementos se les conoce como estabilizadores.

Los aceros con carbono superior a  $0.03\%$  deberán ser sometidos a un temple austenítico con el objeto de disolver los carburos precipitados.

En estos aceros y en general en todos los inoxidables, el tiempo de permanencia a la temperatura de tratamiento térmico deberá ser como mínimo el doble que en los aceros al carbono, debido a su baja conductividad térmica.

Por ser difícil determinar el límite de proporcionalidad se suele

adoptar el que corresponde a un alargamiento permanente de 0.2 %.

Una de las buenas propiedades de los aceros austeníticos es la ausencia de fragilidad a bajas temperaturas, todo lo contrario de lo que sucede en los martensíticos y ferríticos. Mantienen resiliencias excelentes a temperaturas cercanas al cero absoluto. Con el tratamiento térmico no es posible variar las características mecánicas de esta familia de aceros, ya que en el calentamiento no existe transformación estructural. A los aceros austeníticos con contenidos de carbono superior a 0.03 %, que se hayan mantenido a temperaturas comprendidas entre 400 y 900 °C es necesario someterlos a un temple austenítico (recocido de solubilización) para disolver los carburos precipitados y así dejarlos insensibles a la corrosión. Todos los aceros austeníticos son antimagnéticos.

Si se pretende fabricar un acero austenítico estable e incluso a temperaturas inferiores a los 0°C, esto se consigue adicionando al hierro  $\gamma$  del orden del 18 % de cromo y 8 % de níquel como elementos de aleación.

#### Aceros Inoxidables Martensíticos.

Tienden a adquirir una gran dureza cuando se les enfría rápidamente una vez que han alcanzado la temperatura de austenización. Las aplicaciones de esta familia de aceros son: cuchillería, accesorios de bombas

válvulas para motores, navajas de afeitar, equipos para la industria petroquímica y alimenticia, etc.

En la martensita se da un desequilibrio estructural o estado intermedio inestable, que no puede deducirse del diagrama hierro-cementita.

Constituye una fase aún homogénea, en la que los cambios reticulares propios del enfriamiento son casi completos, pero a pesar de ello quedan todavía átomos de carbono en el retículo del hierro. En el caso de un enfriamiento suficientemente lento, se formaría ferrita y perlita con sus porcentajes de carbono respectivamente. A pesar de su inestabilidad la martensita es estable indefinidamente a la temperatura ordinaria. Los cambios solo aparecen con el tratamiento térmico.

Los aceros inoxidables martensíticos se diferencian, así pues, de los ferríticos, por una mayor proporción de carbono, que en los tipos corrientes representa del orden 0.4 hasta 1.2 %. Tienen la propiedad de ser endurecibles (templables). Con un enfriamiento suficientemente rápido cuando la temperatura de temple se consigue el endurecimiento del acero y con ello un aumento de la resistencia a la tracción.

A través del calentamiento ulterior, o revenido, se mitiga en parte el excesivo endurecimiento, lográndose así, mediante el tratamiento térmico total, mejorar las propiedades deseadas.

El aumento de la dureza obtenible de este modo aumenta mucho con el porcentaje de carbono.

A los aceros martensíticos se acude, por lo tanto, frecuentemente cuando se necesitan materiales de alta resistencia a la abrasión y

y determinadas características mecánicas.

Los aceros martensíticos contienen de 11 a 16 % de cromo, con 0.15 a 1.20 % de carbono (alto %). Son aceros resistentes a altas temperaturas y resistentes a ciertos medios corrosivos. Dentro del grupo de los aceros inoxidable, es el menor resistente a la corrosión, presenta características magnéticas, los tipos de acero inoxidable martensíticos más comunes son 403, 410, 420 y 501.

Estos aceros magnéticos se utilizan ventajosamente en ingeniería química, dondequiera que un material a prueba de óxido y de alta resistencia mecánica esté sometido a una fuerte abrasión, por ejemplo, en válvulas de aguja, toberas de inyección y dispositivos análogos.

## **CAPITULO II**

### **PROCESOS DE SOLDADURA.**

## PROCESOS DE SOLDADURA.

En la actualidad existen alrededor de 40 procedimientos de soldadura, muchos de los cuales se aplican en varias modalidades. Sin embargo, existen un cierto número de métodos de soldar que pueden considerarse básicos o fundamentales y que pueden agruparse en tres tipos de operación: soldadura de arco, soldadura con gas y soldadura por resistencia.

Todos ellos con una serie de características comunes que llenan funciones encaminadas a lograr una serie de causas y efectos que permitan la ejecución de buenas soldaduras: una fuente de calor adecuada para alcanzar la temperatura necesaria para la operación, un medio para prevenir contaminaciones diversas y una serie de componentes que se incorporen durante la operación.

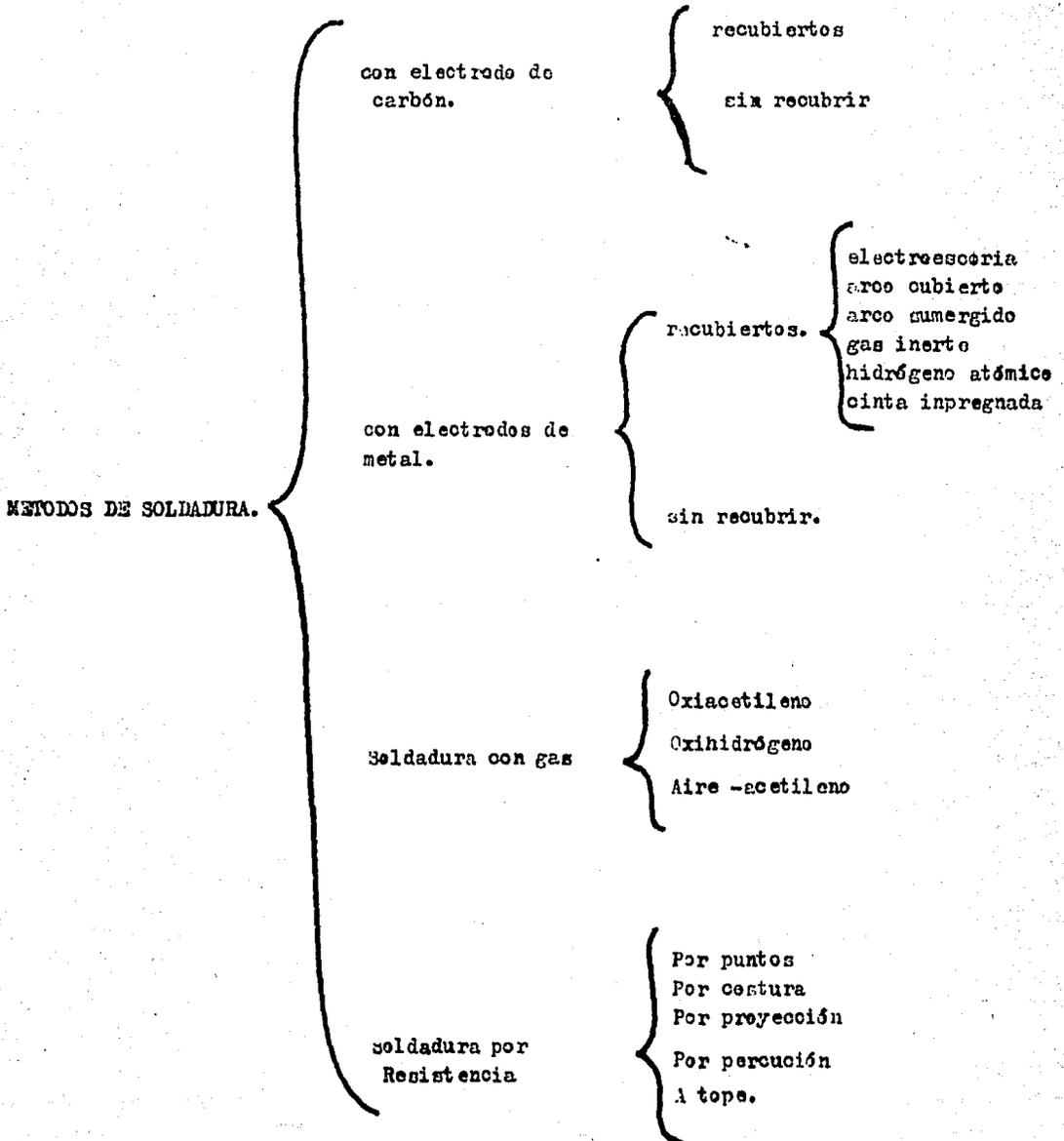
Pueden hacerse muchas clasificaciones de los métodos de soldadura y de hecho, cada especialista en la materia tiene la suya propia.

La más ampliamente aceptada, sin embargo, es la propuesta por la American Welding Society (AWS), que es también la más autorizada.

La tabla No 1 presenta en forma simplificada, la clasificación de la AWS. En los aceros inoxidables como se requiere un buen control de temperatura, un buen control de penetración y en ocasiones se llegan a soldar uniones de bastante espesor o laminas delgadas, se utilizan básicamente tres métodos de soldadura que presentan estos requisitos: Soldadura por arco metálico con electrodo revestido,

TABLA No I

CLASIFICACION GENERAL DE LOS METODOS DE SOLDADURA.



Soldadura por arco de tungsteno y protección de gas inerte (TIG), soldadura de arco metálico y gas (MIG). Más adelante estos procesos serán discutidos más ampliamente. Como todos ellos presentan una característica común que es el arco eléctrico, razón por la cuál se hará una ligera revisión a la soldadura por arco eléctrico.

### La Soldadura de Arco.

El arco de soldadura es en realidad un cierto circuito, en donde el arco representa un tipo de resistencia eléctrica, en la que la resistencia existente en el momento de iniciarse el arco no es la misma que cuando el arco está establecido. En la iniciación, el voltaje del arco tiene que vencer la barrera del aire que tiene gran resistencia; pero una vez iniciado, los gases de la barrera se desintegran, se ionizan y se hacen conductores, de forma que la resistencia se invierte y queda virtualmente en cierto circuito, el arco se hace saltar poniendo en contacto el electrodo y la pieza a soldar. El voltaje del arco es la caída de tensión a través del arco entre electrodo y pieza.

Cada uno de los dos electrodos recibe un nombre especial. El ánodo es el electrodo positivo. Como los electrones son eléctricamente negativos, son atraídos hacia el ánodo. El cátodo es el electrodo negativo, y cualquier partícula o ión positivamente cargado serán atraídos hacia él. Si se usa corriente continua para soldar por arco, hay dos posibilidades o polaridades. Si la pieza a soldar es positiva (ánodo) se dice que es polaridad inversa PIGC. Ambas son utilizadas en soldadura.

Cerca de dos tercios del calor producido se genera en el ánodo y solo un tercio en el cátodo. Esto significa que el efecto de calentamiento es más pronunciado en la pieza a soldar cuando se usa PDCC y también será mayor en el caso la penetración en el metal a soldar.

En la soldadura con corriente alterna, el calor se distribuye por igual entre el electrodo y la pieza a soldar, ya que la corriente alterna supone un cambio continuo entre PDCC y FIGC.

El metal fundido es transportado a través del arco, ya sea la tensión alterna, PDCC o FIGC. El metal de aportación es transportado incluso contra la fuerza de gravedad, lo mismo que cuando se suelda en posición hacia arriba.

#### Distribución de la Energía Consumida.

El calentamiento necesario para soldar es proporcionado por la formación de un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza a ser soldada. El total de gasto de energía en el arco es, por supuesto, igual al producto de la caída de tensión existente entre el electrodo y la pieza de trabajo, y del flujo de corriente a través del arco.

Tres regiones pueden ser distinguidas en términos de la distribución de la caída de tensión Ver fig. 1.9

--- Una zona de cátodo con espesor del orden de microns, cuando los electrones son emitidos, sus movimientos contribuyen con un 99 % de el flujo de corriente en el arco.

--- Una zona de ánodo de espesor similar, donde hay una emisión de ion-

## Electric-arc processes

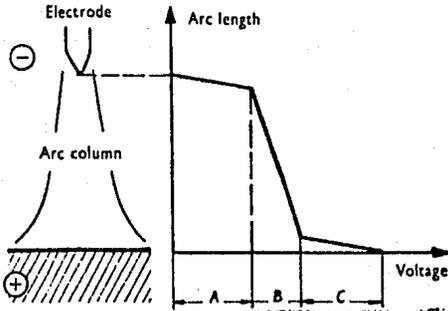


FIG. 1.9

## 24 Application of welding processes

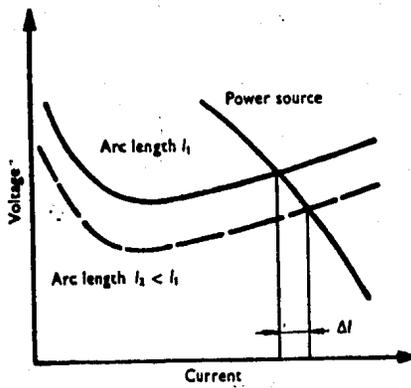


FIG. 2.0

nos también participando en la corriente del arco.

— Un arco en forma de columna ocupada por un "plasma térmico" compuesto de iones, electrones y átomos de gas protector.

La disipación de energía en el plasma ocurre por pérdida de electrones o iones, y por radiación.

Esta disipación de energía es baja, y la caída de tensión en la columna del arco representa pérdidas por un tercio de la caída total de tensión. La mayor parte de caída de tensión es localizada en las delgadas regiones de cátodo y ánodo, de modo que el proceso por arco tiene una gran eficiencia. Ver fig. 1.9

Las características de voltaje -ampere de un arco eléctrico es mostrado en la fig. 2.0. A bajas corrientes, la temperatura del plasma (en sentido de movilidad de las partículas constituyentes) es baja, y consecuentemente el grado de ionización es bajo. Un incremento en el grado de ionización es debido a un incremento en la corriente y por lo tanto una reducción en la caída de voltaje. Todos los factores que facilitan la ionización del plasma tienen un efecto favorable en la estabilidad del arco.

