

SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES Y TIPOS DE JUNTAS.

ELVERT ARTURO ARRIETA ESTRELLA  
FERNÁN ANTONIO PACHECO CASTELLAR

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C.

2003

SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES Y TIPOS DE JUNTAS

ELVERT ARTURO ARRIETA ESTRELLA  
FERNÁN ANTONIO PACHECO CASTELLAR

Monografía de grado para optar los títulos de  
Ingeniero mecánico

Asesor  
LUIS CARLOS FABREGAS  
Ingeniero metalúrgico

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C.

2003

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Cartagena, 7 de noviembre de 2003

Cartagena, Noviembre 7 de 2003

Señores

**COMITÉ CURRICULAR DE EVALUACION**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

Ciudad

Apreciados Señores:

Nos permitimos informarles que la Monografía titulada **“Soldabilidad de los aceros inoxidables y tipos de juntas”** ha sido desarrollada de acuerdo a los objetivos establecidos. Como autores del proyecto consideramos que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

**ELVERT ARRIETA ESTRELLA**  
CC. 3811511 de Cartagena

**FERNAN PACHECO CASTELLAR**  
CC 9.078.785 de Cartagena.

## **ARTICULO 107**

La institución se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los Trabajos de Grado aprobados, los cuales no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

## RESUMEN

**TITULO:** Soldabilidad de Aceros Inoxidables y Tipos De Juntas

**AUTORES:** Elvert A. Arrieta Estrella

Fernán A. Pacheco Castellar

**OBJETIVO:** Plasmar en un documento las diferentes características de soldabilidad de los aceros inoxidables; establecer diferentes procesos existentes y formas adecuadas de trabajo en ellos, suministrando las principales propiedades del material a soldar y así mismo recomendando los diferentes tipos de juntas para un adecuado proceso.

**METODOLOGIA:** Se realizó una minuciosa investigación de los diferentes documentos y fuentes a los que se obtuvo acceso, catálogos de proveedores de soldadura, literatura técnica especializada, libros y páginas de Internet. Se recopiló y procesó la información mas importante y que no estuviese repetida, se seleccionó y se organizó de la manera mas clara posible, obteniendo toda esta literatura en el presente documento.

**RESULTADOS:** Se obtuvo un documento que contiene una práctica y completa información sobre las características principales de los aceros inoxidables, su soldabilidad y los diferentes tipos de juntas previstas con sus consideraciones de diseño. En forma adicional dieron algunas recomendaciones a tener en cuenta para un proceso de calidad.

**ASESOR:** Luis Carlos Fabregas

Ingeniero Metalúrgico.

## LISTA DE TABLAS

pág.

**Tabla 1** Análisis químico de los aceros inoxidable martencíticos.

**Tabla 2** Propiedades mecánicas nominales de los aceros inoxidable martencíticos.

**Tabla 3** Análisis químico de los aceros inoxidable ferríticos.

**Tabla 4** propiedades mecánicas nominales de los aceros inoxidable ferríticos.

**Tabla 5** Análisis químico de los aceros inoxidable austeníticos.

**Tabla 6** Análisis químico de fundiciones de acero inoxidable resistentes a la corrosión.

**Tabla 7** Influencia de las propiedades físicas en la soldadura de aceros inoxidable austeníticos, comparados con el acero al carbono.

**Tabla 8** Análisis químico de aceros inoxidable duplex.

**Tabla 9** composición típica de los metales de aporte para aceros inoxidable duplex.

**Tabla 10** Análisis químico de los aceros inoxidable endurecidos por precipitación.

**Tabla 11** Propiedades mecánicas nominales de los aceros inoxidable  
endurecidos por precipitación.

**Tabla 12** Clasificación de los electrodos de soldadura SMAW.

**Tabla 13** Comparación de métodos de transferencia de arco en la soldadura  
MIG.



## LISTA DE FIGURAS

Pág.

**Figura 1** curva de sensibilización tiempo-temperatura.

**Figura 2** Diagrama revisado de la constitución de los aceros inoxidables soldados.

**Figura 3** Micro estructura típica de una aleación duplex.

**Figura 4** Esquema del proceso SMAW.

**Figura 5** Esquema del proceso GTAW

**Figura 6** Esquema del proceso GMAW.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	
1. OBJETIVO GENERAL	17
1.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
2. ACEROS INOXIDABLES	18
2.1. DEFINICIÓN	18
2.2. GENERALIDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES	19
2.3. CLASIFICACION DE ACEROS INOXIDABLES	23
3. ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS	27
3.1. DEFINICION	27
3.2. COMPORTAMIENTO EN LA SOLDADURA	30
3.3. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	33
4. ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS	36
4.1. DEFINICIÓN	36
4.2. COMPORTAMIENTO EN LA SOLDADURA	42
4.3. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	45
5. ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS	47
5.1. DEFINICIÓN	47
5.2. COMPORTAMIENTO EN LA SOLDADURA	51
5.3. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	56
6. ACEROS INOXIDABLES DUPLEX	62

6.1. DEFINICIÓN	62
6.2. COMPORTAMIENTO EN LA SOLDADURA	64
6.3. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	68
7. ACEROS INOXIDABLES ENDURECIDOS POR PRECIPITACION	73
7.1. DEFINICIÓN	73
7.2. COMPORTAMIENTO EN LA SOLDADURA	74
7.3. PROCEDIMEINTO DE SOLDADURA	75
8. METODOS DE SOLDADURA	76
9. LIMPIEZA Y PREPARACION DE SOLDADURA	98
10. TIPOS DE JUNTAS RECOMENDADOS	112
11. NORMAS TECNICAS EXISTENTES PARA EVALUACION Y CONTROL DE LOS PROCESOS	116
12. CONCLUSIONES	124
BIBLIOGRAFIA	

## INTRODUCCION

Hoy en día las industrias químicas, petroquímicas, farmacéuticas, de biotecnología y sobre todo la alimenticia utilizan equipos, sistemas y maquinas elaboradas en aceros inoxidable que a diferencia de los aceros convencionales ofrecen propiedades tales como: resistencia a la corrosión, dureza a baja temperatura y buenas propiedades a alta temperatura; propiedades que brindan las condiciones de higiene y protección a los productos que estas desarrollan. Es de vital importancia en la fabricación, el montaje y la reparación de estos equipos y sistemas, el proceso de soldadura, su limpieza, el decapado, el pulimento y pasivación que debe tener condiciones y procesos especiales para su correcta aplicación, así como también personal idóneo para realizarlo.

Desde el punto de vista técnico corresponde hacer un análisis de la unión que se debe realizar para cada acero inoxidable, de tal forma que los resultados sean satisfactorios, estableciendo al mismo tiempo el proceso y tipo de soldadura a utilizar, dependiendo este, del espesor, equipo, tipo de aporte y requerimientos de calidad establecidos en códigos. Este trabajo pretende plasmar un estudio de los factores que influyen en la soldabilidad de este tipo de aceros, métodos apropiados para realizar el proceso y recomendar diseños óptimos de juntas para realizar los procedimientos de unión; así como también mostrar un poco las actuales y modernas técnicas que se usan para el proceso de soldadura de este tipo de material.

## **1. OBJETIVO GENERAL**

Establecer en el presente trabajo un estudio de las técnicas y procesos de soldadura utilizadas en la soldabilidad de los aceros inoxidable; así como también conocer y sugerir recomendaciones para los diseños óptimos de juntas, con base en los códigos internacionales API, AWS y ASME sección IX. Además se busca obtener una guía para conocer más detalladamente las propiedades ingenieriles de este tipo de material para ayudar a establecer sus aplicaciones y usos.

### ***1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS***

- 1.1.1. Mostrar los métodos de soldadura más idóneos para el proceso de soldabilidad de este tipo de acero.
- 1.1.2. Plasmar los parámetros que se deben tener en cuenta por el soldador y el ingeniero para la correcta aplicación de la soldadura en este tipo de material.
- 1.1.3. Ofrecer una guía académica de consulta para los estudiantes de ingeniería e ingenieros, interesados en el tema.
- 1.1.4. Desarrollar un recorrido sobre la aplicabilidad de este tipo de aceros en la actualidad y establecer las diferencias entre los parámetros en el proceso de soldabilidad para cada tipo de acero inoxidable.

## 2. ACEROS INOXIDABLES

### 2.1 DEFINICION

Los aceros inoxidable son aleaciones ferro-cromo con un mínimo de 11% de cromo, aunque los primeros tipos fueron hechos solamente con el agregado de cromo (10 - 18%). El agregado de otros elementos a la aleación permite formar un amplio conjunto de materiales, conocidos como la familia de los aceros inoxidable. Entre los elementos de aleación, dos se destacan: el cromo, elemento presente en todos los aceros inoxidable por su papel en la resistencia a la corrosión y el níquel por la memoria en las propiedades mecánicas. El Cromo forma en la superficie del acero una película pasivante, extremadamente delgada, continua y estable; la cual permite obtener una superficie inerte a las reacciones químicas. Esta es la característica principal de resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable.

El extenso rango de propiedades y características secundarias, presentes en los aceros inoxidable hacen de ellos un grupo de aceros muy versátiles y su selección para diversas aplicaciones, puede realizarse de acuerdo con las siguientes características:

- Resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperaturas elevadas.
- Propiedades mecánicas del acero.

- Características de los procesos de transformación a que será sometido.
- Costo total (reposición y mantenimiento).
- Disponibilidad del acero.

Los aceros inoxidable tienen una resistencia a la corrosión natural que se forma automáticamente, es decir no se adiciona. Tienen una gran resistencia mecánica, de al menos dos veces la del acero al carbono, son resistentes a temperaturas elevadas y a temperaturas criogénicas. Son fáciles de transformar en gran variedad de productos y tiene una apariencia estética, que puede variarse sometiendo el acero a diferentes tratamientos superficiales para obtener acabado a espejo, satinado, coloreado, texturizado, rayado sanitario y otros.

## 2.2 GENERALIDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Los Aceros Inoxidables son inoxidable por que tienen Cromo en una cantidad superior a 10%, hasta valores del orden de 30%. El Cr es un metal reactivo y se combina con el Oxígeno del aire o en cualquier otra condición oxidante para formar una película sobre el acero inoxidable que lo aísla del medio agresivo. Se cree, aunque no por todos los investigadores, que la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable es el resultado de la presencia de esta fina, densa (no porosa), continua, insoluble, adherente, tenaz, autoregenerante e impermeable capa de óxido hidratado de Cromo en la superficie de estos aceros que impide,

una vez formada esta, el contacto del acero con el medio oxidante. La composición de esta película varía con el tipo de acero y con los diferentes tratamientos tales como laminado, decapado (pickling) o tratamiento térmico; A esta situación se la denomina pasivación y la película formada es inerte frente a las condiciones oxidantes de la atmósfera terrestre.