El voltaje del arco puede ser creciente, decreciente o constante. El voltaje creciente mantiene un arco constante aunque varíe la cantidad del metal por fundir y puede controlarse según lo requiera el procedimiento de soldadura. El voltaje decreciente permite aplicar una alta tensión al iniciar la operación y cuando el electrodo entra

en certe circuito con el metal, cae al mínimo en tanto que el amperaje alcanza su valor máximo; una vez establecido el arco, el voltaje alcanza a aumentar y el amperaje baja, y durante la operación, el control es automático al variar directamente el voltaje e inversamente el amperaje con respecto a la distancia que el electrodo guarda del metal base (longitud del arco). Esto permite una operación segura, con distribución uniforme del calor y consumo económico y controlado de electrodos.

Cuando el voltaje es constante se mantiene independientemente del arco y el amperaje es prácticamente ilimitado y más que suficiente para fundir los electrodos en el momento mismo que se produce el arco.

### Proceso de Soldadura por Arco Metálico con Electrodo Revestido.

La soldadura por arco metálico con protección (Shielded metal arc welding, SMAW) es un proceso manual en el cual, un arco es formado entre el electrodo (el cual a la vez es un electrodo consumible revestido con un fundente) y la parte que va ser soldada.

Es un hecho que el acero en fusión tiene afinidad por el oxígeno y el nitrógeno. Cuando se expone al aire el acero en fusión, entra en reacción química con estos elementos para formar óxidos. Estas impurezas del acero tienden a volverlo quebradizo y disminuir su resistencia a la corrosión. Al soldar con electrodos desnudos, o con arco no protegido, las gotas del metal en fusión que pasan del electrodo a la pieza de trabajo quedan expuestas a la acción de la atmósfera que contiene principalmente oxígeno y nitrógeno.

En cambio, si el metal durante el proceso de fusión, queda completamente protegido del contacto de la atmósfera, la combinación química perjudicial no puede ocurrir. Esto se consigue, protegiendo al arco eléctrico. El arco eléctrico puede ser protegido con un gas inerte, o con escoria, que no entre en reacción química con el metal en fusión y que al mismo tiempo, impida que este entre en contacto con los elementos del aire. El metal en fusión es protegido de la atmósfera oxidante por un escudo de gas suministrado por la descomposición del revestimiento durante su combustión. Una protección adicional es suministrada por la escoria renovable, la cual cubre y protege a la soldadura durante su enfriamiento.

Dependiendo de las características del recubrimiento este debe cumplir con un gran número de funciones:

- 1) Proporcionar agentes escorificantes, desoxidantes o fundantes que formen una capa protectora, previenen la oxidación del metal (por medio de las reacciones metal-escoria) y proporcionan una forma correcta a la junta, respectivamente. Además, también previenen el excesivo crecimiento de los granos de soldadura.
- 2) Proveen un gas protector del arco y evitan la excesiva contaminación, por la atmósfera del metal de aporte líquido.
- 3) Proporcionan un medio para suministrar aleantes, a fin de obtener las propiedades mecánicas requeridas en las soldaduras.
- 4) Establece las características eléctricas del electrodo, necesarias para la formación y estabilización del arco.

La escoria protectora se obtiene por el uso de un recubrimiento base mineral, óxido metálicos comprimidos y silicatos, que tienen un punto de fusión relativamente bajo, para permitir al recubrimiento y protección del área de soldadura, así como también de elementos que tengan una alta afinidad por el oxígeno, para reanverle cuando sea absorbido por el metal base.

El proceso de soldadura por arco metálico es el más extensivamente usado y el más versátil, de todos los procesos de soldadura.

Este puede ser usado en casi todas las posiciones: sobrecabeza, horizontal y vertical. No obstante, al proceso por arco metálico tiene sus desventajas:

- 1.) Se requiere de habilidad para producir soldadura bastante resistente y sana; no tienen comparación con ningún otro proceso.
- 2.) Es bastante dificultoso ver durante el proceso de soldadura, por la cubierta de escoria que se forma.
- 3.) La escoria superficial genera gran cantidad de inclusiones.
- 4.) La escoria debe ser removida después de cada paso de soldadura.

El circuito eléctrico que genera el arco para producir el calor, es ilustrado en la fig 2.2 (ver apéndice) . El electrodo y la pieza de trabajo forman parte del circuito eléctrico de la soldadura.

El circuito está integrado por la fuente generadora de energía eléctrica para alimentar el circuito, dos cables de conducción de corriente, un soporte para el electrodo, la pieza de trabajo y el electrodo.

Soldadura por arco de Tungsteno no consumible con protección de gas Argón.

El proceso TIG, cuyo verdadero nombre es GTAW, del inglés "Gas tungsten Arc Welding". El TIG, como proceso eléctrico de soldadura no difiere del proceso de electrodo revestido básicamente en nada; es decir ambos producen un arco eléctrico. Sólo existen dos variables; el gas protector, que en el electrodo revestido lo produce el fundente al quemarse; y el electrodo, que en el TIG no se consume y es siempre tungsteno puro o aleado. El metal de aporte puede o no puede ser adicionado dependiendo de la configuración de la junta. Con el proceso TIG tenemos un control y dirección exacta del calor y también una conducción eléctrica mayor (ionización) y protección en la zona de la soldadura.

Este tipo de soldadura se hace normalmente de forma manual aunque también se emplea métodos automáticos y semiautomáticos. No se requieren fundentes, pues el electrodo de tungsteno, el extremo de la varilla de aporte y el charco de soldadura están protegidos por una corriente de gas inerte, normalmente argón. Aunque también se usa helio o una mezcla de ambos.

El argón es generalmente preferido por las siguientes razones:

- 1.- Da mejor protección a baja velocidad de flujo.
- 2.- Produce un impacto menor de temperatura.
- 3.- Es menos afectado por variaciones en el arco.

El proceso TIG es un proceso versátil que puede ser usado en todas posiciones. Este es particularmente útil en soldaduras de secciones delgadas porque el calor impactado es concentrado por el arco. En general el proceso TIG se es usado en espesores mayores arriba de 1/4 pulg.

El proceso TIG cuando es aplicado a los aceros inoxidables se usa corriente directa, con el polo positivo conectado a la pieza de trabajo (polaridad directa). El sistema permitira que el calor se localice en el metal que va ser fundido. En algunas ocasiones el uso de una corriente intermitente que ciertas características del proceso sean mejoradas, tales como un arco estable y una mejor penetración, y un afino microestructural de la soldadura depositada. La estabilidad del arco en el proceso TIG es asegurado por la ionización de el gas de protección, y puede ser incrementada por el uso de electrodos conteniendo componentes que faciliten la emisión de electrones, tales como el óxido de torio.

No obstante, la selección de la propiedad del metal de aporte es más complicada que una simple comparación química. Tales cosas como, un análisis químico proporcional de el metal de aporte, también como la difusión de los elementos de aleación, de el metal de aporte a la soldadura de la zona afectada por el calor, y hacia el metal base, es muy considerada.

En la fig 2.3 y en la fig 2.4 vemos el principio del proceso TIG, y el diagrama esquemático del equipo empleado.

## Proceso MIG.

El electrodo es un alambre en forma de varilla desnuda de diámetro 0.6-2.00 mm (0.024-0.080 in), alimentado a una velocidad constante a través de un tubo de cobre para obtener un contacto eléctrico. De todos los métodos comunes de soldadura, el MIG es el que mantiene más concentrado el material que se está transfiriendo a través del arco.

La mayor parte de los tipos MIG son semiautomáticos, necesitando normalmente máquinas con un factor de servicio del 100 %. El arco eléctrico en soldadura MIG tiene interesantes características. Emplea una fina varilla con elevado amperaje, por lo que existe una elevada velocidad de fusión, que es imposible ser aportada manualmente. Puesto que el metal de aporte es un alambre desnudo, la pieza a soldar debe ser protegida de la oxidación por una mezcla de gases. El gas es conducido a través de una boquilla concéntrica alrededor del electrodo. Existen tres tipos de transferencia de la varilla de aporte a través del arco MIG, y dependen del valor de la corriente: transferencia por resaca, transferencia por arco corto, y transferencia de arco intermitente. Para efectuar la transferencia en forma de resaca o pulverización es necesaria una alta densidad de corriente.

A bajas corrientes, la transferencia se realiza por grandes gotas.

Cuando la corriente aumenta, estas gotas se reducen progresivamente hasta que a una cierta corriente de transición, que depende del material y diámetro de la varilla, la transferencia se efectúa en finas

-gotas o por recio o pulverización. Puesto que el voltaje y la corriente son muy altas para este proceso, el charco de soldadura tiene gran fluidez limitando el proceso a posiciones de soldadura plana horizontal. Si la corriente se aumentara aún más, sería realmente posible hacer hervir la varilla, pero este tipo de transferencia no es utilizada para aportar el metal.

El tipo de gota gruesa se emplea con bajas corrientes para soldadura de placas finas. Este tipo de soldadura recibe el nombre de arco corto y globular. Estas grandes gotas pueden transferirse a una velocidad de 100 o más por segundo. Cada una de ellas toca al baño de fusión y cortocircuita el arco antes de separarse de la varilla de apertación.

Entonces es cuando se separa de aquella por un efecto de estrangulación, debido al campo magnético que producen las fuertes corrientes del arco. La transferencia por circuito corto con una baja corriente y una baja entrada de calor de hecho es solo usada para espesores de secciones delgadas. Y solo puede ser usada en una sola posición.

La transferencia por arco pulsado es un tipo de proceso por recio o pulverización, en donde la transferencia ocurre en intervalos regulares en lugar de intervalos irregulares.

Casos de protección severa son usados para la soldadura de aceros inoxidable en el proceso MIG.

Los diferentes tipos de transferencia deben ser efectuados con un tipo de gas específico. Las mezclas pueden contener al menos un

97.5 % de gas inerte (argón e helio), para mantener una buena resistencia a la oxidación. La mezcla del gas puede tener arriba de 2% oxígeno para la transferencia por rocío e pulverización, con una mezcla de 2.5 % de dióxido de carbono con argón puede ser usado para una transferencia de arco cetero. Mezclas con helio no son comúnmente usadas por el alto costo de este. En la figura 2.5 y 2.6 se puede observar un diagrama esquemático del proceso MIG.

### **CAPITULO III**

#### **SOLDADURAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES.**

## SOLDADURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

Las diferencias que existen en composición química de los aceros inoxidables austeníticos afecta directamente durante la soldadura y su funcionamiento durante el servicio. Por ejemplo, los tipos 302, 304, y 304 L difieren primariamente en el contenido de carbón, y por consecuencia este provoca que se precipiten diferentes cantidades de carburos en la zona afectada por el calor. Los tipos 303 y 303 Se. contienen 0.20 % max de fósforo, más 0.15 % min. de Selenio o Azufre para un libre maquinado. Estos elementos son perjudiciales en la soldadura y causan agrietamiento en caliente en el metal depositado. Los tipos 316(Cb), 316 L y 317, contienen Molibdeno, para incrementar la resistencia a la corrosión y una alta resistencia al creep (retener la dureza durante el revenido) a elevadas temperaturas, pero durante la soldadura, el molibdeno promueve la precipitación de carburos en la zona afectada por el calor al menos que este restringido por un extra-bajo contenido de carbón. (como el tipo 316 L).

Los tipos 318, 321, 347 y 348 son estabilizados con titanio, o con columbio más tántalo, para prevenir la precipitación intergranular de carburos de cromo, cuando estos aceros son calentados a un rango de temperatura de sensibilización, durante la soldadura.

**FASE SIGMA Y FERRITA:** Un metal soldado puede presentar una estructura completamente austenítica o con cierto porcentaje de ferrita (diagrama Schaffler). Eso depende del equilibrio que se forma en la composición del metal.

Una soldadura totalmente austenítica puede presentar una sensibilidad al agrietamiento en caliente. La presencia de ferrita permite reducir esa sensibilidad.

Además de la austenita, de la ferrita y de los carburos que se encuentran generalmente en las soldaduras austeníticas inoxidables, se encuentra a veces un compuesto metálico que se llama "fase sigma" (compuesto-

Fe + Cr). Esa fase se forma por la transformación de la ferrita cuando la aleación está mantenida mucho tiempo a temperaturas comprendidas entre  $650^{\circ}\text{C}$  y  $925^{\circ}\text{C}$  según la composición del acero.

Puede también producirse esa fase en los aceros totalmente austeníticos al principio. no se ha constatado esa "fase sigma" en los aceros tipo 18/8, 304 y 302, aunque, al principio estos aceros hayan contenido un cierto porcentaje de ferrita; pero se ha encontrado esa fase sigma en los aceros que contenían en proporciones importantes titanio, niobio, molibdeno, silicio o cromo. La presencia de la fase sigma puede disminuir la resistencia a la corrosión, pero se manifiesta generalmente por una disminución de la ductilidad y la resistencia al impacto.

Aunque un mantenimiento a alta temperatura prolongado sea necesario para que aparezca esa fase sigma, se le ha constatado en un depósito de soldadura.

Si la presencia de la fase sigma se puede considerar como "nociva", se puede quitar disolviéndola en la austenita o transformarla en ferrita "delta" calentándola arriba de su temperatura de estabilidad. Esa operación se hace a una temperatura de  $1040^{\circ}\text{C}$  durante 10 minutos, aunque la transformación de la fase sigma en austenita se haga a los  $1230^{\circ}\text{C}$ . Si se calienta a esa temperatura, hay un peligro de aumento de grano con una disminución de las características mecánicas.