Esta película es transparente y brillante y confiere al acero inoxidable la habilidad de retener su apariencia “inmaculada ” (stainless en Ingles), agradable a la vista; El rango de condiciones bajo las cuales un Acero Inoxidable desarrolla Pasivacion puede ser amplio o reducido, la pasividad puede ser destruida por pequeños cambios de las condiciones. En condiciones favorables a la pasivación el metal adquiere potenciales de disolución cercanos al de los metales nobles, tales como plata, oro, platino etc. Cuando la pasividad se destruye el Potencial se acerca al del hierro.

Hay un número importante de distintos Aceros Inoxidables. Su resistencia a la corrosión, propiedades mecánicas y costo varia en un rango muy amplio, por esa razón es importante especificar el acero inoxidable mas apropiado para una dada aplicación. El costo se eleva entre 5 y 10 veces el de un acero al carbono. Conviene tener en cuenta que el termino “Inoxidable” es un termino genérico que involucra en UNS\* a mas de 130 composiciones químicas diferentes de aceros y/o aleaciones inoxidables. Pueden estar aleados además, con Cu, Al, Si, Ni, Mo. Nb, Ti que también aumentan su resistencia a la corrosión. Directa o indirectamente,



en condiciones específicas necesitamos un ambiente oxidante para formar la película de óxido de cromo. Con 10% de Cr, que es la mínima proporción, la atmósfera terrestre es capaz de formar una película protectora para un ambiente poco agresivo como puede ser el interior de una vivienda, pero con el tiempo si este acero presta servicio a la intemperie es atacado por la corrosión. Aun cuando su resistencia a la corrosión es la propiedad mas apreciada no debemos olvidar otras propiedades; Algunos aceros se autotemplan, otros no toman temple, resisten las altas temperaturas, se mecanizan con facilidad, tienen capacidad de deformarse plásticamente o son soldables. Su aplicación se extiende desde usos arquitectónicos hasta la utilización en equipos de la industria química con condiciones extremas de servicio.

Al seleccionar un acero inoxidable debe evitarse seguir el mismo sistema utilizado con los aceros al Carbono ya que resultados satisfactorios de un acero dado en condiciones específicas de temperatura, PH, concentración del medio agresivo, etc, no pueden extrapolarse a otras condiciones aunque parezcan similares. El método idóneo de selección se basa en la experiencia ya sea del usuario como la del fabricante del acero inoxidable. A medida que aumenta el riesgo de corrosión es necesario aumentar la concentración de Cr aunque debe recordarse que el aumento de resistencia a la corrosión no tiene por que ser proporcional. Sin embargo con alrededor de 18% de Cr el acero esta en condiciones de soportar las mas rigurosas condiciones Atmosféricas. (el acero 18-8, AISI 304 o UNS S30400 con 18% de Cr y 8% de Ni es capaz de soportar tales condiciones mas de 12 años

Los aceros Inoxidables no son atacados por el ácido nítrico u otros ácidos oxidantes, sino mas bien estos ácidos facilitan la formación de la película protectora.

Por otra parte estos aceros no resisten la presencia de ácidos reductores como el ácido clorhídrico o fluorhídrico, y son atacados por las sales de ellos (cloruros, fluoruros, bromuros y yoduros). En la industria se utilizan substancia limpiadoras a base de cloruros para mejorar el aspecto de los aceros inoxidables. Deben tomarse precauciones por que 40 minutos es el tiempo máximo de exposición a estos agentes. El ácido sulfúrico marca la frontera entre ácidos oxidantes y reductores ya que en algunos casos es inofensivo y en otros ataca fuertemente. El efecto de los ácidos como el de las sales varía con las condiciones de servicio, concentración del agente corrosivo y con el tipo de acero. Para obtener la máxima resistencia a la corrosión es recomendable mantenerlos limpios y pulidos para preservar a la superficie de sustancias extrañas que pudieran albergarse en los poros o irregularidades de la superficie. En el caso de aceros inoxidables templables (Martensíticos), la máxima resistencia a la corrosión se obtiene luego de un temple completo. Debe recordarse que cuando los Aceros Inoxidables sufren corrosión esta no es uniforme como en el caso de los aceros al carbono, sino localizada, por picaduras (Pitting) o fisuras por Corrosión bajo Tensión. Debido a ello no puede prevenirse por el agregado de sobre espesores sino que debe evitarse la corrosión misma por medio de un conocimiento profundo del medio corrosivo y el Acero utilizado.

## 2.3 CLASIFICACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Los aceros inoxidable no son indestructibles, sin embargo con una selección cuidadosa, sometiéndolos a procesos de transformación adecuados y realizando una limpieza periódica, algún integrante de la familia de los aceros inoxidable resistirá las condiciones corrosivas y de servicio más severas; pero a través de los años se han descubierto un número de diferentes tipos de aleaciones de acero inoxidable y se han categorizado en 5 grupos esta clasificación es según la American Iron and Steel Institute.

- Martensíticos (serie AISI 400)
- Ferríticos (serie AISI 400)
- Austeníticos (serie AISI 300)
- Endurecibles por precipitación
- Dúplex

Los aceros inoxidable austeníticos son los más usados ampliamente, pero el uso de las aleaciones dúplex está en aumento, aunque aún representan una fracción pequeña del total de aceros utilizados. Aquí se describen estas familias de estas aleaciones y sus usos, considerando además que los grupos, martensíticos, ferríticos y endurecibles por precipitación se identifican también como aceros cuya fabricación y soldadura es bastante diferente de los grados austeníticos y dúplex.

Cuando se discuten las técnicas de fabricación y soldadura, se debe identificar al grupo particular de acero inoxidable, de otra manera se pueden cometer gruesos errores. Por ejemplo, usar un procedimiento desarrollado para soldar un acero inoxidable austenítico en la soldadura de uno martensítico, podría resultar en soldaduras de baja calidad.

Serie 400

**Aceros Inoxidables Martensíticos:** Son la primera rama de los aceros inoxidables, llamados simplemente al Cromo y fueron los primeros desarrollados industrialmente (aplicados en cuchillería). Tienen un contenido de Carbono relativamente alto de 0.2 a 1.2% y de Cromo de 12 a 18%. Los tipos más comunes son el AISI 410, 420 y 431 y las propiedades básicas son: Elevada dureza (se puede incrementar por tratamiento térmico) y gran facilidad de maquinado, resistencia a la corrosión moderada. Principales aplicaciones: Ejes, flechas, instrumental quirúrgico y cuchillería.

Serie 400

**Aceros Inoxidables Ferríticos:** También se consideran simplemente al Cromo, su contenido varía de 12 a 18%, pero el contenido de Carbono es bajo <0.2%. Los tipos más comunes son el AISI 430, 409 y 434. Las propiedades básicas son: Buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no pueden incrementarla por tratamiento térmico. Principales aplicaciones: Equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y decorativas.

Serie 300

**Aceros Inoxidables Austeníticos:** Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando Níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de 16 a 28%, el de Níquel de 3.5 a 22% y el de Molibdeno 1.5 a 6%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Las propiedades básicas son: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas. Principales aplicaciones: Utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimentaria, tanques, tuberías, etc.

**Aceros inoxidables dúplex:** Son una familia de aleaciones que tienen dos fases: ferrita y austenita, con un contenido típico de ferrita entre 40 y 60%. Posee excelente resistencia a la corrosión y es ampliamente usado en la industria petrolera y de gas.

**Aceros inoxidables endurecibles por precipitación:** Estos son aleaciones de hierro-cromo-níquel que contienen elementos tales como cobre, aluminio y titanio tienen buena soldabilidad, comparable a la de los aceros inoxidables austeníticos,

pero a menudo se utilizan en componentes que no necesitan casi procesos de soldadura.

### 3. ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS

#### 3.1 DEFINICION

En los aceros inoxidable Martensíticos, el carbono está en una concentración tal, que permite la formación de austenita a altas temperaturas, que a su vez se transforma en martensita durante el enfriamiento. La martensita es una fase rica en carbono, frágil y extraordinariamente dura. Los aceros inoxidable Martensíticos tienen la característica común de ser magnéticos y endurecibles por tratamiento térmico, presentando cuando templados una microestructura acicular (en forma de agujas). Es importante saber que en estos aceros pueden ocurrir transformaciones en sus propiedades mecánicas cuando se realiza el proceso de templado, dichos cambios dependen del contenido de cromo y carbono que estos contengan; otros elementos de aleación no producen efecto alguno en el cambio de estas propiedades. Adicionalmente se debe tener en cuenta que estos aceros son normalmente producidos por la industria siderúrgica en estado recocido, con ductilidad razonablemente buena. Solamente después de templados serán muy duros y poco dúctiles. Pero es precisamente en esta condición (templados), que serán resistentes a la corrosión.

El más utilizado de los aceros inoxidable Martensíticos es el Tipo 420. En estado recocido (estructura ferrítica), no presenta buen comportamiento frente a la

corrosión atmosférica. Esto porque durante la operación de recocido, a una temperatura aproximada de 760 °C, el carbono y el cromo se combinan para formar carburos de cromo,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ . Cada molécula de carburo de cromo contiene, en peso, aproximadamente 95% de cromo. Considerando el alto tenor de carbono y el bajo tenor de cromo del acero inoxidable 420 (aproximadamente 0,35% C y 12,50% Cr), como todo el carbono precipita como carburo de cromo durante el recocido, esta precipitación retirará de la solución sólida aproximadamente la mitad del cromo disponible. En esta condición el material no resiste a la corrosión y no puede ser considerado propiamente como un acero inoxidable (ya que no tiene un mínimo de 11% de cromo en solución sólida). Por eso, el acero inoxidable 420, es colocado en servicio por el usuario, solamente después de un tratamiento de temple. Cuando templado, el carbono forma parte de la fase martensítica, no siendo encontrado en la aleación precipitado como carburo de cromo. La alta dureza y la consecuente resistencia al desgaste, determinan las aplicaciones de este material, utilizado en cuchillería, discos de freno, equipos quirúrgicos, odontológicos y turbinas.

Si la cantidad elevada de carbono es un inconveniente en el acero inoxidable 420 en estado recocido, una solución lógica es la de disminuir este tenor, lo que se hace en el inoxidable Tipo 410. Como este material tiene un máximo de 0,15% de carbono, esta cantidad no es suficiente para remover tanto cromo de la solución sólida y consecuentemente, presenta una buena resistencia a la corrosión atmosférica, tanto en la condición de recocido como de templado; Después del



tratamiento de temple, las durezas alcanzadas por este material no son tan altas como las presentadas por el inoxidable 420. Las principales aplicaciones del inoxidable 410 son en equipos para refinación de petróleo, válvulas, componentes de bombas y cuchillería.

Aumentando la cantidad de azufre se obtiene el inoxidable 420 F, una variedad del 420, con buena maquinabilidad. Adiciones de carbono (para obtenerse durezas todavía mayores) y de cromo y molibdeno (mejorando también la resistencia a la corrosión) nos llevan a los aceros inoxidables Martensíticos Tipo 440, utilizados en cuchillos de corte profesional.

En la siguiente tabla encontramos la composición química de los aceros inoxidables martencíticos más comunes y clasificados por la AISI.