**PRECIPITACION DE CARBUROS:** (Corrosión intergranular). Cuando los aceros son calentados a temperaturas comprendidas entre  $426^{\circ}\text{C}$  y  $871^{\circ}\text{C}$  (intervalo de temperatura de sensibilización), o cuando al enfriamiento se mantiene bastante tiempo entre esas temperaturas, el carbono precipita lentamente de la solución sólida en los bordes de los granos de austenita. Se combina como cromo para formar un carburo rico en cromo.

Se admite generalmente que las zonas vecinas de los granos empobrecidos en cromo presentan una resistencia a la corrosión menor. En ciertas condiciones de corrosión resulta una disgregación de esas partes pobres en cromo.

Mientras la soldadura la junta calentada a la temperatura de fusión (1425 °C). En estas condiciones alrededor del cordón hay una zona que forzosamente tiene la temperatura en donde hay peligro de precipitación de carburos (426-871°C).

Su importancia en las condiciones de soldadura normales es proporcional al contenido de carbón. Mientras menor es el contenido de carbono, menores es el peligro de precipitación de carburos.

Los aceros del tipo 18/8 conservan en solución sólida, y en cualquier condición un porcentaje de carbono de 0.02 % máximo. Cuando el contenido de carbono aumenta hasta 0.08 %, la cantidad de carbono susceptible de precipitar con la solución sólida aumenta lentamente pero sin mucho peligro la corrosión. Con contenidos de carbono más elevados, la precipitación de carburos aumenta rápidamente.

Los aceros inoxidable de bajo carbono por esas razones son preferidos para materiales que van a ser utilizados en medios muy corrosivos.

Existen métodos prácticos para atenuar o disminuir las precipitaciones de carburos:

- 1.) Ejecutar, después de la soldadura un recocido (hipertemple) entre 982° C y 1150 °C, con un enfriamiento rápido.
- 2.) Estabilizar el carbono con elementos que tienen más afinidad por ese elemento que el cromo, y como el titanio, niobio o el tántalo
- 3.) Utilizar un acero con contenido de carbono muy bajo.

#### ESTABILIZACION:

El niobio, el tántalo y el titanio tienen por el carbono una más fuerte afinidad que el cromo. Si existen en el acero austenístico, sus carburos precipitarán en la austenita antes que los carburos de cromo, y eso en las condiciones de temperatura de calentamiento y enfriamiento. El acero 321 contiene un porcentaje de titanio 5 veces superior al del carbono. Aunque presenta algunos inconvenientes, es considerado como equivalente al acero 347. Este 347 contiene niobio y tántalo en cantidad unas 10 veces-

superior al contenido de carbono.

Las especificaciones relativas a los electrodos para el acero 347 limitan en general con 1% el contenido máximo de niobio. Ese metal tiene la desventaja de provocar la fragilidad en caliente, lo que puede provocar agrietamiento de la soldadura.

Eso es particularmente sensible cuando la pieza es compacta o con un espesor muy grande, y que la composición de la soldadura no está equilibrada y no presenta ferrita libre.

Los aceros estabilizados no solo son necesario sino indispensable cuando la pieza va a sufrir temperaturas comprendidas entre 426 °C y 871 °C, y además está sometida a condiciones corrosivas severas. Su más grande resistencia mecánica a temperaturas elevadas es a veces ventajosa.

Se puede agregar en la soldadura el elemento titanio o niobio esto en la varilla de aporte por ejemplo en la soldadura con gas argón.

El empleo de los aceros estabilizados para las piezas puede presentar algunas dificultades desde el punto de vista de la sensibilización. Se han constatado en ciertas industrias químicas, corrosiones en una zona muy estrecha adyacente a la soldadura. Este tipo de corrosión llamado "de cuchillo" proviene de ciertas propiedades de los aceros estabilizados. En estas zonas estrechas de cada lado de la soldadura, el metal se calienta suficientemente para disolver la mayor parte de los carburos de niobio, tántalo o titanio.

Si esas zonas, luego son calentadas a 650 °C más o menos, la que corresponde a una temperatura en la cuál la solubilidad de los carburos de niobio, de tántalo, de titanio y de cromo es débil, los carburos de cromo precipitarán los primeros entre los bordes de los granos debido a la más grande cantidad de carburos de ese elemento en el acero.

Ahí, esas zonas están sensibilizadas y podrán presentar la corrosión intergranular.

Pero si esas zonas son inmediatamente calentadas después de efectuar las soldaduras a una temperatura de 870 °C, los carburos de niobio, tántalo-

y titanio precipitarán en preferencia a los carburos de cromo pues, su solubilidad es menor que la del titanio tantalio y niobio. El contenido de cromo se disminuirá en esas zonas. Otro calentamiento a 650 °C más o menos no volverá a afectar esa zona cerca de la soldadura.

El acero 321 es más susceptible de ser sensibilizado por ese ataque llamado "de cuchillo", que el acero 347, pues, los carburos de titanio se disuelven a más baja temperatura que los de niobio.

Se ha notado que después de un tratamiento de estabilización (2 horas de mantenimiento a temperatura entre 870 °C y 927 °C) sobre el acero hipertemplado, esa matriz presentaba una mayor resistencia al ensayo de corrosión que el acero que había sufrido únicamente el tratamiento de solubilización.

#### UTILIZACION DE UN ACERO DE MUY BAJO CONTENIDO DE CARBON.

La utilización de un acero de bajo contenido de carbón (tipo L) es la tercera posibilidad para evitar la precipitación de carburos durante la soldadura, o un tratamiento de alivio de tensiones. En esas matrices, el bajo contenido de carbono inferior e igual a 0.03 % procura una inmunidad suficiente contra la precipitación de carburos en las zonas de temperatura 426°C - 871°C, para permitir a estos aceros soportar toda operación de soldadura y alivio de tensiones sin arriesgar una disminución de su resistencia a la corrosión.

Si se mantiene el acero calentado al inferior de esa zona peligrosa de temperatura 426-871°C, los carburos precipitarán en cantidad notable, aunque el acero contenga menos de 0.03 % C; y reducirán su resistencia a la corrosión. Su empleo es recomendado cuando la temperatura de trabajo de la pieza no es arriba de 425 °C. Contrariamente al acero 347, un tratamiento de estabilización a 898 °C aumentaba la corrosión de los aceros 304 L y 316 L (L significa bajo contenido de carbón).

En la soldadura de los aceros inoxidables con bajo contenido de carbón no hay problema para elegir el procedimiento más apropiado de soldadura. El metal de aporte puede ser del tipo 308 L ó 316 L o bien un metal de -

de aporte estabilizado con titanio o niobio.

El procedimiento ideal para soldar los aceros inoxidables austeníticos es el procedimiento per gas argón, pues no presenta ningún riesgo de aumentar el porcentaje de carbono en la soldadura, ni tampoco pérdidas por oxidación de elementos de adición.

La influencia del cromo ha sido objeto de un estudio muy a fondo de Bastien y Dedieu, los cuales han fijado una relación entre el carbono y el cromo del acero austenítico con lo que se evita una probabilidad de 99.8 % la corrosión intergranular cuando el acero se austeniza a 1050 °C y luego se mantiene a 680 °C durante una hora.

En un acero austenítico cuyo contenido de níquel sea cercano al 10 % la relación entre las concentraciones máximas de cromo y de carbono pueden escribirse :

$$\text{Cr} \geq 71 \quad 80 \text{ C} + 16.8$$

lo cual señala para el acero clásico de 18 % Cr un contenido de carbono inferior a 0.015 %. Cuando la cantidad de cromo aumenta se puede admitir más carbono sin riesgos de precipitación; por ejemplo el acero con 22 % de Cr puede admitir hasta 0.065 % de carbono.

Si bien el cromo tiene una acción favorable, el níquel, por lo contrario, hace crecer la sensibilización del acero. De este modo, si el contenido de níquel aumenta es menester rebajar la cantidad de carbono con objeto de evitar esa precipitación de carburos.

En el acero clásico 18-8 el límite superior admisible de carbono en la soldadura es 0.05 %.

Este contenido ha de descender hasta 0.021 % cuando aumenta el porcentaje de níquel de 8 a 13 %.

#### TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

La necesidad de un tratamiento térmico de las soldaduras sobre aceros austeníticos al Ni-Cr depende en gran parte de las condiciones de servicio en que se vá a utilizar la pieza. En ciertas casos, el tratamiento será

para dar al metal el máximo de resistencia a la corrosión, mientras que en otros casos, será para darle mayor resistencia al calor o para quitar solo tensiones. Muchas veces los aceros austeníticos no reciben tratamiento térmico después de la soldadura.

En la soldadura de aceros inoxidables, la corrosión, es en general localizada en la zona afectada por el calor (cerca del cordón) en la cuales la precipitación de carburos puede ser factible. Cuando se busca encontrar el máximo de resistencia a la corrosión se le dá a la pieza un tratamiento térmico.

Para el tratamiento de redisolución de carburos hay que calentar la totalidad de la pieza a una temperatura comprendida entre  $1010^{\circ}\text{C}$  y  $1120^{\circ}\text{C}$  (temperatura de austenización). La temperatura exacta del tratamiento depende del tipo de acero inoxidable, y el tiempo que se debe de mantener la pieza dependerá del espesor de la pieza.

Un tiempo menor en el calentamiento es preferible para evitar el aumento en el tamaño de grano. Se admite generalmente una temperatura, de 3 min por cada 25 mm de espesor para conseguir la disolución de los carburos. La zona soldada debe de ser enfriada rápidamente sobre todo en las Zonas de temperatura comprendidas entre  $900^{\circ}\text{C}$  y  $425^{\circ}\text{C}$  para mantener al carbono en estado de solución sólida.

En general los aceros inoxidables austeníticos tienen muy baja conductividad térmica lo que trae consigo el problema de la distorsión sobre todo en láminas, se abolsa en la zona que se calienta porque la temperatura no se difunde uniformemente sino que tiende a concentrarse alrededor de la zona de fusión, es por ésto que se recomienda soldar a las más bajas temperatura no se difunde uniforme y a la mayor velocidad, con lo cual aparte de lograr reducir las deformaciones, también evitamos su calentamiento en zonas cercanas a la zona de fusión, que llega a estar entre la temperatura de sensitización ( $400^{\circ}\text{C}$ - $800^{\circ}\text{C}$ ) y forman corrosión.

Una de las formas más practicas pra enfriar rápidamente la pieza después de soldada, es corriendo sobre el cordón una estopa empapada de agua, poco

después de haber aplicado la soldadura.

En general los aceros inoxidable pueden soldarse con cualquier proceso, siendo los más recomendables para láminas delgadas (espesor menor a 3.2 mm.), y tuberías de regular espesor, el proceso TIG (tistugsteno con gas - inerte) y en menor grado el oxi-acetileno, sobre todo en los procesos a bajas temperaturas, en los cuales se efectúan la unión por adherencia y se aplican varillas de aportación que básicamente contienen plata.

Los tipos de acero inoxidable 304, 308, y 347 son muy usados en la fabricación de equipos y accesorios empleándose en la fabricación de la industria alimenticia y se pueden soldar con aleaciones a base de plata a las más bajas temperaturas (menores a los 600°C) con el soplete oxiacetileno, por precaución, para evitar la absorción de carbono de la flama se recomienda balancear la flama o procurar dejarla en muy poco grado oxidante.

También debe tenerse cuidado en que las varillas de aportación no contengan elementos tóxicos tales como el plomo, Zinc, Antimonio y Cadmio, para todas las aplicaciones con oxiacetileno es necesaria la aplicación de fundentes para disolver la capa de óxido de cromo que se forma en la superficie de todo acero inoxidable.

Esta capa de óxido de cromo tiene la particularidad de no fundirse a la temperatura de fusión del acero, en realidad es un material refractario - que si no se elimina impide la fusión. El fundente tiene la función de disolverlo y la nueva aleación si se funde a bajas temperaturas y lo que queda del óxido se mezcla con la capa de fundente sobre la superficie, posteriormente se elimina esta capa de residuo de fundente (para quitarla con mayor facilidad, es recomendable agregar agua caliente).

Para las soldaduras con el proceso TIG no es necesario aplicar fundentes ya que la capa de óxido es eliminada por la elevada frecuencia que se aplica al iniciar el arco y posteriormente, una vez rota la capa de óxido en el inicio, la soldadura se continúa a baja frecuencia mientras no se interrumpa el arco, y el óxido de cromo quede totalmente eliminado.

El gas inerte usado para soldaduras en acero inoxidable, debe ser siempre

gas argón.

Para la soldadura con arco eléctrico manual es conveniente aplicarlos - en línea recta y a la mayor velocidad posible. Por lo general los electrodos de acero inoxidable se aplican a bajas temperaturas o sea se aplican a bajos amperajes, por ejemplo para electrodos de 3.2 mm de diámetro de núcleo es recomendable aplicar máximo 100 amper.

Los electrodos para aceros inoxidables austeníticos se recomienda aplicar los con generador de corriente continua con polaridad invertida. Para - obtener resultados óptimos en calidad y resistencia a la corrosión es recomendable aplicar electrodos con máxima aleación, o sea con 20% Ni , 25% de Cr, pero en los casos en los cuales resulte anti-económico, lo menos que se puede hacer es aplicar un electrodo que tenga el mismo análisis químico que el metal base, para lograr este, existen una gran variedad de electrodos que se ajustan a cada tipo de acero inoxidable.

#### SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS.

Los aceros inoxidables ferríticos son más difíciles de soldar que los - aceros inoxidables austeníticos, debido a que este acero tiende a ser - quebradizo con el tratamiento térmico, las posibilidades de que se forme quebradizo aumentan si se sostiene por largo tiempo entre una temperatura de 600°C a 700°C, el hecho de que se haga quebradizo no se debe fundamentalmente a la formación de carburos lo que ocurre es un crecimiento de grano, o sea no se endurece al mismo tiempo que se hace quebradizo.

Esto provoca una reducción normal de su ductilidad, y es conocido como "Embrittlement". Este embrittlement es acompañado por un severo crecimiento de grano y puede ser removido por recocido del acero por 1 hora entre alrededor de 720 y 790 °C y seguido por un enfriamiento en agua o si la pieza es pequeña en aire, así disolvemos los restos de grano de gran tamaño. Tal tratamiento de post-calentamiento es particularmente importante en soldaduras de paso simple, ya que la zona afectada por el calor puede

figurarse rápidamente en una deformación subsecuente o durante el servicio del acero inoxidable en operaciones de flexión.

Cuando el tratamiento de post-calentamiento no es posible, utilizando la soldadura de multipasos con diámetros pequeños de electrodos, con baja corriente, y cordones longitudinales puede ser usada con gran éxito para disminuir la pérdida de ductibilidad (embrittlement). En estos depósitos los subsecuentes pasos de soldadura producen efectos de recocido en el anterior cordón y reduce la fragilidad en la soldadura y en la zona afectada por el calor. En los aceros tipos 405 y 430 contienen un promedio de 50 a 70 por ciento de ferrita (el resto es martensita) deben ser sometidos a los tratamientos de post-calentamiento o de pre-calentamiento, para evitar y prevenir el temple.

En la soldadura de aceros inoxidables ferríticos con un porcentaje arriba de un 23 por ciento de cromo, se obtienen buenos resultados con varillas de aporte cuya composición es similar al material base. Aquí es preferido un tratamiento de pre-calentamiento. Cuando la ductibilidad es bastante importante se requiere un tratamiento de post-calentamiento a 705 a 789 °C con el tipo de soldadura similar al metal base. También es posible soldar a los aceros al cromo arriba de un 23 por ciento de cromo con electrodos 310 o 309.

Los aceros inoxidables ferríticos son también llamados aceros inoxidables al cromo y no contienen níquel, por lo tanto los electrodos para soldarlos no contienen níquel, (en realidad contienen tanto los aceros inoxidables-ferríticos como los electrodos, un pequeño porcentaje de níquel, aproximadamente 0.6 %).

Cuando no es factible soldaduras de pasos múltiples que provocan un efecto de recocido, la ductibilidad de una junta soldada puede ser controlada por la selección de un acero inoxidable como metal base conteniendo una cantidad substancial de un fuerte formador de ferrita, tal como el aluminio, columbio o titanio.

Un acero el cual tiene una designación comercial de tipo 430(Ti), es un

acero con 17 % de cromo conteniendo 0.12 % de carbón máximo y conteniendo un mínimo de titanio igual a seis veces el contenido de carbón.

Las funciones metalúrgicas del titanio en este acero son la de formar carburos de titanio estables y la de promover la formación de ferrita.

Quando un acero completamente ferrítico es soldado, la martensita no se forma en la zona afectada por el calor, sin embargo puede ocurrir una expansión de grano.

La expansión de grano puede ser controlada en algún grado evitando al mínimo la entrada de calor durante la soldadura y evitar el retardo del enfriamiento de la soldadura.

#### SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.

Sin tratamientos de precalentamiento, son altamente templeables o endurecidos, los aceros inoxidable martensíticos son completamente susceptibles a fisurarse en el depósito de soldadura martensítica y en la zona afectada por el calor. Especialmente cuando han sido soldadas secciones gruesas. Secciones livianas con un bajo contenido de carbón pueden ser una excepción, por ejemplo; el tipo 410 en secciones de espesor arriba de 1/8 de pulg ordinariamente exhibe buenas características de soldabilidad, al precalentamiento solo provee una ligera mejoría y puede ser excluido.

La fisuración puede ser mínima o evitada por precalentamiento de estos aceros a temperaturas entre 204 y 372 °C, dependiendo de las características de el material base y de la soldadura y la intensidad de los servicios requeridos. Las temperaturas de precalentamiento pueden ser mantenidas durante la operación de soldadura.

Después de soldar y enfriarse la soldadura aproximadamente un cuarto de la temperatura alcanzada, un tratamiento de pre-calentamiento entre 704 y 790 °C por una hora/por pulg. de sección. debe hacerse completamente (mínimo una hora). Un tratamiento de post-calentamiento en dichas secciones y con un enfriamiento con aire, bajo estas condiciones se obtiene buena ductibilidad en las soldaduras. En algunos casos los tratamientos de

de post-calentamiento de normalización y tempering pueden ser aplicados y obteniendo soldaduras con magnificas propiedades. Ocasionalmente, el tratamiento de post-calentamiento puede ser omitido, y se obtiene una soldadura satisfactoria.

La presencia de algo de ferrita en la estructura martensitica deprime la dureza desarrollada en el acero. esta ferrita reduce la susceptibilidad a la fractura. No obstante, la velocidad de enfriamiento y los interpasos de soldadura y temperatura deben ser controlados. El tratamiento de pre-calentamiento entre 150 y 260 °C es generalmente aconsejable, y este debe ser seguido por un tratamiento de post-calentamiento a 705 a 788 °C. Cuando se soldan secciones o tubos delgados alrededor de 3/16 de pulg. de espesor pueden ser omitidos los tratamientos de pre-calentamiento y de post-calentamiento.

El contenido de carbón de los aceros es el más importante factor en la determinación de un modo u otro del precalentamiento sea o no necesario. Siempre es fundamental el contenido de carbón en un acero, conteniendo no más de .10 % de carbón, raramente requiere calentamiento, para prevenir la fisuración. Otro de los factores que es determinante para un precalentamiento es la cantidad de soldadura que se va a depositar, la presencia de filos o muescas, y la composición del metal de aporte.

Una guía práctica completa que puede ser usada para correlacionar al precalentamiento y el tratamiento de post-calentamiento está basada en el contenido de carbón y en las características de la soldadura de los aceros inoxidables martensíticos.

Abajo de 0.10 % de carbón. En general ninguno de los dos, calentamiento, ni post-calentamiento es requerida. Aceros con contenido de carbón bajo no son conocidos como estandar.

0.20 a 0.50 % de Carbón. Precalentamiento a 260 °C soldar a esta temperatura, y enfriar lentamente.

0.20 a 0.50 % de carbón. Precalentar a 260 °C, soldar a esta temperatura, y recoocer después de soldar.

Arriba de 0.50 % de Carbón. Precalentar a 260°C, soldar lentamente para que exista una buena entrada de calor, y recoocer después de la soldadura.

Los aceros inoxidables tipo 410 y 420 son electrodos o varillas de aporte que más se encuentran comercialmente, para usarse como metal de aporte. Esta limitación es importante cuando se busca otros tipos de aceros martensíticos, ya que debex ser similares las propiedades en ambos en metal de aporte y metal base.

Cuando un electrodo comercial del tipo 410 o también en forma de varilla desnuda, son usadas para soldar acero inoxidable tipo 410, una temperatura recomendable de precalentamiento entre 260 y 370 °C es aconsejable.

Cuando se soldan con aceros inoxidables austeníticos tipo 310 o 309 como metal de aporte es preferible un tratamiento de post-calentamiento.

Al soldar un acero inoxidable martensítico es casi inevitable que se haga duro y frágil en mayor o menor grado, de acuerdo a la técnica que se siga para soldarlo, también puede reducirse o eliminarse en gran parte, si de acuerdo al tamaño de la pieza, se le puede hacer un tratamiento térmico de recoocido, el cual consiste en elevar la temperatura de la pieza hasta 800 °C, dejarla enfriar lentamente hasta 600 °C y posteriormente puede enfriarse rápidamente.

Otro acero inoxidable martensítico más usado es el 502 y su característica principal es su contenido de molibdeno el cual le da máxima resistencia a elevadas temperaturas (hasta 1300 °C). Por lo tanto los electrodos usados para soldarlo tienen una buena cantidad de molibdeno (0.9%) que casi es el doble del contenido en el tipo 502 (0.5 %) y con un contenido de cromo un poco más elevado que el del metal base.

### CONCLUSIONES.

El primer paso para llevar a cabo una soldadura de un acero inoxidable es identificar el tipo de acero inoxidable, conociendo el análisis químico de este, ya que cada acero inoxidable tiene una varilla de aporte o electrodo balanceado químicamente para compensar las pérdidas por oxidación provocadas por el arco eléctrico, para que así el depósito y el metal base presenten las mismas propiedades y además saber si necesita o no tratamientos posteriores de relevados de esfuerzo.

El segundo paso, es la elección del proceso de soldadura para efectuar la unión que dependerá del tiempo disponible para realizar dicha soldadura, las dificultades en el campo de trabajo (versatilidad), el espesor a soldar, la velocidad de deposición del material requerida, y por último la economía del proceso.

El proceso TIG requiere una gran limpieza previa a la soldadura, la eliminación de todas las partículas de acero dulce, carbón, azufre, cinc, escoria, y aceites o grasas en el material base. Debido a la limpieza que exige el proceso TIG, las soldaduras son bastante homogéneas, no existen posibilidades de inclusiones de óxidos u otro tipo de inclusión no metálica, pero son más lentas de realizarse, de alto precio, y solo se aplican a espesores menores de un 1/4 de pulgada.

La soldadura con arco eléctrico son más económicas y el tiempo de deposición es más rápido que el proceso TIG, más versátil, y se recomienda en donde el tiempo es más importante que la calidad del

depósito de la soldadura, cuando existen reparaciones de emergencia, y es utilizada para cualquier espesor.

La humedad del revestimiento del fundente puede producir porosidades, y también la limpieza no es tan eficaz como en el proceso TIG, ya que después de depositar un cordón de soldadura tiene que quitar la escoria y cepillar el cordón de soldadura esto tiende a dejar ciertas inclusiones de escoria y a future una posible grieta.

El proceso MIG es un proceso semiautomático de alta velocidad, y de muy alto precio, sirve para secciones delgadas y solo puede ser usado en una sola posición, es utilizado en industrias automatizadas, un ejemplo; en la fabricación de tubería de acero inoxidable con costura de para servicios de alta temperatura y medios corrosivos.

### RECOMENDACIONES.

Los revestimientos de caliza producen un cordón ligeramente convexo, y los revestimientos de rutilio un cordón ligeramente cóncavo. Los revestimientos de rutilio tienden a perder cromo en el arco, por lo que para compensar esta pérdida exige una adición de ferrocromo en el revestimiento.

La composición de las varillas de aporte de acero inoxidable de los electrodos no corresponde necesariamente a la del acero inoxidable que se desea soldar. La razón de este hecho es de tipo económico; hay demasiados tipos de aceros inoxidables, y fabricar un número correspondiente de varillas aleadas con revestimientos de caliza y rutilio supondría un precio muy alto para los electrodos producidos. Otra de las razones importantes es que los elementos aleantes, en particular el cromo y el titanio, se pierden en la escoria. Si se desea un metal depositado con un 18 % de Cr. entonces es preciso emplear electrodos con 19.5 % de cromo, para compensar las pérdidas de fusión. El titanio es tan reactivo que no se puede asegurar que cantidad quedará en el metal depositado. Una parte considerable se oxidará y pasará a la escoria.

Las varillas o electrodos 308 tienen múltiples usos; se pueden utilizar para unir tipos comunes de acero inoxidable, tales como el 301, 302, 304, 305, y algunas veces si se precisa soldadura dúctil, se emplean para unir otros tipos como el 201, 202 y los aceros martensíticos 403, 410 y 420. Los electrodos con bajo contenido de carbono de acero 308L tienen un contenido de este elemento extremadamente bajo, para reducir la precipitación de carburos. Los tipos 309 y 310 se utilizan para soldar aceros de baja aleación y aceros al carbono con aceros inoxidables. Los tipos con aleación de niobio 309Cb y 310Cb, contienen niobio y tántalo, a fin de evitar la corrosión intergranular debida a la formación de carburos de cromo. Para cierto tipo de trabajos en reactores. Las varillas de acero 310 son especialmente útiles para soldar placa de acero inoxidable, ya que su alto contenido de elementos aleantes permite su dilución por el acero al carbono del metal base.

Los tipos de varilla 316 y 316 L se utilizan con metales base del mismo tipo. El tipo 347 corresponde a un acero inoxidable estabilizado con niobio (y algo de tántalo). Los electrodos con varilla de este acero resultan apropiados para unir el acero inoxidable 347 y el acero 321 con el 347. Las varillas para electrodos formados con acero 321 no se fabrican, porque el acero 321 contiene titanio, un metal que resulta demasiado reactivo para atravesar el arco sin convertirse en escoria.

Las varillas para electrodos 410 son martensíticas y pueden utilizarse para unir la mayor parte de los aceros martensíticos como son los tipos 403 y 410. Como el 410 es un acero autotemplable, la soldadura resultará templada al enfriarse, sin embargo, si el contenido de carbono no supera el 0.12 % entonces será casi siempre necesario el precalentamiento de la soldadura, posiblemente también sea necesario además un recocido.

El tipo de varilla 430 es ferrítico y se utiliza para unir aceros inoxidables ferríticos como el 430, el más común. Un cordón ferrítico debe tener una ductibilidad excelente y no presentar problemas a este respecto, debido a que la ferrita es una fase dúctil de los aceros. Sin embargo, el metal depositado por los electrodos 430 pueden resultar frágil, debido a un efecto de crecimiento de grana (que no se puede evitar en la soldadura por arco) y a la formación de algo de martensita. También es necesario un recocido después de la soldadura.

Los electrodos de tipo 502 no contienen níquel; se utilizan para unir aceros inoxidables de la serie 500. Estos aceros se emplean principalmente en las instalaciones de refinación de petróleo, cuando los crudos contienen compuestos de azufre. La explicación de la ausencia de níquel reside en que los compuestos de azufre resultan altamente corrosivos para el níquel y las aleaciones de este compuesto. La serie 500 es autoendurecibles como los aceros martensíticos de la serie 400 y requieren precalentamiento y un recocido posterior.