Tabla 1

Análisis químico de los aceros inoxidables martencíticos en porcentaje de elementos.

AISI Tipo (uns)	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS
403 (S40300)	0.15	1	0.04	0.03	0.5	11.5/13			
410 (S41000)	0.15	1	0.04	0.03	1	11.5/13.5			
414 (S41400)	0.15	1	0.04	0.03	1	11.5/13.5	1.25/2.5		
416 (S41600)	0.15	1.25	0.06	0.15mln	1	12/14		0.6*	
416se (S41623)	0.15	1.25	0.06	0.06	1	12/14			0.15 Se min
420 (S42000)	0.15m	1	0.04	0.03	1	12/14			
420F (S42020)	0.15m	1.25	0.06	0.15min	1	12/14		0.6*	
422** (S42200)	0.2/0.25	1	0.025	0.025	0.75	11/13	0.5/1	0.75/1.25	0.15/0.3V 0.75/1.25W
431 (S43100)	0.2	1	0.04	0.03	1	15/17	1.25/2.5		
440A (S44002)	0.6/0.75	1	0.04	0.03	1	16/18		0.75	
440B (S44003)	0.75/0.9 5	1	0.04	0.03	1	16/18		0.75	
440C (S44004)	0.95/1.2	1	0.04	0.03	1	16/18		0.75	

\* Este elemento es agregado como opción en su manufactura

\*\* En estado endurecido y templado

TABLA 2

Propiedades mecánicas nominales de aceros inoxidables martencíticos.

AISI Tipo(UNS)	Esfuerzo de tensión		Esfuerzo de cedencia (0.2% equivalente)		Elongacion en 2 in (50.8 mm)	Dureza (Rockwell)	Forma del producto
	Ksi	MPa	Ksi	MPa	%		
403 (S40300)	70	483	45	310	25	B80	
410 (S41000)	70	483	45	310	25	B80	
414 (S41400)	120	827	105	724	15	B98	
416 (S41600)	75	517	40	276	30	B82	BARRA
416se (S41623)	75	517	40	276	30	B82	BARRA
420 (S42000)	95	655	50	345	25	B92	BARRA
420F (S42020)	95	655	55	379	22	220(BRINELL)	BARRA
422** (S42200)	145	1000	125	862	18	3208BRINELL)	BARRA
431 (S43100)	125	862	95	655	20	C24	BARRA
440 A (S44002)	105	724	60	414	20	B95	BARRA
440 B (S44003)	107	738	62	427	18	B96	BARRA
440 C (S44004)	110	758	65	448	14	B97	BARRA

### 3.2 COMPORTAMIENTO EN LA SOLDADURA

En cuanto a grupo, los aceros inoxidables martensíticos (endurecidos por tratamientos térmicos), tienen ciertas características en común en su comportamiento a la de los aceros suaves, cuando están sujetos a las temperaturas encontradas en las soldaduras, estas características son las siguientes.

- Su punto de fusión es aproximadamente 2900°f (1593.3°c), en comparación con los 2800°f (1537°c), de los aceros suaves (Aceros al carbono AISI 1020,1045, A36, etc.). Esto se puede entender ya que ellos requieren menos calor para su ablandamiento y son más suaves al fundir con la misma rata de calor que los aceros al carbono.
- Los coeficientes de expansión y contracción térmica son muy similares y no tienen cambios significativos cuando se funde, con respecto al acero al carbono. Esto es en contraste a los grados de acero inoxidable que tienen cromo y níquel, cuyos coeficientes son de un 45%-50%, mas elevados que los aceros al carbono normales.
- La rata de conductividad térmica es menor en un 50% a la de los aceros al carbono normales; y dependiendo del incremento de temperatura, esta es similar a la de los grados que contienen cromo y níquel (aceros inoxidables austeniticos).
- Su resistencia a la conductividad eléctrica es alta y aproximadamente la mitad a los aceros al carbono; es por esta razón que se necesita la mitad del amperaje para sus procedimientos de soldadura.

En un análisis de la condición de estos aceros, por ejemplo el tipo 410 es el que exhibe la máxima ductilidad. Cuando estos aceros son sometidos a calentamientos a temperaturas de más de 1500°f (815.5°c) su estructura metalúrgica sufre unos cambios convirtiéndose en austenítica y aproximadamente a 1850°f (1010°c), la estructura de este acero es completamente austenítica. Realizando un enfriamiento desde esta temperatura resulta una transformación de la fase austenítica en martensítica, con una dura estructura no dúctil. En este acero un rápido enfriamiento desde 1850°f (1010°c), produce el máximo contenido de martensita en su estructura; además enfriándolo desde temperaturas que oscilan entre 1500 y 1850°f, el resultado es una menor cantidad de martensita en el acero. Estas características de reacción al calentamiento y enfriamiento de este material, determinan el comportamiento en la soldabilidad de estos aceros.

Los aceros inoxidable martensíticos pueden ser soldados en algunas de las siguientes condiciones; ya sea endurecidos, templados, semiendurecidos, etc. Indiferente de cual sea la condición prioritaria, la soldadura puede producir endurecimiento martensítico en la ZAC (zona afectada por el calor), el cual depende principalmente del alto contenido de carbono en el material; este grado de endurecimiento puede ser controlado cuando se realice un procedimiento de soldadura en particular. Este defecto se puede reorganizar, corrigiendo la curva de gradiente térmico, tratando de acentuar la tasa de conductividad del calor, que causa intensos esfuerzos que se desarrollan por cambios en la expansión térmica

o volumétrica; inducidos por las transformaciones que sufre la estructura cristalina. Estos defectos severos son suficientes para producir fracturas en la zona soldada.

### 3.3 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

La alta templabilidad de estas aleaciones hace que se produzca Martensita tanto en el cordón de soldadura como en la Zona Afectada por el Calor (ZAC) adyacente. La estructura Martensítica, cuya dureza aumenta con el contenido de carbono tiene una tendencia a la fisuración muy importante durante la soldadura y el efecto puede ser revertido parcialmente con el Precaentamiento de la soldadura. Es práctica común precalentar como mínimo a 200°C pero si la pieza tuviese espesores gruesos o gruesos y finos se sugiere temperaturas mas altas (300-350°C). Debido a que algo de Martensita siempre se produce a pesar del precalentamiento, se suele realizar un Tratamiento térmico post Soldadura de revenido a temperaturas del orden de 600-750°C. Si no se realiza el revenido post soldadura puede realizarse un Recocido a 850-900°C durante dos horas y luego enfriar a una velocidad no mayor de 50 °C por hora hasta los 600°C. Por debajo de 600°C se permiten enfriamientos mas rápidos, donde solo se debe limitar la velocidad de enfriamiento por las tensiones térmicas que pudiesen generar (aproximadamente 200°C por hora por pulgada de espesor). En general se utiliza como material de aporte los tipos 410 o 420 pero con el contenido de carbono en el centro o en el mínimo del rango especificado para evitar excesivo endurecimiento de la soldadura. Para aquellas soldaduras que no lleven

Tratamiento Térmico Post Soldadura se especifica usualmente como material de aporte los tipos austéníticos 308 o 309. En estos casos la zona afectada por el calor ZAC será resistente, dura, y algo más frágil mientras que el cordón de soldadura será dúctil y capaz de absorber las deformaciones por fluencia.

La siguiente guía, puede ser usada para coordinar los procedimientos de soldadura con contenido de carbón y acomodar las características de soldadura a los del acero de grado martensítico.

- Menor de 0.10% de C (carbono), generalmente no se precalienta ni necesita tratamiento termico despues de la soldadura.
- Desde 0.10 hasta 0.20% de C; precalentar a 500°f (260°C), soldar y enfriar despacio o lentamente.
- Desde 0.20 hasta 0.50% de C, precalentar a 500°f (260°C), soldar y realizar tratamiento termico
- Mas de 0.50% de C, precalentar a 500°f (260°C), soldar con alto impulso de calor y luego realizar tratamiento termico.
- Algunos defectos de pos-calentamiento, siempre se observan como parte integral de la operación de soldadura en los tipos martensíticos; y muchos de estos son corregidos por cualquiera de los siguientes 2 métodos.

- Calentar hasta 1500°f (815°C) como máximo, seguidamente controlar el enfriamiento hasta 1100°f (593°C), a una rata de 50 grados por hora; y despues terminar el enfriamiento con aire frío.
- Calentar hasta 1350 o 1400 °f (732-760°C) y seguidamente enfriar en ciclos tal cual como se describió en el punto anterior

## 4. ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS

### 4.1 DEFINICION

Los aceros inoxidable Ferríticos también son magnéticos. A pesar de tener una menor cantidad de carbono que los Martensíticos, se tornan parcialmente Austeníticos a altas temperaturas y consecuentemente precipitan martensita durante el enfriamiento con lo que puede decirse que son considerados parcialmente como no endurecibles por tratamiento térmico. Los aceros inoxidable Ferríticos contienen, de un modo general, un tenor (porcentaje) de cromo superior al de los Martensíticos lo cual mejora la resistencia a la corrosión en diversos medios, pero sacrifica en parte otras propiedades, como la resistencia al impacto.

El porcentaje de Cr de los Aceros Inoxidable Ferríticos se extiende desde el 10,5% Cr (Tipo 409) hasta el 30% Cr (Tipo 447 y 448). Los aceros con 10-13% Cr y bajo porcentaje de C, por estar cerca del bucle gamma; a veces debido a la segregación del Cr durante la solidificación que se concentra en el centro del grano de Ferrita delta, pueden entrar en la zona bifásica de este, y de esta manera tener una estructura duplex de Ferrita con Austenita en borde de grano, la que al templarse produce Martensita, disminuyendo la resistencia a la corrosión, la plasticidad, y la tenacidad. Por otra parte algo de Martensita en borde de grano



puede mejorar la resistencia al crecimiento de grano ferrítico. Por encima de 30% de Cr se forma una fase intermetálica compuesta por 46% de Cr y 54% de Fe llamada fase Sigma de composición nominal FeCr, que disminuye la plasticidad de la aleación. Por esta razón se evitan contenidos de Cr superiores a 30%. Los Aceros Inoxidable Ferríticos tienen ciertas ventajas sobre otros materiales. Tienen un menor contenido de aleación, tienen una resistencia excelente al "pitting" inducida por cloruros, han probado ser una solución práctica frente a la Corrosión bajo tensión (SCC) en Cloruros aun en caliente, y tienen un resultado excelente frente a la corrosión por ácidos orgánicos, en la producción de Urea y los de mayor contenido de Cr en medios cáusticos. Se puede hablar de dos familias de Aceros Inoxidable ferríticos, los clásicos de los años '50 y '60 que tienen Propiedades Mecánicas bastante disminuidas con respecto a los austeníticos y la nueva familia de los aceros Inoxidable ferríticos en donde se hizo hincapié en el mejoramiento de las propiedades mecánicas más que en la resistencia a la corrosión.