Por último las recomendaciones generales son para los aceros inoxidables, el metal tiene que estar limpio de óxido, aceite, grasa, suciedad y acero al

carbón ; todas estas sustancias son origen de porosidad y captación de carbene. Solo se deben utilizar cepillos de acero inoxidable en el caso de soldadura con electrodos revestidos para la limpieza. Debe evitarse el contacto con el carbene o el grafito. El fundente bajo en hidrógeno de los electrodos de acero inoxidable debe protegerse de la acción del vapor de agua de la atmósfera para este existen pequeñas estufas de capacidades de 50 Kg, en el mercado nacional y disminuir el riesgo de que exista porosidad en las soldaduras. Se puede disminuir el calor suministrado al material con electrodos de diámetros pequeños , utilizando pequeñas corrientes y con polaridad invertida; de esta forma, se controla el crecimiento de grano en los aceros inoxidables ferríticos, el de la oxidación excesiva, y la pérdida de elementos aleantes. Hay que utilizar un arco corto ya sea en el proceso TIG como por arco eléctrico ya que se introduciría oxígeno y el óxido se oxidaría.

Por último en algunas ocasiones si es posible soldar los aceros inoxidables austeníticos, con soldadura de plata (en realidad es una aleación de plata-acero), este es utilizado en piezas pequeñas, ejemplo conexiones de tuberías menores de 1 pulgada, que trabajen a alta presión, se debe limpiar perfectamente la pieza y agregar fundente y soldar con el proceso de llana crioestilética.

APENDICE

Clasificación respecto a la composición.

E308.- La composición nominal del metal de aporte es 15 por ciento de cromo y 9 por ciento de níquel. Las especificaciones comerciales varían en los requisitos de aleación mínimos y, consecuentemente, los nombres 18.8, 19.9 y 20.10 a menudo se asocian con electrodos de esta serie. Estos se usan más comúnmente para soldar metal base de composición similar.

E308L.- La composición de este metal de aporte es idéntico al E308, excepto el contenido de carbono. Suministrado bajo carbono (0.04 máx.) en este electrodo, es posible obtener resistencia a la corrosión intergranular, debido a la precipitación de carburos, sin usar estabilizadores tales como columbio y titanio. Se ha demostrado que un contenido de carbono de 0.04 máx. es adecuado en el metal de aporte, aun cuando se reconoce que las especificaciones de los metales base similares, requieren una limitación de 0.03. Estos grados de bajo carbono no son tan fuertes a elevadas temperaturas como los grados estabilizados con columbio.

E309.- La composición nominal del metal de aporte es 25 por ciento de cromo y 12 por ciento de níquel. Los electrodos de esta serie comúnmente se usan para soldadura de aleaciones similares en las formas de forjado y de colado. Ocasionalmente se usan para soldaduras de metal base 18-8, en donde existen severas condiciones de corrosión que requieren metales de aporte de más alta aleación, tales como unir 18-8 con acero dulce, soldadura lateral de forros de acero 18-8 y aplicaciones de revestimientos de lámina de aceros con 12 por ciento de cromo a corazas de acero dulce.

E309Cb.- La composición de este electrodo es idéntica al E309, exceptuando la adición de columbio y una reducción en el límite de carbono.

El columbio proporciona estabilidad contra la corrosión intergranular y también proporciona mayor resistencia en servicio a elevada temperatura. Los electrodos se usan principalmente para soldadura de ferro de acero del tipo 347 o para soldadura de metales no similares, tales como acero inoxidable 18-8 estabilizado con columbio, con acero dulce.

E 309Mo.- La composición de este electrodo es idéntica al E 309, excepto por la adición de molibdeno y por una reducción en el límite de carbono. Este electrodo se usa principalmente para soldaduras de ferro de acero del tipo 316, o para soldadura de metales no similares, tales como acero inoxidable austenico que contenga molibdeno, con aceros al carbono.

E 310.- La composición nominal del metal de aporte es 25 por ciento de cromo y 20 por ciento de níquel. El metal de aporte de esta clasificación se usa más comúnmente para soldar metales base de composición similar.

E 310Cb.- Estos electrodos son idénticos en composición que los E310, excepto por la adición de columbio y por el límite más bajo de carbono. Se usan principalmente para la soldadura de forros de acero tipo 347 o para soldadura de metales no similares, tales como aceros al columbio, para cojinetes de acero al carbono.

E 310 Mo.- Estos electrodos son idénticos en composición a los E 310, excepto por la adición de molibdeno y por el límite más bajo de carbono. Se usan principalmente para soldaduras de forros de acero de tipo 316 o para soldadura de metales no similares, tales como aceros inoxidables con molibdeno, para cojinetes a aceros al carbono.

E312.- La composición nominal del metal de aporte es 29 por ciento de cromo y 9 por ciento de níquel. Estos electrodos originalmente fueron diseñados para soldar aleaciones coladas de composición similar. Más recientemente se han encontrado valiosos para soldar metales de composiciones no similares, en los que un componente tiene alto contenido de níquel. Esta aleación produce depósitos de soldadura de dos fases, con

porcentajes sustanciales de ferrita en una ganga de austenita. Aun con dilución considerable por elementos que forman austenita, tales como el níquel, la micro-estructura permanece en dos fases, quedando altamente resistente para soldar grietas y fisuras del metal.

E-16-8-2.- Los electrodos del tipo E16-8-2 contienen aproximadamente 16 por ciento de cromo, 8 por ciento de níquel y de 1 a 2 por ciento de molibdeno y se usan principalmente para soldadura de cualquier tipo de composición 316, 317, y 347, cuando se emplean en sistema de tuberías de alta presión y de alta temperatura. El depósito de soldadura es usualmente austenita, con ferrita presente en cantidades hasta del 5 por ciento.

El depósito también tiene buenas propiedades de ductibilidad en caliente lo que da mayor libertad de soldar, o de rotura de cráter, aun bajo condiciones de alta fijación. El metal de aporte tiene excelentes propiedades mecánicas, ya sea en la condición de soldado o de tratado en solución.

Estos electrodos dependen de una composición química muy cuidadosamente balanceada para desarrollar completamente sus propiedades. Las pruebas de corrosión indican que los electrodos E16-8-2 reaccionan muy similarmente al tipo de composición 316. En donde el conjunto de partes soldadas está expuesto a corrosivos severos, el primer paso deberá soldarse con un electrodo estabilizado con columbio.

E 316.- La composición nominal del metal de aporte es 18 por ciento de cromo, 12 por ciento de níquel y 2 por ciento de molibdeno. Las especificaciones comerciales varían en los requisitos de aleación mínimos y, consecuentemente, el nombre 18-8 No a menudo se asocia con estos electrodos. Los electrodos se usan, por lo general, para soldadura de aleaciones especiales y similares que contengan de 2 a 3 por ciento de molibdeno. También se usan para ciertas aplicaciones de servicio a alta temperatura. La presencia de molibdeno proporciona resistencia al fenómeno de fluencia a elevadas temperaturas.

E 316L.- La composición de estos electrodos es idéntica a los E316, excepto por el contenido de carbono(0.04 máx.) este electrodo, es posible obtener resistencia a la corrosión intergranular debida a la precipitación de carburo sin el uso de estabilizadores tales como el columbio o el titanio. Estos electrodos se usan principalmente para soldadura de aleaciones de austenita con molibdeno, de muy bajo contenido de carbono, para cojinetes, cuya especificación usual(para carbono) es de 0.003 máx. Las pruebas han mostrado que un límite de carbono de 0.04 en el metal de aporte proporciona una amplia protección contra la corrosión intergranular.

E 317.- El contenido de aleación de estos electrodos es algo más alto que en los electrodos E316, particularmente en molibdeno. Usualmente se emplean para soldaduras de aleaciones de composición similar. El uso de estas aleaciones generalmente se limita a aplicaciones de corrosión severa que involucran ácidos sulfúrico, sulfuroso y sus sales.

E 318.- La composición de este electrodo es idéntica al electrodo E 316 excepto por la adición de columbio. Este proporciona estabilidad contra la corrosión intergranular, debida a la precipitación de carburo. Estos electrodos se usan principalmente para soldadura de metales base de composición similar.

E320.- La composición nominal del metal de aporte para esta clasificación es de 20 por ciento de cromo, 34 por ciento de níquel, 2.5 por ciento de molibdeno y 3.5 por ciento de cobre, con la adición de columbio, para proporcionar estabilidad contra la corrosión intergranular debida a la precipitación de carburo. Este metal de aporte normalmente se usa para soldar metales base de análisis similar, y para aplicaciones donde se requiere resistencia a la corrosión severa, que involucre un amplio rango de agentes químicos, incluyendo a los ácidos sulfúrico, sulfuroso y sus sales. Pueden usarse para soldar aleaciones forjadas y fundidas, de composición similar, sin tratamiento térmico posterior a la soldadura.

Una modificación de esta clasificación sin columbio está disponible para reparación de piezas de fundición que no contienen columbio, pero con esta composición modificada se requiere un recocido en solución después de la soldadura.

E 330.- La composición nominal de estos electrodos es de 35 por ciento de níquel y 15 por ciento de cromo. Puesto que el níquel es el elemento predominante, estos electrodos comúnmente se usan para propiedades de resistencia al calor y a la incrustación, arriba de 1800 °F. las reparaciones de defectos en las piezas de fundición de aleación y la soldadura de piezas de fundición y de aleaciones forjadas de composición similar, son las aplicaciones más comunes.

E347.- La composición nominal del metal de aporte es de 19 por ciento de cromo, 9 por ciento de níquel con columbio o columbio más tántalo agregados con estabilizadores. Las especificaciones comerciales varían en los requisitos de aleación mínima, y consecuentemente los nombres 18-8 estabilizada o como aleación 19-9, indicando que no está sujeta a corrosión intergranular resultante de la precipitación del carburo.

Estos electrodos generalmente se usan para soldadura de aleación de cromo-níquel, de composición similar estabilizada ya sea con columbio o con titanio. Los electrodos que depositan titanio como un elemento estabilizador no están disponibles en el comercio, debido a que el titanio no se recupera fácilmente en el metal de la soldadura. A pesar de que el columbio es el elemento estabilizador generalmente especificado en las aleaciones del tipo 347, deberá admitirse que el tántalo también está, a veces, presente en cantidades de hasta un medio del total del columbio más el tántalo. El columbio y el tántalo son, ambos, efectivos para estabilizar al carbono y para proporcionar resistencia a alta temperatura. Esta especificación admite la práctica comercial usual de registrar el columbio como la suma de columbio más tántalo.

Sin embargo, debido a la costumbre de agregar tántalo junto con columbio como estabilizador, un tipo 348 (a veces llamado como 347 LTA) ha llegado a tener alguna importancia. Este tipo restringe la cantidad de tántalo generalmente a 0.10 por ciento máximo en el metal depositado y tiene preferencia en aplicaciones en donde el columbio se requiere únicamente como ingrediente estabilizador principal.

Cuando el uso de los electrodos es tal, que el contenido de ferrita mínimo de estructura del metal de soldadura debe controlarse, los requisitos adicionales podrán aplicarse respecto al cromo como una función del contenido níquel. Sin embargo algunas aplicaciones, especialmente aquellas que involucran servicio a alta temperatura, se afectan adversamente por un contenido demasiado alto de ferrita y, consecuentemente, este requisito agregado no deberá especificarse, a menos que las pruebas demuestren que es absolutamente necesario.

E 349.- La composición nominal del metal de soldadura es 19 por ciento de cromo, 9 por ciento de níquel, 1 por ciento de columbio, 0.5 por ciento de molibdeno y 1.4 por ciento de tungsteno. Los electrodos son comúnmente llamados 19-9 W No y generalmente se usan para soldar aceros de composición similar. Tales aceros son comúnmente conocidos como 19-9 W No, 19-9 DL ó 19-9 DL.

La combinación del columbio, el molibdeno y el tungsteno con el cromo y el níquel da alta resistencia a la ruptura a altas temperaturas. La composición química del metal de la soldadura da por resultado un contenido apreciable de ferrita que contribuye materialmente a la resistencia contra el agrietamiento del metal de soldadura.

E 410.- Esta aleación de 12 por ciento de cromo es un acero que se endurece al aire y, por lo tanto, requiere tratamiento de precalentamiento y de post-calentamiento para lograr soldaduras de ductibilidad

adecuada para muchos propósitos de ingeniería. La aplicación más común de estos electrodos es para soldadura de aleaciones de composiciones similares. También se usan para metalizar aceros al carbono, para obtener resistencia contra la abrasión, contra la erosión y contra la corrosión, tal como ocurre en los asientos de las válvulas y en otros componentes de las válvulas.

E 430.- Los electrodos en esta clasificación generalmente contienen entre 15 y 17 por ciento de cromo. La composición se balancea proporcionando suficiente cromo para dar adecuada resistencia contra la corrosión en las aplicaciones usuales y aún retener suficiente ductividad en el tratamiento térmico para lograr los requisitos mecánicos de la especificación. (El cromo en exceso da por resultado una disminución de ductilidad).

La soldadura con los electrodos E 430 usualmente requieren pre-calentamiento antes de la soldadura y un tratamiento de post-calentamiento después de la soldadura. Se obtienen propiedades físicas óptimas y resistencia a la corrosión únicamente cuando el conjunto de partes soldadas se trata térmicamente después de la operación de la soldadura.

E 502.- Los electrodos de esta clasificación contienen de 4 a 6 por ciento de cromo, aproximadamente 0.50 por ciento de molibdeno y se usan para soldar metales base de composición similar, usualmente en forma de tubo. La aleación es un material que se endurece con el aire y, en consecuencia cuando se está soldando con electrodos E 502 se recomienda ampliamente un tratamiento de precalentamiento y de post-calentamiento.

E 505.- Los electrodos del tipo 505, comúnmente llamados como el tipo 8-10 por ciento de cromo, también contienen aproximadamente 1 por ciento molibdeno y se usan para soldadura de metales base de la misma

composición. Como en los tipos 502 y 7 Cromo, el metal base usualmente se proporciona en forma de tubo, así como en piezas de fundición.