Estos Aceros logran su mejor Tenacidad y Ductilidad mediante el control de elementos intersticiales Carbono, Nitrógeno, y quizá oxígeno. Durante los primeros años de la década del '60 cuando fueron hechas estas observaciones los métodos normales de refinación no podían trasladar a la industria estas observaciones de laboratorio.

El más utilizado de los aceros inoxidable Ferríticos es el Tipo 430, que contiene 16 a 18% de cromo y un máximo de 0,12% de carbono. Entre sus aplicaciones, se puede mencionar: cubiertos, vajillas, cocinas, piletas, monedas, revestimientos, mostradores frigoríficos. Uno de los mayores problemas del inoxidable 430 es la pérdida de ductilidad en las regiones soldadas, que normalmente son frágiles y de menor resistencia a la corrosión. El elevado crecimiento del tamaño de grano, la formación parcial de martensita y la precipitación de carbonitruros de cromo, son las principales causas generadoras de este problema.

Para enfrentar este inconveniente, se adiciona titanio, niobio y/o columbio, o en su defecto una combinación de cualquiera de ellos como estabilizadores del carbono; lo cual se realiza sometiendo el material a una temperatura justo por debajo de su punto de ablandamiento. Los Tipos 409, 430 Ti y 430 Nb son muy utilizados, principalmente en silenciadores y escapes de automóviles. El aluminio se utiliza también como un estabilizador de ferrita y el inoxidable 405, con aluminio entre 0,10 y 0,30% es muy utilizado en la fabricación de estructuras que no podrán ser recocidas después de la operación de soldado. El aumento en el tenor (porcentaje) de azufre, permite mejorar la maquinabilidad, en el Tipo 430 F y adiciones de molibdeno, en el inoxidable 434, o aumento en los tenores de cromo en el Tipo 446, permiten obtener inoxidable Ferríticos con mejor resistencia a la corrosión.

Aunque los inoxidables Ferríticos presentan una buena resistencia a la corrosión, algunas características limitan la utilización de los mismos en determinadas aplicaciones. La estampabilidad es buena, aunque insuficiente en aplicaciones que requieren estampado profundo. La soldabilidad es apenas discreta, por los problemas ya mencionados. Una gran mejoría en muchas propiedades es conseguida con la introducción de níquel como elemento de aleación. Con determinados tenores de níquel es posible conseguir un cambio de la estructura ferrítica hacia austenítica.

#### PROPIEDADES Y TRATAMIENTO TERMICO

Se debe destacar que se puede esbozar un perfil de propiedades de este grupo de aceros inoxidables solo de manera general. Cada acero Inoxidable tiene sus propias características. Los Aceros Inoxidables Ferriticos son aceros aleados solo con Cr y a veces también con Mo. El Cr es un elemento alfégeno que retiene la estructura cúbica centrada en el cuerpo del Hierro alfa.

- Estos aceros tienen como mínimo 10,5% de Cr, con este rango de %Cr su resistencia a la corrosión es mínima, a algunos se los suele denominar Inoxidables al agua pues no resisten medios mas agresivos, son en general los mas baratos por tener poco Cr.

- Su ductilidad es menor que la de los aceros inoxidables Austeníticos debido a la inherente menor plasticidad de la estructura cúbica centrada en el cuerpo del Hierro alfa, mas el efecto endurecedor que proporciona la gran cantidad de Cr en solución sólida. A causa de la baja solubilidad de los intersticiales C y el N en la Ferrita, estos aceros tradicionalmente tenían una limitada utilización debido a su susceptibilidad a la Corrosión Inter granular como así también una alta Temperatura de Transición dúctil- frágil. Hoy en día los procesos de refinación han mejorado, especialmente con la descarburación Argón – oxígeno, lo que permite bajos niveles de impurezas, bajas temperaturas de Transición y mas alta tenacidad. A pesar de esto se los sigue confinando a productos planos y tubulares debido a la comparativamente menor tenacidad de la estructura ferrítica la que es adicionalmente reducida por el espesor. Se debe poner especial énfasis en evitar durante la soldadura la contaminación con C y N. Obviamente el Nitrógeno no es apropiado como gas protector y por supuesto deben removerse toda traza de aceite y grasa de las superficies a ser soldadas.
- Su ventaja comparativa con los inoxidables Austeníticos es su inmunidad a la Corrosión bajo tensión SCC (especialmente en cloruros a alta temperatura). Se los suele usar en tubos de pared delgada de intercambiadores de calor donde SCC sea un problema, por ejemplo en las plantas de procesamiento de

petróleo o gas natural. El aumento de la temperatura disminuye el problema de falta de tenacidad y ductilidad.

- .Pequeñas cantidades de Níquel, tan bajas como 1,5% son suficientes para inducir SCC, sin embargo la ausencia de Ni reduce la resistencia general a la corrosión y los hace susceptibles en muchos medios. Se comprobó que los inoxidables ferríticos son susceptibles en H<sub>2</sub>S, NH<sub>4</sub>Cl, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> y soluciones de HgCl<sub>2</sub>.
- El menos aleado de los inoxidables ferríticos, el tipo 409 se utiliza en los convertidores catalíticos de los automóviles y los tipo 405 y 409 se usan para sustituir a los aceros al carbono de los soportes de tubos de Níquel 600 del sistema de agua a presión de los generadores nucleares de vapor para evitar el Denting (distorsión por acumulación de productos de corrosión entre el tubo y el soporte, causada por Corrosión en rendijas).El tipo 430 tiene usos arquitectónicos y como adornos en automóviles donde la corrosión sea moderada.
- Su ductilidad es menor que la de los aceros inoxidables Austeníticos, no endurecen por trabajado mecánico tanto como los Austeníticos, no son templables, son magnéticos, y como todos los Aceros Inoxidables tienen escasa conductividad térmica. Se los prefiere por su resistencia a la corrosión y su bajo costo , más que por sus propiedades mecánicas.

## 4.2 COMPORTAMIENTO EN LA SOLDABILIDAD

Los aceros inoxidable ferríticos tienen tres problemas que pueden acentuarse más o menos según sea la aplicación:

- Excesivo crecimiento de grano por encima de 950° C el proceso de crecimiento de grano se intensifica por la falta de la recristalización del Cambio Alotrópico de Ferrita a Austenita de estos Aceros. El grano grueso tiene menos ductilidad y menos Tenacidad que el grano fino. En estos casos la única manera de afinar el grano sería con un Tratamiento de Recristalización con Deformación Plástica Previa solo aplicable a productos semielaborados. En el caso de Soldadura esto no puede realizarse y por ello en materiales donde la soldadura es parte del proceso de fabricación el crecimiento de grano puede ser un problema serio

TABLA 3

Análisis químico de los aceros inoxidable ferríticos en % de elementos

AISI Tipo (uns)	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS
405 (S40500)	0.08	1	0.04	0.03	1	11.5/14.5			0.1/0.3 Al
409 (S40900)	0.08	1	0.045	0.045	1	10.5/11.75			6*C/0.75Ti
429 (S42900)	0.12	1	0.04	0.03	1	14/16			
430 (S43000)	0.12	1	0.04	0.03	1	16/18			
430F (S43020)	0.12	1.25	0.06	0.15m	1	16/18		0.6*	
430F Se (S43023)	0.12	1.25	0.06	0.06	1	16/18			0.15 Se min
434 (S43400)	0.12	1	0.04	0.03	1	16/18		0.75/1.25	
436 (S43600)	0.12	1	0.04	0.03	1	16/18		0.75/1.25	5*C/0.7Cb+Ta
442	0.2	1	0.04	0.03	1	18/23			

(S44200)									
446 (S44600)	0.2	1.5	0.04	0.03	1	23/27			0.25 N

TABLA 4

Propiedades mecánicas nominales de aceros inoxidable ferríticos

AISI Tipo(uns)	Esfuerzo de tensión		Esfuerzo de cedencia (0.2% equivalente)		Elongacion en 2 in (50.8 mm)	Dureza (rockwell)	Forma del producto
	Ksi	MPa	Ksi	MPa	%		
405 (S40500)	65	448	40	276	25	B75	
409 (S40900)	65	448	35	241	25	B75	
429 (S42900)	70	483	40	276	30	B80	PLACA
430 (S43000)	75	517	50	345	25	B85	
430F (S43020)	95	655	85	586	10	B92	ALAMBR E
430F Se (S43023)	95	655	85	586	10	B92	ALAMBR E
434 (S43400)	77	531	53	365	23	B83	
436 (S43600)	77	531	53	365	23	B83	
442 (S44200)	80	552	45	310	20	B90	BARRA
446 (S44600)	80	552	50	345	20	B83	

- Sensitización Los Aceros Inoxidables Ferríticos pueden a veces , ya sea por segregación del Cr, o por estar muy cerca del bucle Gamma, no ser totalmente ferríticos generando en el calentamiento a mas de 900° C algo de Austenita en borde de grano ferrítico. Si luego de esta transformación se los enfría rápidamente la austenita formada se transformará en Martensita disminuyendo algo la plasticidad pero por sobre todo disminuyendo la resistencia a la corrosión del borde de grano, por ello a estos aceros, para

mejorarles su resistencia a la corrosión se los debe enfriar lentamente (al contrario de los austeníticos) desde una temperatura de de aproximadamente 1000° C. Por otra parte la presencia de Martensita en borde de grano podría mejorar algo la resistencia al crecimiento de grano.

- Pérdida de ductilidad por presencia de fase Sigma A medida que aumentamos la proporción de Cr para mejorar la resistencia a la corrosión, nos acercamos peligrosamente a la transformación de Fe- $\alpha$  fase sigma ( $\phi$ ) de estructura cristalina tetragonal que predice el diagrama de equilibrio Fe-Cr. La fase sigma ( $\phi$ ) es un íter metálico duro y frágil que fragiliza a toda la estructura. La fase sigma se forma durante el enfriamiento en el rango de 870° C/ 530° C y puede ser redisuelta con calentamientos del orden de 1100° C y su formación evitada por un enfriamiento rápido que retenga la fase de alta temperatura (Fe- $\alpha$ ). Hay poca información acerca de la influencia de la fase sigma en la resistencia a la corrosión, sin embargo es esperable que una precipitación masiva sea peor que la presencia de colonias aisladas. Ya que la fase sigma es un íter metálico más rico en Cr que la Ferrita su presencia puede afectar la resistencia a la corrosión por una disminución del Cr disuelto en la matriz.

En aceros inoxidable ferríticos con Mo aparece otra fase relacionada a sigma llamada fase Chi, entre los 550-590°C con una composición nominal Fe<sub>2</sub>CrMo



aunque hay desviaciones de los valores estequiométricos. La fase Chi precipita más rápidamente que la sigma, siempre acompaña a la fase sigma y reduce los valores de tenacidad a la entalla de aceros inoxidables ferríticos. Realmente la formación de fase sigma es lenta y con los enfriamientos encontrados en el procesamiento de los aceros Inoxidables ferríticos no llega a ser un problema. En cambio si es un problema en servicio al mantener estos Aceros altos en Cr o enfriarlos lentamente a la temperatura de 475°C.

#### 4.3 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

aunque existe un pequeño peligro de excesivo endurecimiento en la ZAC (zona afectada por el calor), durante la soldadura de este acero, siempre se debe considerar la realización de un precalentamiento antes de aplicar la soldadura, ya que existe un gran peligro de que gruesas secciones, mayores de ¼ de pulgada se fracturen durante el proceso de soldadura.

Como quiera que sea el diseño de la soldadura, las restricciones provenientes de la temperatura ambiente, el diseño de la junta, una sujeción o sujeción del material, el método de soldadura y su secuencia; pueden tener mucha influencia en la soldabilidad de las secciones gruesas de material. En la práctica actual de soldadura, se realiza un precalentamiento en el rango de temperaturas de 300-400°F (148-204°C), y es usado para secciones gruesas; Este proceso debe ser siempre aplicado en un prudente desarrollo de un procedimiento de soldadura.

para los grados ferriticos de bajo carbono, el uso del precalentamiento es usualmente indeseable para el encendido del electrodo en la sección a ser soldada, con tamaños menores a  $\frac{1}{4}$  de pulgada de espesor.

## 5. ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS

### 5.1 DEFINICION

Los aceros inoxidable austeníticos son esencialmente aleaciones ternarias de Fe, Cr y Ni, que contienen de un 16 hasta un 25% de Cr y de un 7 a un 20% de Ni, estas aleaciones son llamadas austeníticas debido a que su estructura permanece austenítica, (FCC, Fe- $\alpha$ ) a temperatura ambiente. La mayor parte de estos aceros contienen de un 0,06 a 0,1 % de C. Cabe señalar que algo del Ni de esta aleación puede ser reemplazado por Mn sin alterar la estructura austenítica del acero.

Este tipo de acero inoxidable, posee una estructura austenítica a temperatura ambiente después de un recocido a alta temperatura, esto es debido principalmente al efecto estabilizador del Ni sobre la austenita. El Ni amplía la región donde la austenita es estable, además de bajar la temperatura  $M_s$  (temperatura de obtención de fase martensítica). Es importante destacar el hecho que el Ni extiende el campo de la fase austenítica, así por ejemplo a 30% Ni el campo de austenita va de 500 a 1450°C. Cuando se enfría este acero desde el campo austenítico, la transformación de la microestructura Fe- $\alpha$  es muy lenta, por lo tanto, se puede obtener austenita con un alto grado de sobreenfriamiento lo que proporciona la fuerza impulsora para la transformación martensítica.

La temperatura  $M_s$  baja fuertemente con el porcentaje de Ni:

<b>%Ni</b>	<b>Ms (°C)</b>
20	200
30	0
34	-220

Debido a su estructura FCC, son no magnéticos o levemente magnéticos en estado templado. Por ser de una sola fase, exhiben buena soldabilidad y son fáciles para fabricar, si se mantienen procedimientos adecuados. Además, debido a esto su tensión de fluencia es baja y pueden ser endurecidos sólo mediante trabajo en frío o por elementos en solución sólida. Poseen excelentes propiedades criogénicas (baja temperatura) y buena resistencia a altas temperaturas. La resistencia a la corrosión es excelente en un amplio rango de ambientes corrosivos, poseen alta resistencia al impacto a bajas temperaturas. Su desventaja es su alto costo y su susceptibilidad a la corrosión bajo tensión.

Estos aceros tienen la mejor resistencia a la corrosión, a medida que el ambiente es más corrosivo, (por temperatura o por ácidos más fuertes), se utilizan aceros inoxidables con mayores cantidades de elementos de aleación, un ejemplo de esto es el AISI 304. La adición de 2% de Mo aumenta resistencia a la corrosión por picadura, conocido como pitting, AISI 316.

La composición de los grados comunes de gaceros inoxidables austeníticos forjados y fundiciones similares resistentes a la corrosión se muestra en las Tablas

5 y 6, estas Incluyen aleaciones comercialmente disponibles en todo el mundo y aquellas usadas más comúnmente para aplicaciones que requieran resistencia a la corrosión. Los números UNS en la *Tabla 5* tienen un prefijo S o N. Los aceros inoxidables están definidos por ASTM como aquellos que tienen al menos 50% de hierro, a los cuales UNS identifica con una S; Las aleaciones con un número N se clasifican como aleaciones de níquel, pero la distinción es artificial. La fabricabilidad de los grados S de alta aleación y las aleaciones de níquel en la *Tabla 5* es esencialmente la misma.

**Tabla 5**

Análisis Químico de aceros inoxidables austeníticos forjados en porcentaje de los principales elementos

AISI Tipo (uns)	C	Cr	Ni	Mo	Otro
304 (S30400)	0.08	18.0-20.0	8.0-10.5	-	0.10 N
304 L (S30403)	0.03	18.0 – 20.0	8.0 - 12.0	-	0.10 N
309 (S30900)	0.20	22.0 – 24.0	12.0 – 15.0	-	-
310 (S31000)	0.25	24.0 – 26.0	19.0 – 22.0	-	-
316 (S31600)	0.08	16.0 – 18.0	10.0 – 14.0	2.0 - 3.0	0.10 N
316L (S31603)	0.03	16.0 – 18.0	10.0 – 14.0	2.0 - 3.0	0.10 N
317 (S31700)	0.08	18.0 – 20.0	11.0 – 15.0	3.0 - 4.0	0.10 N
317L (S31703)	0.03	18.0 – 20.0	11.0 – 15.0	3.0 - 4.0	0.10 N
317 LM (S31725)	0.03	18.0 – 20.0	13.0 – 17.0	4.0 - 5.0	0.10 N
321 (S32100)	0.08	17.0 – 19.0	9.0 - 12.0	-	5 x %C mín, 0.70 máx Ti
347 (S34700)	0.08	17.0 – 19.0	9.0 - 13.0	-	10 x %C mín, 1.10 máx. (Nb + Ta)
Aleación 904L (N08904)	0.02	19.0 – 23.0	23.0 – 28.0	4.0 - 5.0	1.0 - 2.0 Cu
Aleación 254 SMO* (S31254)	0.02	19.5 – 20.5	17.5 – 18.5	6.0 - 6.5	0.18 - 0.22 N 0.50 - 1.00 Cu
AL-6XN* (N08367)	0.03	20.0 – 22.0	23.5 – 25.5	6.0 - 7.0	0.18 - 0.25 N 0.75 Cu
1925 hMo* (N08926)	0.02	20.0 – 21.0	24.5 – 25.5	6.0 - 6.8	0.18 - 0.20 N 0.8 - 1.0 Cu
20 Mo-6* (N08026)	0.03	22.0 – 26.0	33.0 – 37.0	5.0 - 6.7	2.0 - 4.0 Cu
20 Cb-3* (N08020)	0.07	19.0 – 21.0	32.0 – 38.0	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0 Cu 8 x %C mín, 1.00% máx.
25-6 MO* (N08926)	0.02	19.0 – 21.0	24.0 – 26.0	6.0 - 7.0	0.15 - 0.25 N 0.5 - 1.5 Cu

\* 254 SMO es una marca de Avesta AB

AL-6XN es una marca de Allegheny Lundlum Steel Corporation

1925 hMo es una marca de VDM Nickel Technologie A.G.

20 Mo-6 y 20 Cb-3 son marcas de Carpenter Technology Corp.

25-6 MO es una marca de Inco Alloys International, Inc.

### Tabla 6

Análisis químico de fundiciones de aceros inoxidables resistentes a la corrosión, porcentaje, de los principales elementos

Tipo ACI (UNS)	Tipo similar forjado	C	Cr	Ni	Mo	Otros	Estructura Más común	Templado a (°C)
CF-8 (J92600)	304	0.08	18.0-21.0	8.0-11.0	-	-	Ferrita en Austenita	1035 - 1120
CF-3 (J92500)	304L	0.03	17.0-21.0	8.0 - 11.0	-	-	"	1035 - 1120
CF-8M (J92900)	316	0.08	18.0-21.0	9.0 - 12.0	2.0 - 3.0	-	"	1035 - 1120
CF-3M (J92800)	316L	0.03	17.0-21.0	9.0 - 13.0	2.0 - 3.0	-	"	1065 - 1120
CN-7M (N08007)	20Cb-3 (1)	0.07	19.0-22.0	27.5- 30.5	2.0 - 3.0	3.0-4.0 Cu	Austenita	1120 mín.
CK-3M Cu (J93254)	Aleación 254 SMO (2)	0.02	19.5-20.5	17.5- 18.5	6.0 - 6.5	0.18-0.22 N 0.5-1.00 Cu	Austenita	1150 - 1205
CA-6NM (J91540)		0.06	11.5-14.0	3.5 - 4.5	0.4 - 1.0	-	Martensita	1035 - 1065
CD-7McuN	Ferrallium 255 (3)	0.04	24.0 - 27.0	4.5 - 6.5	2.0 - 4.0	0.10 - 0.25 N 1.5 - 2.5 Cu	Dúplex - Austenita y ferrita	1050 mín
CD-3MN ASTM-A-890, Gr4A (J92205)	2205	0.03	21.0 - 23.5	4.5 - 6.5	2.5 - 3.5	0.10 - 0.30 N	Dúplex - Austenita y ferrita	1120 mín

(1) 20Cb-3 es una marca de Carpenter Technology Corporation

(2) 254SMO es una marca de Avesta AB

(3) Ferrallium es una marca de Langley Alloys, Ltd.

(4) Zeron 100 es una marca de Weir Material Services, Ltd.

## 5.2 COMPORTAMIENTO EN LA SOLDADURA

Las propiedades físicas de los aceros al carbono y los inoxidable austeníticos son bastante diferentes, y esto requiere una revisión de los procesos de soldadura. En la Tabla 7 de Propiedades Físicas, se incluyen algunos ítems como el punto de fusión, expansión térmica, conductividad térmica, y otros que no cambian significativamente con el tratamiento térmico o mecánico. Como se ilustra en esta Tabla, el punto de fusión de los grados austeníticos es menor, así que se requiere menos calor para lograr la fusión.

Su resistencia eléctrica es mayor que la de los aceros comunes, así que se requiere menos corriente eléctrica para la soldadura. Estos aceros inoxidable tienen un coeficiente de conductividad térmica menor, lo cual causa que el calor se concentre en una zona pequeña adyacente a la soldadura. Los aceros inoxidable austeníticos también tienen coeficientes de expansión térmica aproximadamente 50% más grandes que los aceros al carbono, lo cual requiere más atención en el control de la distorsión y deformación.

Tabla 7

Influencia de las propiedades físicas en la soldadura de aceros inoxidables austeníticos, comparados con el acero al carbono.