El tipo 505 es un material que se endurece al aire y, como tal, debe soldarse empleando el pre-calentamiento y relevado de esfuerzos para lograr resultados satisfactorios.

E 7Cr.- Los electrodos de la clasificación 7 cromo tienen un contenido de cromo del 6 al 8 por ciento, con aproximadamente 0.50 por ciento de molibdeno y su principal uso consiste en la soldadura de metales base de composición similar. El metal base de 7 Cromo se suministra usualmente en forma de tubo, y piezas de fundición. Este es un material que se endurece con el aire y, como tal, requiere el uso de pre-calentamiento y relevado de esfuerzos para lograr una soldadura satisfactoria.

**Clasificación respecto al uso.**

Unicamente dos clasificaciones de uso se proporcionan en esta prueba o especificación, según el tipo de corriente con la que se pueden usar los electrodos. En ambos tipos de clasificación se consideran todas las posiciones de los electrodos (Referirse a la tabla de Clasificaciones de electrodos).

El tipo de revestimiento aplicado a un núcleo de alambre para hacer un electrodo de soldadura de arco-estático determina las características de uso del electrodo. La siguiente discusión de los tipos de revestimiento se basa en la terminología comúnmente usada por la industria, pero no se ha hecho intento alguno para definir los tipos respecto a su composición.

**Designación de uso -16.-** Esta designación se aplica a electrodos para corriente directa y para corriente alterna. Los electrodos pueden tener cualquier tipo de revestimiento, tipo "cal" similar al -15, o revestimiento, tipo "titania", indicando una gran proporción de minerales de titanio para chumaceras.

El revestimiento para estos electrodos generalmente contiene elementos fácilmente ionizables, tales como el potasio, para poder estabilizar el arco para la soldadura de corriente alterna.

Designación de uso-15.- El revestimiento usualmente aplicado a estos electrodos se llama tipo "cal" lo que indica que el revestimiento contiene una gran proporción de calcio u otros minerales alcalinos-térreos. Los electrodos se pueden usar con corriente directa y polaridad invertida únicamente, y así como en ocasiones su uso se efectúa con corriente alterna, no se intenta calificarlos para usarse con este tipo de corriente.

Pruebas especiales para electrodos.

A pesar de las soldaduras con electrodos amparados por estas especificaciones, comúnmente se usan en aplicaciones de resistencia térmica y de resistencia a la corrosión, no es práctico requerir pruebas contra la corrosión o de resistencia a la incrustación en probetas de soldaduras o de metal de aporte. Esta sección se incluye para la guía de aquellos que desean especificar pruebas especiales.

Pruebas de corrosión y de incrustación.- Las pruebas de probetas de juntas tienen la ventaja de que el diseño de la junta y el procedimiento de soldadura pueden hacerse idénticas a los que se están usando en la fabricación. Tienen la desventaja ser una prueba de propiedades combinadas del metal de la soldadura, de la zona térmicamente afectada del metal base y del metal base no afectado. Además es difícil obtener datos reproducibles, si existe una diferencia entre las velocidades de corrosión y de oxidación de las diferentes estructuras metálicas (metal de soldadura, zona térmicamente afectada y metal base no afectado). Las probetas de pruebas no pueden estandarizarse rápidamente si el procedimiento de soldadura y el diseño de la junta van a ser considerados

como una variable. Las probetas de la junta para pruebas de corrosión no deberán usarse para calificar el electrodo, pero pueden usarse para calificar los procedimientos de soldadura usando materiales aprobados.

Las probetas del puro metal de la soldadura para probar la corrosión o la resistencia a la incrustación, se preparan siguiendo el procedimiento delineado para la preparación de cojincillos para análisis químicos. El tamaño del cojincillo deberá ser por lo menos de  $3/4$  de pulg de altura por  $2\ 1/2$  pulg. de ancho y por  $(1+5/8n)$  pulg de largo, en donde "n" representa el número de probetas que se saquen del cojincillo. La temperatura del cojincillo es entre pasos especificada en otra sección enfriando con agua o con aire, según se requiera. Las probetas que midan  $1/4$  por  $1/2$  por " pulg se maquinan de la superficie del cojincillo de manera que la dimensión de 2 pulg de la probeta sea paralela a la longitud del cojincillo.

Los tratamientos térmicos, el acabado de la superficie y la marca de las probetas, previas a la prueba, deberá estar de acuerdo con las prácticas estándar para pruebas de aleación de aleación similares en las formas colada y forjada. El procedimiento de prueba deberá corresponder a la práctica recomendada para efectuar Pruebas de Corrosión de Planta (Designación ASTM: A 224), o con la práctica recomendada para Detectar Susceptibilidad al ataque Intergranular en los Aceros Inoxidables (Designación ASTM: A 262).

Pruebas para propiedades mecánicas.- Pueden desearse pruebas de probetas de juntas cuando la aplicación proyectada involucra la soldadura de metales no similares. Los procedimientos para las pruebas mecánicas de tales probetas de juntas deberán estar de acuerdo con los "Metodos Estándar de Pruebas Mecánicas para Soldaduras " de la American Welding Society.

Las pruebas de probetas de juntas pueden ser influenciadas por las

propiedades del metal base y por los procedimientos de soldadura y pueden no proporcionar pruebas adecuadas del metal de la soldadura. Tales pruebas deberán considerarse como pruebas para calificar los procedimientos de soldadura usando materiales aprobados, mas bien que para calificar a los electrodos.

En donde los códigos de fabricación requieren pruebas de soldadura tratadas térmicamente en forma diferente a las especificadas en la tabla 4, pueden desearse pruebas del puro metal de la soldadura de probetas tratadas térmicamente. Para la preparación de tales probetas se deberán seguir los procedimientos delineados anteriormente.

**ELECTRODOS DE ACERO AL CROMO Y AL CROMO-NIQUEL RESISTENTES  
A LA CORROSION ,REVESTIDOS . RECOMENDACIONES DE USO.**

**A DEFINICIONES.**

**A.01 Alcance**

Esta Norma especifica los requisitos para electrodos de acero al cromo y al cromo -niquel en cuyo depósito del metal de aporte, el cromo exceda al 4 por ciento y el níquel no exceda de 50 por ciento.

**A.02 Definiciones**

**Resistencia de tensión.- Tensile strength.**

Se llama resistencia de tensión al esfuerzo de tensión máxima que un material es capaz de soportar. La resistencia de tensión se calcula con la carga máxima registrada durante una prueba de tensión que se lleva hasta la rotura y la sección transversal original del espécimen.

**Límite de fluencia.- Yield point.**

Se llama límite de fluencia de un material al primer esfuerzo menor que el esfuerzo máximo necesario para producir un gran incremento de deformación sin seguir incrementando el esfuerzo. Se debe hacer notar que solamente los materiales que presentan el fenómeno de cedencia, pueden tener un límite de fluencia.

**Límite elástico.-Elastic limit.**

Se llama límite elástico al esfuerzo más grande que un material es capaz de soportar, sin dejar deformaciones permanentes después de liberarlo completamente de dicho esfuerzo.

Resistencia de Fluencia.--Yield strength.

Se llama resistencia de fluencia al esfuerzo sobre un material, específicamente limitado para desviarse de la proporcionalidad de los esfuerzos y de las deformaciones. Se expresa en términos de deformación.

0.2% de la deformación por el método de desalojamiento.

0.5% de la deformación por el método de la extensión total bajo la carga.

## B REQUISITOS DE ACEPTACION

### Parte 1.-- CLASIFICACION Y ACEPTACION.

#### B.01 Clasificación.

Los electrodos se clasifican con base del analisis químico del metal de aporte y de las características de uso, como se especifica en las tablas 1 y 2.

TABLA 1  
CLASIFICACION DE LOS ELECTRODOS

Clasificación AWS corriente directa polaridad invertida	Clasificación AWS corriente alterna y directa; Polaridad invertida	Clasificación AWS Corriente directa polaridad invertida	Clasificación AWS corriente alterna y directa; Polaridad invertida
E 308-15	E 308-16	E 317-15	E 317-16
E 308L-15	E 308L-16	E 318-15	E 318-16
E 309-15	E 309-16	E 320-15	E 320-16
E 309Cb-15	E 309Cb-16	E 330-15	E 330-16
E 309 Mo-15	E 309Mo-16	E 347-15	E 347-16
E 310-15	E 310-16	E 349-15	E 349-16
E 310Cb-15	E 310Cb-16	E 410-15	E 410-16
E 310Mo-15	E 310Mo-16	E 430-15	E 430-16
E 312-15	E 312-16	E 502-15	E 502-16
E 16-8-2-15	E 16-8-2-16	E 505-15	E 505-16
E 316-15	E 316-16	E 7Cr-15	
E 316-15	E 316L-16		

Los electrodos ,hasta 5/32 de pulg inclusive, se pueden usar en todas las posiciones; en tanto que los de 3/16 de pulg y mayores se pueden usar sólo en posiciones plana y horizontal para soldaduras de filete.

Todo electrodo ordenado en una clasificación no debe incluirse en otra.

**B.02 Fabricación.**

Los electrodos pueden fabricarse por cualquier método que rinda un producto conforme a los requisitos de esta especificación.

**B.03 Aceptabilidad**

La composición química del metal de aporte depositado como se estipula en la sección (V) y las pruebas mecánicas señaladas en la sección (VI), deberán efectuarse cuando y cómo lo señale el proveedor para el propósito de clasificación.

A opción y a expensas del comprador, cualquiera o todas las pruebas siguientes pueden usarse como base de aceptación de los electrodos.

**B.04 Composición Química.**

Los electrodos deberán poder depositar metal de aporte conformes a los requisitos de la composición química señalada en la tabla 2, cuando se sueldan de acuerdo a la sección (XIX).

**B.05 Pruebas Mecánicas**

Las pruebas siguientes se prescriben para demostrar las propiedades mecánicas y lasanidad del metal depositado así como el uso de los electrodos clasificados aquí:

Una prueba de tensión del puro-metal de la soldadura.

Una prueba de soldadura de filete.

**B.06 Metodos de prueba.**

Las probetas deberán prepararse en clase y en número, tal como se especifica en la tabla 3 y las pruebas deberán efectuarse de acuerdo con las secciones ya anteriormente señaladas.

TABLA 3

## RESUMEN DE REQUISITOS DE PRUEBA

Designación todas las clasifica- ciones	Electrodo		Posición de la soldadura.		
	Dímetro Pulg	corriente	Análisis químico	Pruebas de ten- sión del puro metal de la soldadura	Prueba de solda- dura de filete.
	1/16, 5/64, 3/32	directa polaridad invertida	F	No requerida	No requerida
	1/8, 5/32	Directa polaridad invertida	F	F	V y OH
	3/16, 1/4	Directa polaridad invertida	F	F	H
	1/16, 5/64, 3/32	corrientes alterna y directa	F	No requerida	No requerida
	1/8, 5/32	polaridad directa	F	F	V y OH
	3/16, 1/4	polaridad invertida	F	F	H

Nota-Las abreviaturas F,V,OH indican posiciones para soldar (fig .1) como sigue:

- F- plana
- H = Horizontal.
- V = Vertical
- O = Sobre-cabeza.

## B.07 Requisitos de prueba.

Para que un electrodo pueda clasificarse bajo esta Especificación , además de los requisitos químicos prescritos en la sección(V),deberán poder dar los resultados siguientes:

Las probetas de prueba de tensión del puro metal de la soldadura deberán ajustarse a los principios prescritos en la tabla 4.

Las probetas de prueba para soldadura de filete, al examinarse, deberán encontrarse libres de grietas y de otros defectos visibles que afecten su resistencia. Bajo examen de la cara que ha sido pulida y grabada como se estipula, se requiere que:

Cada filete deberá haber penetrado hasta la Unión de los bordes de la placa, o más allá de esta.

Amos catetos de cada soldadura de filete deberá ser de igual longitud, con una tolerancia de  $1/16$  de pulg.

La convexidad deberá estar dentro de los límites permisibles máximos prescritos por la gráfica mostrada en la Fig.2

La soldadura no debe mostrar evidencias de grietas.

La soldadura deberá estar razonablemente libre de socavados, traslapes, escorias entrapadas y porosidades.

#### B.08 Repetición de pruebas

La repetición de pruebas deberán hacerse de acuerdo con lo siguientes:

Si la probeta de prueba para la tensión del puro metal de soldadura falla en lograr los requisitos, deberán prepararse dos ensambles adicionales de pruebas y ambas probetas deberán ajustarse a las propiedades mecánicas prescritas en la tabla 4.

Si la probeta de prueba de soldadura de filete no llena los requisitos prescritos en la sección (VIII), deberá prepararse y probarse un ensamble adicional.

#### B.09 Núcleo de alambre y recubrimientos.

El diámetro del núcleo de alambre no deberá variar más de  $\pm 0.002$  de pulg del tamaño estándar especificado. La longitud no deberá variar más de  $\pm 1/4$  de pulg de la especificada.

Los revestimientos deberán ser concéntricos, hasta que el grado en que la dimensión máxima del núcleo, más una capa de revestimiento, no exceda la dimensión mínima del núcleo, más una capa de revestimiento, en más del 5 por ciento de la dimensión media. La concentricidad puede medirse por cualquier medio adecuado.

El núcleo de alambre y los revestimientos deberán estar libres de defectos que interferirían con el rendimiento uniforme de los electrodos.

#### B.10 Núcleo expuesto.

La porción de la cola del electrodo, deberá estar libre de revestimiento por aproximadamente  $3/4$  de pulg, pero no más de  $1/4$  de pulg para hacer contacto con el maneral.