Propiedades	Aceros inoxidables austeníticos	Aceros al carbono	Observaciones
Punto de fusión (Tipo 304)	1400 - 1450 °C	1540 °C	El Tipo 304 requiere menos calor para producir la fusión, lo cual significa una soldadura más rápida para el mismo Calor, o menos calor para la misma velocidad.
Respuesta Magnética	No magnético a todas las temperaturas	Magnético hasta más de 705 °C	Los aceros inoxidables al níquel no están sujetos a la soldadura de arco.
Velocidad de Conductividad Térmica A 100 ° C A 650 ° C	28% 66%	100 % 100%	El Tipo 304 conduce el calor mucho más lentamente que los aceros al carbono, lo cual produce gradientes de temperatura más pronunciados. Esto acelera la deformación. Una difusión más lenta del calor a través del metal de base significa que la zona soldada permanece caliente por más tiempo, resultado de lo cual puede ser una mayor precipitación de carburos, a menos que se usen medios artificiales para extraer el calor, tales como barras enfriadoras, etc.
Resistencia Eléctrica (aleado) (microhm.cm, aprox.) a 20 °C a 885 °C	72.0 126.0	12.5 125	Esto es importante en los métodos de fusión eléctrica. La resistencia eléctrica más grande del tipo 304 resulta en la generación de más calor para la misma corriente, o la misma cantidad de calor con menos corriente, comparado con los aceros al carbono. Esta propiedad, junto con una menor velocidad de conductividad térmica, resulta en la efectividad de los métodos para soldadura por resistencia del Tipo 304.
Expansión térmica en el rango indicado pulg./pulg./°C x 10-6	17.6 (20 - 500 °C)	11.7 (20-628 °C)	El tipo 304 se expande y contrae a una velocidad más alta que el acero al carbono, lo cual significa que se debe permitir expansión y contracción a fin de controlar la deformación y el desarrollo de tensiones térmicas después del enfriamiento. Por ejemplo, para el acero inoxidable deben usarse más puntos de soldadura que para el acero al carbono.



- Efecto de la soldadura en la resistencia a la Corrosión

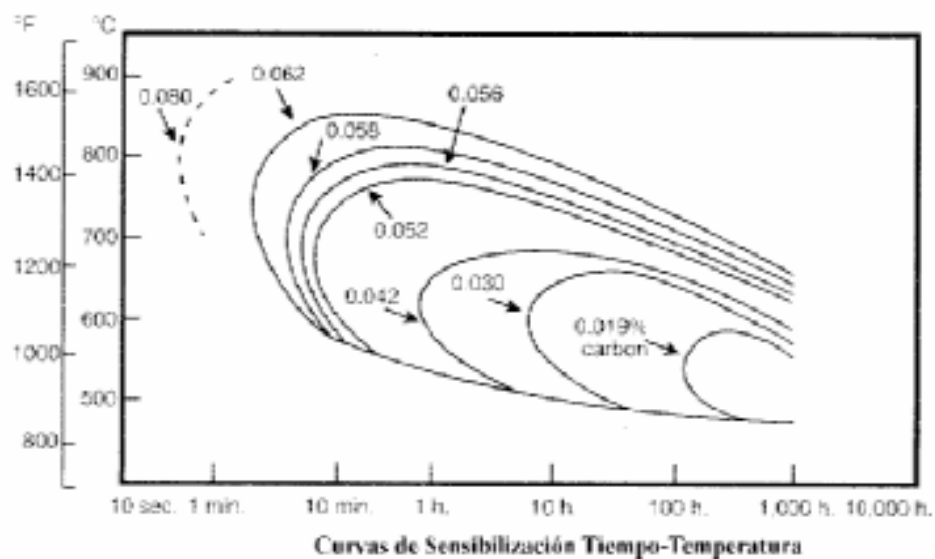
Los aceros inoxidable austeníticos se especifican normalmente por su excelente resistencia a la corrosión, propiedad que tiene gran vulnerabilidad con la aplicación del proceso de soldadura y puede ser reducida en ambientes agresivos. En la soldadura, el calor que se genera produce un gradiente de temperatura en el metal de base, que puede inducir tensiones residuales en el área soldada, lo cual en ciertos ambientes puede resultar en roturas por corrosión bajo tensión.

Uno de los primeros problemas de corrosión relacionados con la soldadura fue el ataque intergranular en la zona soldada afectada por la temperatura, ya que en el rango de temperaturas que va de 425 a 900 °C, el carbono se combina con el cromo para formar carburos de cromo en el borde de los granos generando que el área adyacente a los carburos contenga menor cantidad de cromo. Cuando la red de carburos es continua, la envoltura empobrecida en cromo alrededor de los granos puede ser atacada selectivamente, resultando en corrosión intergranular. En el peor de los casos, la capa empobrecida en cromo se corroe completamente y los granos se separan del metal de base.

Se dice que las aleaciones están sensibilizadas, cuando por soldadura o tratamientos térmicos, existen áreas empobrecidas en cromo que puedan ser atacadas en estos ambientes corrosivos. Las aleaciones sensibilizadas aún pueden prestar buenos servicios en muchos de los ambientes moderados en que

se usan los aceros inoxidable. Hoy, con la tendencia de las acerías a proveer productos con bajo carbono, el ataque intergranular de los aceros inoxidable austeníticos ocurre menos a menudo. El grado de sensibilización, o sea la cantidad de carburos de cromo formado en los límites de grano, está influenciado por la cantidad de carbono y la temperatura y tiempo de exposición. La Figura 1 ilustra las curvas de sensibilización tiempo-temperatura para el acero inoxidable tipo 304. Las curvas para otros aceros inoxidable austeníticos son similares, con valores ligeramente diferentes. Para explicar la Figura 1, la aleación está sensibilizada (se ha formado una red de carburos de cromo en los límites de grano) cuando el tiempo a una temperatura determinada para un contenido particular de carbono está a la derecha de la curva de % de carbono. Se puede ver que la temperatura a la cual la sensibilización ocurre más rápidamente varía desde 700 °C, con una aleación de 0.062 % de carbono, a 600 °C, para una aleación con 0.03 %. De la Figura 1 se puede ver que una aleación con el 0.062 % de carbono podría quedar sensibilizada en un tiempo tan pequeño como 2 a 3 minutos a 700 °C. Por otro lado, el tipo 304 con 0.030 % de carbono podría mantenerse a 595 °C por 8 horas antes de sensibilizarse. Por esta razón los grados bajos en carbono se utilizan más comúnmente en los equipos resistentes a la corrosión, donde la corrosión intergranular es un riesgo. Con el grado "L", la zona afectada por el calor no permanece el tiempo suficiente para sensibilizarse. Se puede prevenir la formación de los carburos de cromo en los límites de grano agregando titanio (Ti) o niobio (Nb)-tantalio (Ta) a la aleación. El niobio también se lo conoce como Columbio (Cb); Estos elementos tienen una afinidad más grande

por el carbono que el cromo y forman carburos distribuidos uniformemente, lejos de los límites de grano, con lo cual no se afecta la resistencia a la corrosión. El tipo 321 (UNS S32100) contiene titanio y el 347 (UNS S34700) contiene niobio tantalio. Ambos son versiones estabilizadas del tipo 304. Los grados estabilizados se prefieren para aplicaciones donde la aleación estará un largo tiempo en el rango de temperaturas de sensibilización (425 a 900 °C). Un tercer método de prevenir el ataque intergranular en la zona afectada por el calor, en aleaciones conteniendo más de 0.03% de carbono, es redisolver los carburos de cromo por templado por disolución, entre 1040 y 1175 °C, seguido por un enfriamiento rápido. El templado por disolución es un buen método para restaurar completamente la resistencia a la corrosión cuando el tamaño, forma y geometría de las soldaduras permiten el tratamiento térmico. El templado por disolución debe ser muy bien controlado, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento, para mantener la distorsión dentro de límites aceptables. Figura 1



### 5.3 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Es practica generalizada en la soldadura de los aceros Inoxidables Austeniticos mantener la temperatura del material base (y la ZAC) lo mas baja posible, esto se logra usando bajas intensidades de corriente (compatibles con una adecuada penetración y fusión), arco corto, secuencia de paso peregrino, cordones cortos, o simplemente esperando que la pieza se enfríe entre cordón y cordón. Es una práctica corriente limitar la temperatura a valores donde el material pueda tocarse con la mano (70°C). Como excepción y rara vez puede ser requerido un calentamiento a 500°C con el objeto de producir precipitación de carburos de Nb (Niobio) en aceros inoxidables AISI 347 estabilizados con Nb (en EEUU es llamado Columbio) o en aleaciones de Ni (Níquel) de una manera controlada para evitar la precipitación de los mismos en servicio produciendo fragilidad. Este último Tratamiento se realiza si fuese necesario mediante un Tratamiento Térmico Post Soldadura (TTPS).

#### CAUSAS A EVITAR

- FISURACION EN SOLDADURA DE INOXIDABLES AUSTENITICOS

La Fisuración Inducida por Hidrógeno (HIC) no es un problema en los aceros inoxidables austeniticos debido a su baja resistencia mecánica (baja dureza), solo cuando están deformados plásticamente en frío puede presentarse la HIC. Podría tenerse en cuenta para el caso de aceros disímiles cuando haya aceros ferríticos

en la junta a soldar. En general no se obtienen beneficios con el precalentamiento (PC) de la soldadura de estos aceros sino más bien un deterioro de la resistencia a la corrosión ínter granular como consecuencia de la precipitación de carburos de Cromo en borde de grano. Además el PC aumenta el riesgo de fisuración en caliente y a la distorsión por su mayor coeficiente de dilatación con respecto a un acero ferrítico. Cuando la grieta es formada por el hidrogeno esta aparece tanto en el metal base como en la zona afectada por el calor y en el material de soldadura.

- FISURACION EN CALIENTE

Bajo condiciones de alta restricción a la contracción, algo frecuente en juntas soldadas de Aceros Inoxidables suelen aparecer pequeñas fisuras distribuidas al azar cuando el material se encuentra a alta temperatura (1000°C). A menudo estas fisuras no son visibles pero un ensayo de plegado de cara las pone en evidencia como rupturas del material no mayores a tres mm de longitud. Son llamadas micro fisuras.

- El papel de la ferrita en la calidad de la soldadura de aceros inoxidables austeníticos.

Se conoce que ocurren microfisuras o grietas en soldaduras de aceros inoxidables austeníticos, estas pueden aparecer en el metal soldado durante o

inmediatamente después de la soldadura, o pueden ocurrir en la zona afectada por el calor de la capa de soldadura depositada previamente. La microestructura del metal soldado influye fuertemente en la formación de microfisuras, ya que una soldadura completamente austenítica es más susceptible a las microfisuras que una soldadura con algo de ferrita.