El extremo del arco de cada electrodo deberá estar lo suficientemente descubierto para establecer el arco. La distancia desde el extremo del arco en el electrodo hasta el primer punto donde prevalece la sección transversal completa del revestimiento, no deberá exceder un diámetro del núcleo del alambre. Sin embargo, para electrodos mayores de  $1/8$  de pulg, el núcleo del alambre no deberá estar expuesto aproximadamente más de la mitad de la circunferencia, a una distancia de  $1/8$  de pulg o más, desde el extremo del arco.

#### B.11 Longitudes y tamaños estándar.

Las longitudes y tamaños de los electrodos deben ser como se muestra en la tabla siguiente. En todos los casos, el tamaño estándar se refiere al diámetro del núcleo del alambre.

Tamaños nominales, diámetro del núcleo del alambre, en pulg.	Longitudes estándar en pulg.
$1/16$ (0.062), $5/64$ (0.078)	9
$3/32$ (0.094)	9 & 12
$1/8$ (0.125), $5/32$ (0.156)	
$3/16$ (0.188), $1/4$ (0.250)	14

**C. PRUEBAS.**

**C.1 Pruebas requeridas.**

Las pruebas especificadas en las Secciones (V), (VI), (VII) y (VIII) deberán ejecutarse de acuerdo con los requerimientos de la tabla 3 de cada tamaño y clasificación de electrodo, usando las posiciones de soldadura y los tipos de corriente indicados; todos los detalles de prueba deberán ajustarse a los requisitos de esta parte 2.

**C.2 Material para las placas de prueba.**

Para la prueba de tensión del puro metal de la soldadura, el acero que se debe usar deberá cumplir con las Especificaciones para "Placas de acero al Carbón", de Resistencia de Tensión Baja e Intermedia de Calidades para Hogares de Calderas y para Bridas", Grado C, (Placas de 2 pulg y menores, en espesor) (Designación ASTM): A 285. Las placas y los respaldos deberán estar metalizados con 2 capas de metal de aporte depositado en soldadura oscilante como se muestra en cualquiera de las ilustraciones de la fig.3) por los electrodos que están siendo clasificados.

Para la prueba de soldadura de filete, el acero que se debe usar deberá estar de acuerdo con las siguientes especificaciones: Electrodo de la serie E-300 y 16-8-2. Especificación para Placa, Lámina y Tira de acero Inoxidable al Cromo y al Cromo-Níquel, para Recipientes a presión no sometidos a Fuego Directo, Soldados por Fusión (Designación ASTM: A 240), Grado 304.

Electrodos de la Serie E-400. Especificaciones para Placa, Lámina y tira de acero Inoxidable al Cromo y al Cromo-Níquel para Recipientes a presión no sometidos a fuego directo soldados por fusión (Designación ASTM: A 240 ); Grado 430, A o B.

Electrodos de la series E-502, E-505 y E7Cr. Especificaciones para "placas de acero al Carbón de resistencia de Tensión Baja e intermedia de Calidades para Hogares de Calderas y de Bridas", Grado C (Placas de 2 pulg y menores, en Espesor)(Designación ASTM: A 285).

### C.03 Análisis químico.

Los cojincillos de soldadura requeridos deberán depositarse usando el tipo de corriente en la tabla 3, exceptuando que, en donde se especifican ambas corrientes, alterna y directa, únicamente un tipo de corriente deberá usarse. Los cojincillos de metal de aporte para análisis químico deberán prepararse como se describe en los Párrafos siguientes, y el análisis químico deberá hacerse con muestras de cojincillos maquinadas de la manera prescrita.

Los cojincillos de soldadura hechos con electrodos de todas las clasificaciones, excepto la E308L y la E 316 L, deberán depositarse sobre placas de base de acero dulce (0.25 por ciento máximo de carbono). Los cojincillos de soldadura hechos con electrodos de las clasificaciones E 308L y E316L deberán depositarse sobre placas de base de acero que tengan un contenido de carbono de 0.03 por ciento máximo. Todos los cojincillos de soldadura deberán ajustarse a las dimensiones señaladas en la tabla 5.

Los cojincillos deberán depositarse en capas, de las que la anchura de cada paso deberá medir de una y media a dos y media veces el

diámetro del núcleo del alambre. Después de cada capa, el cojincillo deberá ser sumergido en agua (la temperatura no tiene importancia) durante 30 segundos. La longitud del arco deberá ser tan corta como sea práctico; el voltaje máximo del arco y la corriente promedio deberán estar de acuerdo con lo siguiente:

Diámetro del electrodo pulg	amperaje promedio del arco, amperios	Voltaje del arco máximo, volts.
1/16	35 a 45	24
5/64	45 a 55	24
3/32	65 a 80	24
1/8	90 a 110	25
5/32	120 a 140	26
3/16	160 a 180	27
1/4	220 a 240	28

La superficie superior del cojincillo deberá quitarse y desecharse. Una muestra de 1 onza, para el análisis químico, deberá tomarse por maquinado, barrenado o fresado, en forma tal que no se deba quitar metal base, de acuerdo a lo especificado en la Tabla 5. El maquinado deberá hacerse de manera que se evite la contaminación de la muestra.

Nota. A los cojincillo que son demasiados duros para maquinarse deberá dárseles un tratamiento térmico de recocido (Ver Tabla 4).

El metal de aporte deberá analizarse por métodos analíticos aceptados. Los métodos de análisis para arbitraje deberán estar de acuerdo con la técnica apropiada dada a conocer en la última edición de los Métodos para Análisis Químicos de Metales, de la ASTM.

TABLA 5  
DIMENSIONES DEL COJINCILLO DE SOLDADURA

Tamaño del electrodo pulg.	Tamaño del cojincillo mín., pulg.	Distancia mínima de la muestra a la superficie de la placa base, pulg.
1/16, 5/64, 3/32	1 por 1 por 1/2	1/4
1/8, 5/32, 3/16	1 1/2 por 1 1/2 por 5/8	5/16
1/4	2 por 2 por 3/4	3/8

E.04 Las pruebas de tensión deberán efectuarse como se prescribe después en los siguientes párrafos, usando los tipos de corriente para cada tamaño y clasificación de electrodos, tal como se muestra en la tabla 3. Las placas y el respaldo deberán metalizarse con dos capas de metal de aporte, depositadas en hileras de soldaduras por los electrodos que está siendo clasificado, tal como se muestra en cualquiera de las dos clasificaciones de la fig .3. Para los electrodos de las series E 400 y E 500 y los ECr deberá usarse una temperatura de pre-calentamiento mínima de 300° F, durante la metalización.

Las placas deberán sujetarse suficientemente durante las soldaduras, para prevenir que pueden combarse en más de 5 grados deberá descharnarse. Las placas de prueba combadas, no deberán enderezarse.

El ensamble de prueba deberá estar dentro de los rangos de temperatura siguientes, antes de empezar cada paso, medidos en el ensamble a

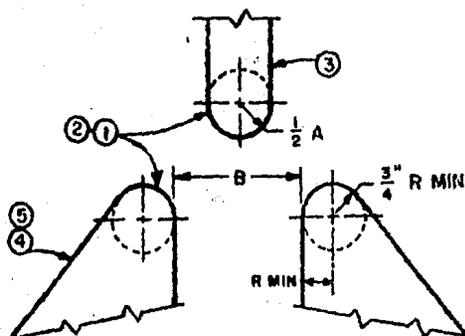
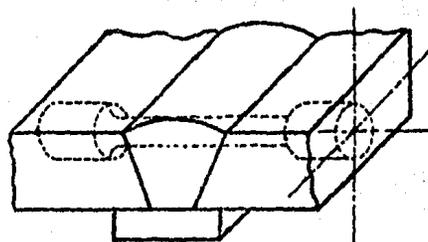
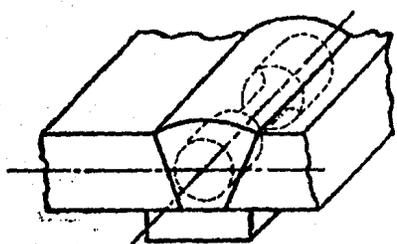
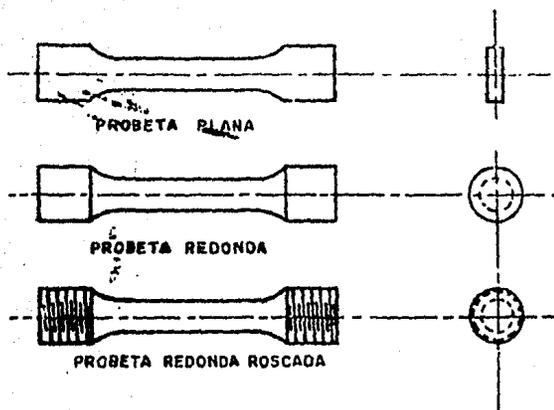
una distancia de 1 pulg desde la soldadura:

Clasificación AWS	Temperatura de interpaso, Grados F.	
	Mín	Máx
Serie E 300	60	300
E16-8-2	60	300
Serie E 400	300	500
Serie E 500	300	500
E 7 Cr	300	500

Si después de cualquier paso, la temperatura máxima especificada en la tabla anterior excede, deberá permitirse que las placas se enfri- en al aire (no enfriar con agua).

Una probeta para prueba de tensión del puro metal de la soldadura, deberá maquinarse de cada ensamble terminado de prueba, tal como se muestra en la fig.3.

Las pruebas de tensión deberán ejecutarse de acuerdo con los Méto- dos de Prueba de Tensión para Materiales Metálicos (Designación ASTM ; E8).



ESPEJOR DE LA PROBETA	A	B
$\frac{3}{8}$ "	$1\frac{1}{2}$ "	$2\frac{3}{8}$ "
t	4t	$6t + \frac{1}{8}$ "

Fig. 3

D. 05 Pruebas de soldadura de filete.

Cuando una clasificación de electrodo permite su uso con más de un tipo de corriente, deberá probarse con cada tipo de corriente.

Deberá prepararse una junta "T", para soldadura de filete, de acuerdo con la fig. 2, incluyendo las dimensiones de las placas de prueba, las posiciones de la soldadura y el tamaño de la soldadura de filete prescrita en esta Especificación para el tamaño particular del electrodo que se está probando.

Al preparar las dos placas que forman el ensamblaje de prueba, la placa que permanece vertical deberá tener un bordo maquinado a lo largo de su longitud, de manera tal, que cuando sea colocado sobre la placa horizontal, la cuál deberá ser recta y lisa, exista un contacto íntimo en toda la longitud de la junta.

Una soldadura de filete de un solo paso deberá depositarse en un lado de la junta, usando los tipos de corriente prescritos en la tabla 3. Cuando se especifica soldar en posición vertical, la dirección del soldado deberá ser hacia arriba. El primer electrodo usado deberá consumirse en toda su longitud, excepto una cola, de no más de 2 pulg de largo. Los electrodos adicionales, si son necesarios, deberán entonces usarse para completar la soldadura de la longitud total de la junta, consumiendo totalmente cada electrodo, como se establece anteriormente hasta donde lo permita la longitud del ensamble.

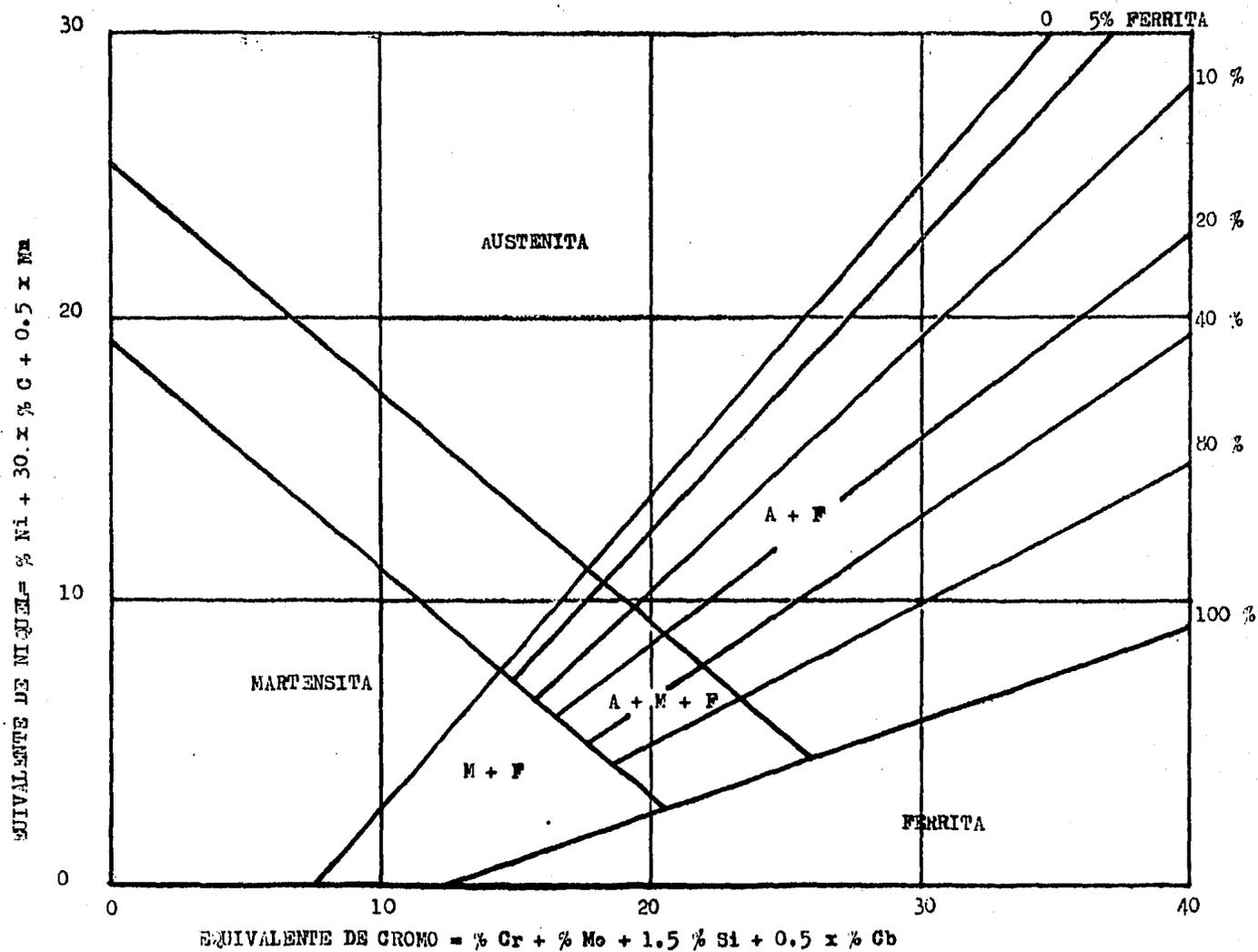
Después de terminar la soldadura del primer lado de la junta, el ensamble deberá enfriarse a temperatura al abrigo (pero no menos de 60°F) por cualquier medio conveniente (Nota) antes de empezar a soldar el segundo lado.

La soldadura de fileto deberá depositarse en el segundo lado de la junta por el mismo procedimiento que se usó con la primera soldadura.

La probeta deberá cortarse en un punto, aproximadamente a 1 pulg atrás del extremo del cráter del depósito de soldadura hecho con el primer lado de la junta. Cualquier cara puede pulirse y grabarse para su examen.

La cara pulida y decapada deberá ser grabada tal como se indica en la Fig. 2 y el tamaño, la longitud de los catetos y la convexidad (de los filetes convexos) se deben determinar hasta un 1/64 de pulg aproximadamente por medición real.

DIAGRAMA DE SCHAEFFLER.



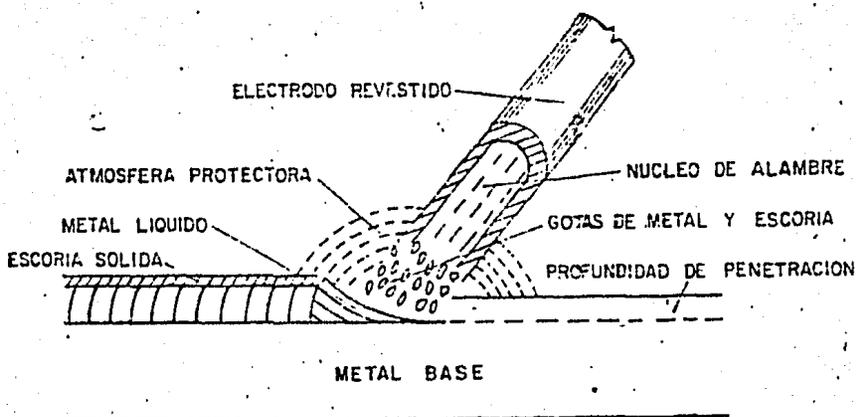


FIGURA 2.1

ESQUEMA DEL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO.

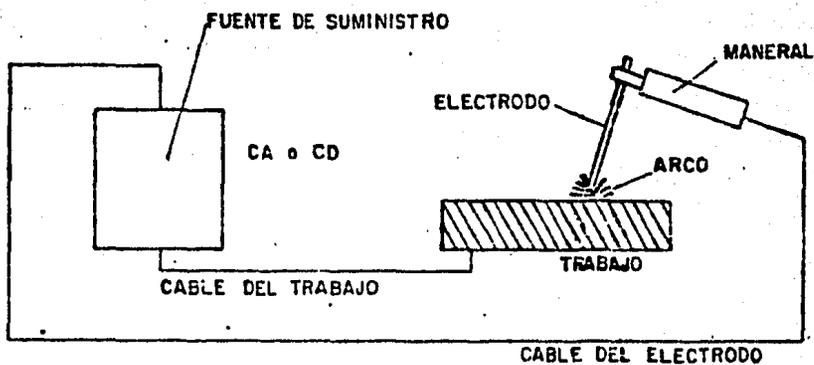


FIGURA 2.2

CIRCUITO DE SOLDADURA.

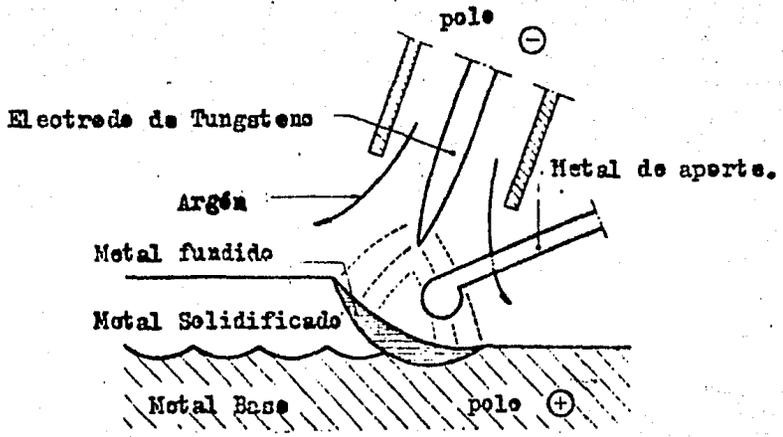


Fig. 2.3 Principio del proceso TIG.

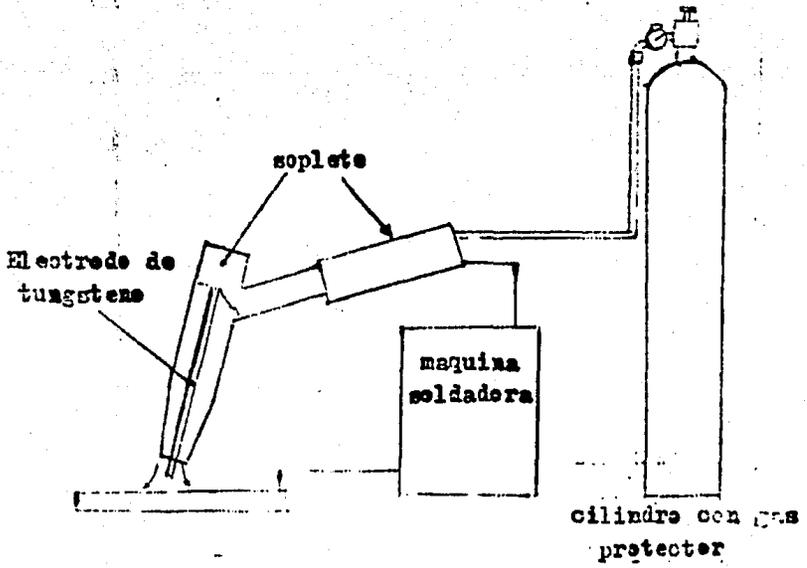


Fig 2.4: Diagrama esquemático del equipo empleado para la soldadura con el proceso TIG.

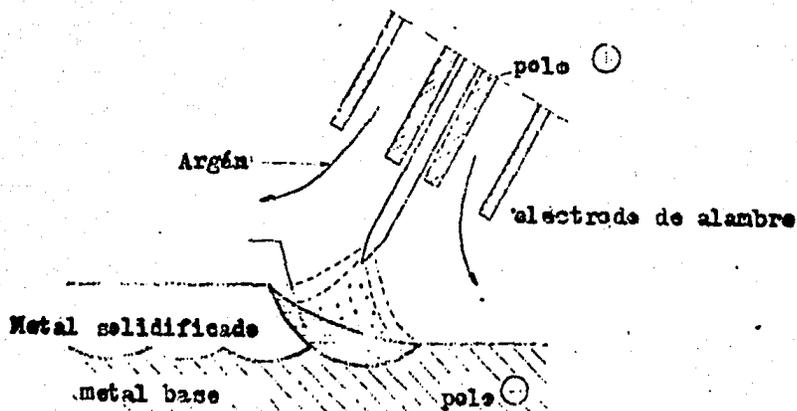


Fig. 2.5 Principio del proceso MIG.

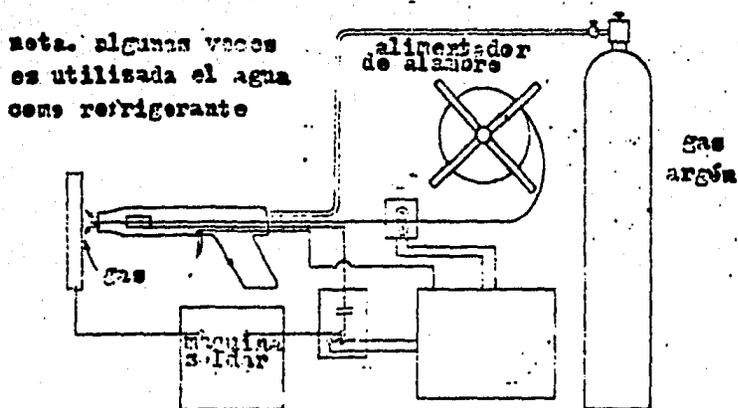


Fig. 2.6 Diagrama esquemático del proceso MIG.

**ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS**

TIPO AISI	C O M P O S I C I O N %					
	C	Mn Máx.	Si Máx.	Cr	Ni	Otros
403	0.15 máx.	1.00	0.50	11.50/13.00	--	---
410	0.15 "	1.00	1.00	11.50/13.50	--	---
414	0.15 "	1.00	1.00	11.50/13.50	1.25/2.50	---
416	0.15 "	1.25	1.00	12.00/14.00	--	0.15 min. S
416 (Se)	0.15 "	1.25	1.00	12.00/14.00	--	0.15 min. Se
420	0.15 min.	1.00	1.00	12.00/14.00	--	---
431	0.20 máx.	1.00	1.00	15.00/17.00	1.25/2.50	---
440 A	0.60/0.75	1.00	1.00	16.00/18.00	--	0.75 máx. Mo
440 B	0.75/0.95	1.00	1.00	16.00/18.00	--	0.75 máx. Mo
440 C	0.95/1.20	1.00	1.00	16.00/18.00	--	0.75 máx. Mo

TIPO AISI	ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS					
	COMPOSICION %					
	C máx	Mn máx.	Si máx.	Cr	Ni	Otros
405	0.08	1.00	1.00	11.50/14.50	--	0.10/0.30 Al
430	0.12	1.00	1.00	14.00/18.00	--	.
430 F	0.12	1.25	1.00	14.00/18.00	--	0.15 min S
430 F (Se)	0.12	1.25	1.00	14.00/18.00	--	0.15 min Se
446	0.20	1.50	1.00	23.00/27.00	--	0.25 máx N

ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

TIPO AISI	C O M P O S I C I O N %					
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Otros
201	0.15	5.50/7.50	1.00	16.00/18.00	3.50/5.50	0.25 máx. N
202	0.15	7.50/10.00	1.00	17.00/19.00	4.00/6.00	0.25 máx. N
301	0.15	2.00	1.00	16.00/18.00	6.00/8.00	---
302	0.15	2.00	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00	---
302 B	0.15	2.00	2.00/3.00	17.00/19.00	8.00/10.00	---
303	0.15	2.00	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00	0.15 mín. S
303 Se	0.15	2.00	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00	0.15 mín. Se
304	0.08	2.00	1.00	18.00/20.00	8.00/12.00	---
304 L	0.03	2.00	1.00	18.00/20.00	8.00/12.00	---
305	0.12	2.00	1.00	17.00/19.00	10.00/13.00	---
308	0.08	2.00	1.00	19.00/21.00	10.00/12.00	---
309	0.20	2.00	1.00	22.00/24.00	12.00/15.00	---
309 S	0.08	2.00	1.00	22.00/24.00	12.00/15.00	---
310	0.25	2.00	1.50	24.00/26.00	19.00/22.00	---
310 S	0.08	2.00	1.50	24.00/26.00	19.00/22.00	---
314	0.25	2.00	1.50/3.00	23.00/26.00	19.00/22.00	---
316	0.08	2.00	1.00	16.00/18.00	10.00/14.00	2.00/3.00 Mo
316 L	0.03	2.00	1.00	16.00/18.00	10.00/14.00	2.00/3.00 Mo
317	0.08	2.00	1.00	18.00/20.00	11.00/15.00	3.00/4.00 Mo
321	0.08	2.00	1.00	17.00/19.00	9.00/12.00	5 x C mín. Ti
347	0.08	2.00	1.00	17.00/19.00	9.00/13.00	10 x C mín. Cb-Ta
348	0.08	2.00	1.00	17.00/19.00	9.00/13.00	10 x C mín. Cb-Ta (0.10 % máx. Ta).

## BIBLIOGRAFIA.

- 1) ASM. Welding and Brazing. Metals Handbook. Vol. 6 Chapt. Arc Welding of Stainless Steel. 9th. Ed. OHIO. 1978.
- 2) ASME. Materials Specifications. Section II. Part C. Welding, Rods, Electrodes and filler Metals. New York 1980.
- 3) AWS. Fundamentals of Welding. WELDING HANDBOOK. vol. 1 U.S.A. Florida. 1976.
- 4) AWS. Welding Processes. Welding Handbook. Vol. 2. U.S.A Florida. 1976.
- 5) Normas de Calidad de Materiales Usados en Obras Publicas. Electrodes de acero al cromo y al cromo-Niquel. Petroleos Mexicanos. Primera Edición 1978.
- 6) R.J Castro and J.J. de Cadenet. Welding Metallurgy of Stainless and Heat-resisting Steels. Cambridge University Press. 1975
- 7) Moisés Mercado León y Hector Pacheco V. Tecnología aplicada en la capacitación de la soldadura. Libros Técnicos . 1980
- 8) W. J. Patten. Ciencia y Técnica de la Soldadura. UENQ. S.A de Eficiencias . 1979.
- 9) IMP. Principios Metalúrgicos de la soldadura. Publicación No 81HG /286B. México 1980.
- 10) D. Sférian. Las soldaduras. UENQ, S.A. de Eficiencias. 1977.