Niveles de ferrita de 5 a 10% o más en soldaduras o fundiciones pueden ser bastante beneficiosas en la reducción de grietas producidas en caliente y microfisuras. Por ejemplo, una soldadura tipo 308 (UNS W30840) con 0 a 2% de ferrita puede ser bastante sensible a agrietarse, mientras otra soldadura con 5 a 8% de ferrita puede tener una buena resistencia al agrietamiento. La cantidad de ferrita en la serie 300 se controla con la composición y velocidad de enfriamiento de la soldadura, cuanto más rápido el enfriamiento, más alto el contenido de ferrita. Desafortunadamente, la ferrita no es obtenible en todas las aleaciones inoxidables con níquel. Por ejemplo, no es posible ajustar la composición para obtener ferrita en un tipo 310 (UNS S31000). A pesar de ser completamente austenítico y susceptible a las fisuras, la aleación se ha usado por más de 50 años con excelentes resultados. Con ausencia de ferrita en la soldadura, es más importante para el fabricante de metal de aporte controlar los elementos minoritarios, como silicio, fósforo y azufre, para bajarlos lo más posible, para prevenir las fisuras.

Cuando se requiere un metal de aporte con un nivel de ferrita determinado, el comprador o usuario deberá especificar el nivel al proveedor. Las Normas para metales de aporte para acero inoxidable, ANSI/AWS A5.4 para electrodos y ANSI/AWS A5.9 para alambres desnudos, no especifican niveles de ferrita para ninguna clase de aleación.

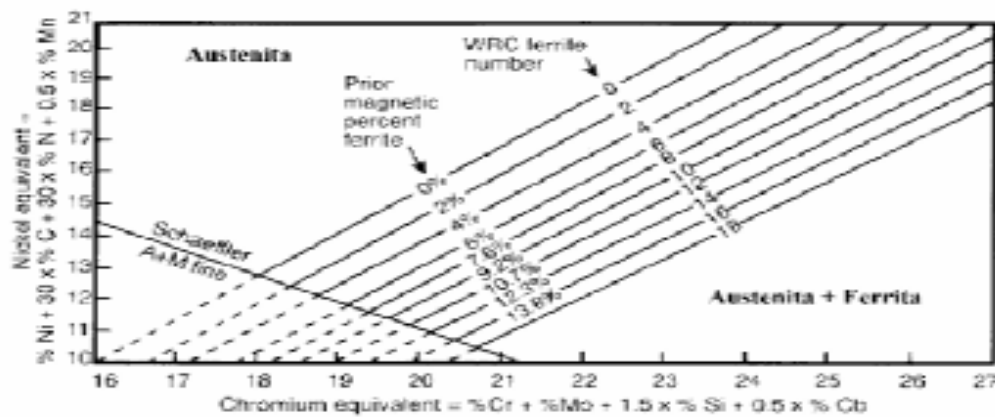
- **Medición de la ferrita en la soldadura**

Mientras hay un amplio acuerdo en los efectos beneficiosos de la ferrita en la soldadura, no siempre es fácil medir la cantidad exactamente en un dado depósito de soldadura. Se pueden utilizar alguno de estos tres métodos:

- Instrumentos magnéticos que pueden medir la ferrita en una escala relativa, lo cual es el método más usado por los fabricantes de metales de aporte. La calibración de los instrumentos es crítica y la AWS ha desarrollado un procedimiento especial de calibración, en el cual también se detalla cómo se debe realizar el relleno de la soldadura y la preparación para el muestreo, dado que esto tiene especial influencia en la medición. La determinación de la ferrita por medio de sofisticados instrumentos magnéticos de laboratorio a menudo no es práctico para el usuario común, es por ello que existen instrumentos magnéticos portátiles, que aunque sean menos precisos, son más fáciles para usar.

- Usando la composición química de la soldadura, el contenido de ferrita se puede estimar a partir de diagramas de constitución para acero inoxidable soldado (Figura 2). Al principio, los diagramas de ferrita la representaban en unidades de volumen - % los diagramas más recientes del Welding research Council, WRC, determinan el número de ferrita, FN, por respuesta magnética. El FN y el volumen-% son los mismos hasta el 6%, pero difieren a niveles más altos. La determinación de ferrita usando el diagrama es fácil y bastante precisa, siempre que se disponga de un análisis químico confiable.
- El contenido de ferrita se puede estimar mediante examen metalográfico, que es más exacto cuando la ferrita está en un rango de 4 a 10%, y deberá ser realizado por un técnico experimentado. Una de las ventajas de este método es que se puede usar en pequeñas muestras sacadas de las soldaduras, o cuando los otros dos métodos no son prácticos.

Figura 2 - Diagrama revisado de la constitución de aceros inoxidables soldados





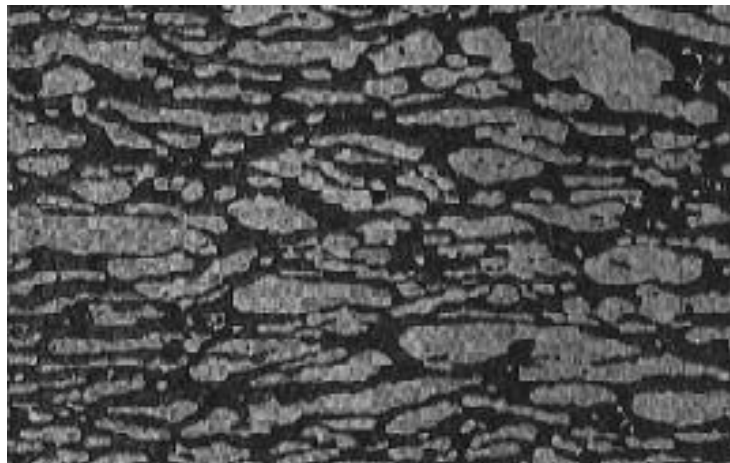
Hay aplicaciones donde la presencia de ferrita en la soldadura no es beneficiosa. A temperaturas criogénicas (-195 °C), la dureza y la resistencia al impacto se ven reducidas por la ferrita, y es una práctica común especificar soldaduras con no más de 2 FN y preferiblemente 0 FN. Es preferible también tener baja ferrita cuando las soldaduras se exponen a temperaturas entre 480 y 925 °C, para evitar una pérdida de ductilidad a temperatura ambiente como resultado de una fase sigma de alta temperatura.

## 6. ACEROS INOXIDABLE DÚPLEX

### 6.1 DEFINICION

Son una familia de aleaciones que tienen dos fases: ferrita y austenita, con un contenido típico de ferrita entre 40 y 60%. La relación ferrita / austenita se logra en las aleaciones forjadas por ajustes en la composición junto con trabajo en caliente y prácticas de templado en las acerías. Las aleaciones podrían ser llamadas aceros inoxidable ferrítico - austeníticos, pero el término "dúplex" es más usado. La microestructura típica de un acero inoxidable dúplex se muestra en la *Figura 3*. La matriz que aparece como un fondo más oscuro es ferrita y la fase más clara, similar a islas alargadas, es la austenita.

Figura 3 - Microestructura típica de una aleación 2205, laminada en frío y templada. Fase oscura: ferrita. Fase clara: austenita



Las aleaciones dúplex datan de los años 1930, y las primeras aleaciones ahora se identifican como de primera generación. Desafortunadamente, las primeras aleaciones tuvieron el problema de una pérdida significativa de la resistencia a la corrosión en la soldadura y tomó algún tiempo para que las aleaciones de segunda generación superaran esta reputación. Todas las aleaciones que se muestran en la Tabla V son aleaciones de segunda generación y contienen típicamente 0.15 a 0.30% de nitrógeno. Uno de los beneficios del nitrógeno es mejorar la resistencia a la corrosión por picado y por rendijas. Con procedimientos adecuados de soldadura, los aceros inoxidable dúplex de segunda generación tienen casi el mismo nivel de resistencia a la corrosión que el material templado de las acerías. El nitrógeno también es beneficioso en la fabricación de planchas de aleaciones de segunda generación, donde la transición dúctil-quebradizo se bajó bien por debajo de la temperatura ambiente, haciendo prácticas las soldaduras de grandes espesores. Sin embargo, las aleaciones dúplex no son usadas a temperaturas inferiores a -45 °C, mientras que algunas aleaciones completamente austeníticas se pueden usar a -270 °C. La aleación 2205 (UNS S31803) es la aleación dúplex más ampliamente usada y hay una cantidad de fabricantes que la producen. Comparando la composición de esta aleación con una de acero inoxidable completamente austenítica, tal como la tipo 316, la 2205 es más alta en cromo, más baja en níquel y contiene nitrógeno. La adición de nitrógeno es muy crítica en las aleaciones dúplex y se hará referencia esta mas adelante.

Tabla 8

Análisis químico de aceros inoxidable dúplex, porcentaje de los principales elementos

Nombre Común (UNS)	C	Cr	Ni	Mo	Otros
7-Mo PLUS (1)	0.03	26.0 - 29.0	3.5 – 5.2	1.0 - 2.5	0.10 - 0.35 N
Aleación 2205 (S31803)	0.03	21.0 - 23.0	4.5 – 6.5	2.5 - 3.5	0.08 - 0.20 N
Ferrallium 255(2)g	0.03	24.0 - 27.0	4.5 – 6.5	2.0 - 4.0	0.10 - 1.25 N 1.5 - 2.5 Cu
SAF 2507 (3) (S32750)	0.03	24.0 - 26.0	6.0 – 8.0	3.0 - 5.0	0.24 - 0.32 N
Zeron 100 (4) (S32760)	0.03	24.0 - 26.0	6.0 – 8.0	3.0 - 4.0	0.5 - 1.0 Cu 0.5 - 1.0 W 0.2 - 0.3 N

(1) 7-Mo PLUS es una marca de Carpenter Technology Corporation

(2) FERRALIUM es una marca de Langley Alloys, Ltd.

(3) SAF 2507 es una marca de Sandvik AB

(4) Zeron 100 es una marca de Weir Material Services, Ltd.

## 6.2 COMPORTAMIENTO EN LA SOLDADURA

- **Cambios microestructurales debido a la practica de la soldadura.** En la zona afectada por el calor de la soldadura adyacente a la frontera de la fusión, la fase Austenítica (gamma), es transformada en ferrita (delta) durante la aplicación de la soldadura; generando un crecimiento de grano de las fases. La extensión de estos cambios depende principalmente de la temperatura de transición y su tope máximo, que esta gobernado por la composición del acero y el ciclo térmico de soldadura en una localización específica.

En el enfriamiento, la fase Austenítica se reforma en la fase ferrítica, inicialmente en los límites de grano y subsecuentemente en medio de los granos de ferrita. La extensión de la reversión y los cambios morfológicos de la fase Austenítica, también depende de la composición del acero, el tiempo y temperatura; adicionalmente, influyen la formación de carburos, carbonitruros, nitruros y endurecimiento de las fases más disueltas, durante los ciclos térmicos de soldadura; además la precipitación de los granos son determinados por la composición del acero, su inicial micro estructura y la naturaleza de los ciclos térmicos. Naturalmente se necesita mucha experiencia para establecer pasos de ciclos térmicos en la ZAC, pues adicionalmente la fase Austenítica tiende a formarse más aya de la precipitación de los granos o carburos.

- **Características de los aceros inoxidable dúplex.** Las aleaciones dúplex ofrecen dos importantes ventajas sobre las aleaciones austeníticas tales como las 304L y 316L, una resistencia más grande a la corrosión por fatiga debido a los cloruros y mejores propiedades mecánicas. La resistencia a la fluencia de las aleaciones dúplex es dos a tres veces mayor y la resistencia a la tracción 25% más grande, mientras que mantienen buena ductilidad a temperaturas normales de operación. La susceptibilidad de los aceros inoxidable Austeníticos a la corrosión por fatiga debido a los cloruros, alrededor de 60 °C, es bien conocida. Los aceros inoxidable Ferríticos son altamente resistentes, pero son más difíciles de fabricar y soldar. Las aleaciones dúplex tienen una

resistencia intermedia a la corrosión por fatiga inducida por cloruros, y en muchos ambientes representa un incremento sustancial sobre las austeníticas.

Las aleaciones dúplex también ofrecen:

- Resistencia a la corrosión general y por picado, igual o mejor que la del tipo 316L, en muchos ambientes corrosivos.
- Resistencia a la corrosión intergranular, debido al bajo contenido de carbono.
- Buena resistencia a la erosión y abrasión.
- un coeficiente de expansión térmica cercano al del acero al carbono, lo cual puede resultar en menores tensiones en las soldaduras que involucren inoxidables dúplex con acero al carbono.

Hay diferencias metalúrgicas comparadas con las aleaciones austeníticas, que cuando son conocidas y reconocidas se pueden manejar fácilmente. Las diferencias ocurren como resultado de exposición a alta temperatura.

- **Exposición a alta temperatura.** Los aceros inoxidables dúplex normalmente se utilizan en un rango de temperaturas entre -45 °C y 260 °C. En la producción o fabricación de aleaciones, se emplea una alta temperatura (1040 °C o más) para el templado por disolución; dependiendo de la aleación; seguido por un enfriamiento rápido, con el objeto de dar óptimas propiedades

mecánicas y resistencia a la corrosión. Si se exponen a un rango de temperaturas entre 315 °C y 950 °C, las aleaciones dúplex tienen un comportamiento diferente al de las austeníticas, pero una vez que se reconocen las diferencias, no debería haber problemas.

Se puede formar una fase intermetálica llamada *sigma* cuando las aleaciones dúplex se mantienen en un rango de temperaturas entre 650 °C y 950 °C. La fase sigma causa fragilidad a temperatura ambiente, y cuando se encuentra en cantidades apreciables, la resistencia a la corrosión disminuye. Sin embargo, prestando atención al tiempo mínimo en el rango de formación de la fase sigma durante el temple y soldadura, un mejor control de proceso de fabricación en la acería, y el efecto benéfico del nitrógeno, pueden eliminar cualquier problema debido a la fase sigma. En los procedimientos normales de soldadura de las aleaciones dúplex de segunda generación, la soldadura o la zona afectada por el calor vecina a ésta, no está durante el tiempo suficiente a una temperatura en la cual la fase sigma pueda aparecer. Otro fenómeno que ocurre a alta temperatura es el conocido como *fragilización a 475 °C*. Puede ocurrir cuando una aleación dúplex (o cualquier aleación de hierro-cromo que contenga entre 13 y 90% de cromo) se mantiene o se enfría lentamente entre un rango de temperaturas entre 315 °C y 540 C. Con las aleaciones dúplex de segunda generación, y usando prácticas apropiadas de temple y soldadura, la soldadura y la zona afectada por el calor no están durante el tiempo suficiente a una temperatura en la cual se pueda

desarrollar esta fragilización. Se menciona aquí como una precaución a tener en cuenta si no se siguen los procedimientos estándar.

### 6.3 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

- **Efecto de la soldadura en los aceros inoxidables Dúplex.** La soldabilidad de las aleaciones de segunda generación se han mejorado sustancialmente a través de agregados controlados de nitrógeno y al desarrollo de metales de aporte enriquecidos en níquel. Usando unos pocos controles en los procedimientos de soldadura, se obtienen soldaduras sólidas, con una resistencia a la corrosión comparable al metal de base. La importancia de los controles en la generación de calor, temperatura de interpaso, precalentamiento y metal de aporte enriquecido en níquel son las siguientes:
- **Metal de aporte enriquecido en níquel.** Las soldaduras en aceros inoxidables dúplex hechas con un metal de aporte de la misma composición que el metal de base, o sin metal de aporte, pueden tener 80 % o más de ferrita en la zona de fusión, una vez soldados. Una soldadura con ese nivel de ferrita tiene poca dureza y ductilidad, y a menudo no pasa la prueba de doblado. Un alto contenido de ferrita en la soldadura también reduce marcadamente la resistencia a la corrosión en muchos ambientes agresivos. Un templado entre 1040 °C y 1150 °C devuelve la relación deseada de ferrita/austenita, pero el



tratamiento no es práctico en muchos casos, y es caro. Incrementando el contenido de níquel en el metal de aporte, permite que se forme más austenita, y así la soldadura, una vez realizada tendrá entre 30% y 60% de ferrita, que es el nivel deseado. Las soldaduras hechas con metal de aporte enriquecido en níquel tienen buena ductilidad, son capaces de pasar la prueba de doblado, y tienen resistencia a la corrosión similar a la del metal de base. Es deseable que todas las pasadas de soldadura sean hechas con una buena cantidad de metal de aporte para incrementar el contenido de níquel de la soldadura. Una gran dilución con el metal de base puede resultar en una soldadura con un alto contenido de ferrita, con baja ductilidad y dureza. Un ejemplo de dónde esto puede ocurrir es en la primera pasada de soldadura en un caño, con una gran dilución del metal de base. Se deberá tener un especial cuidado en agregar una cantidad suficiente de metal de aporte enriquecido en níquel. Las juntas con bordes suaves y bien ajustados favorecen la alta dilución y deben ser evitadas. Se prefieren las juntas con una separación más grande, dado que requieren la adición de metal de aporte. Los metales de aporte enriquecidos en níquel para aleaciones dúplex están disponibles como electrodos recubiertos, alambres desnudos, y alambres con alma rellena de decapante, como se muestra en la *Tabla 9* Los metales de aporte dúplex no están cubiertos por las especificaciones corrientes de la AWS, pero serán incluidos en futuras ediciones.

- **Control de la generación de calor.** No hay completo acuerdo de parte de los productores e investigadores en soldadura en los límites apropiados de la generación de calor. Los argumentos para una generación de calor grande (ver fórmula), es que da más tiempo para que la ferrita se transforme en austenita, particularmente en la zona afectada por el calor. El peligro de una generación de calor grande es que podría permitir que se formen en la ferrita fases fragilizantes, tales como la sigma y la 475 °C. Con los aceros inoxidable dúplex de segunda generación, se necesita un tiempo más largo a temperatura para que se desarrollen estas fases, así que no habrá una fragilización significativa. Un rango de generación de calor generalmente aceptado está entre 0.6 y 2.6 kJ/mm (kilojoules por milímetro), aunque se han usado niveles tan grandes como 6.0 kJ/mm. Cuando se deba usar un proceso de soldadura con niveles de generación de calor menores a 0.6 kJ/mm, un precalentamiento a 95 °C – 205 °C es útil para reducir la velocidad de enfriamiento e incrementar el contenido de austenita en la soldadura. Cuando exista una duda en la cantidad apropiada de generación de calor a aplicar para una aleación en particular, se recomienda contactar al proveedor por recomendaciones específicas.

La generación de calor en kJ/mm se calcula como:

$$\text{Voltaje} \times \text{Amperaje} \times 60 / \text{Velocidad (mm/min.)} \times 1000$$

- **Control de temperatura de interpaso.** Uno de los primeros temores fue que una alta temperatura de interpaso pudiera resultar en la fragilización a 475 °C, y se sugirió un límite máximo de temperatura de interpaso de 150 °C. Este límite es conservador, y en algunos casos un límite máximo de 230 °C podría ser aceptable. Sin embargo, con la finalidad de mantener la consistencia, los fabricantes a menudo especifican el mismo valor utilizado para los aceros inoxidable austeníticos (150 °C a 175 °C)
- **Pre calentamiento.** No hay necesidad de precalentar en espesores de 6 mm y menos en las soldaduras hechas con metal de aporte enriquecido en níquel. En secciones más gruesas, y en soldaduras difíciles, se puede usar el precalentamiento para minimizar el riesgo de una fisura en la soldadura. Cuando se debe usar un proceso de soldadura con baja generación de calor (0.6 kJ/mm), un precalentamiento a 95 °C - 205 °C reduce el enfriamiento rápido y disminuye el contenido de ferrita en la soldadura y en la zona afectada por el calor.

**Tabla 9**  
**Composición típica de los metales de aporte para aceros inoxidable dúplex**

<b>Alambre con alma llena UNS</b>	<b>Metal Base</b>	<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>Otros</b>
In-flux 2209-0 (1) (W31831)	2205 (S31803)	0.02	22.0	8.5	3.3	0.14 N
In-flux 259-0 (1)	FERRALIUM 255 (S32550)	0.02	25.0	10.0	3.2	0.14N 2.0 Cu

<b>Electrodos recubiertos UNS</b>	<b>Metal Base</b>	<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>Otros</b>
2209-16 (1) (W39209) tentativo	2205 (S31803)	0.03	23	9.7	3.0	0.10 N
22.9.3.L-16 (2) 22.9.3.L-15 (2) 22.9.3.LR	3RE60 (S31500) 2205 (S31803) 2304 (S32304)	0.03	22	9.5	3.0	0.15 N
7-Mo PLUS enriquecido en Ni (3)	7-Mo PLUS (S32950)	0.03	26.5	9.5	1.5	0.20 N
FERRALIUM 255 (4) (W39553) tentativo	FERRALIUM 255 (S32550)	0.03	25	7.5	3.1	0.20 N 2.0 Cu

<b>Alambre desnudo UNS</b>	<b>Metal Base</b>	<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>Otros</b>
22.8.3L (2)	3RE60 (S31500) 2205 (S31803) 2304 (S32304)	0.01	22.5	8.0	3.0	0.10 N
7-Mo PLUS enriquecido con Ni (3)	7-Mo PLUS (S32950)	0.02	26.5	8.5	1.5	0.20 N
FERRALIUM 255 (4) (S39553) tentativo	FERRALIUM 255 (S32550)	0.03	25	5.8	3.0	0.17 N
Zeron 100 (5)	Zeron 100 (S32760)	0.03	25	10*	3.5	0.25 N 0.7 Cu 0.7 W

(1) 2209-16, In-flux 2205-0 e In-flux 259-0 son marcas de Teledyne McKay

(2) 22.9.3.L-16, 22.9.3.L-15, 22.9.3.LR y 22.8.3.L son marcas de Sandvik AB

(3) 7-Mo PLUS es una marca de Carpenter Technology Corporation

(4) FERRALIUM es una marca de Langley Alloys, Ltd.

(5) Zeron 100 es una marca de Weir Material Services, Ltd.

\* Cuando la junta es tratada térmicamente después de la soldadura, el Ni deberá ser 6.0-8.0%

## 7. ACEROS INOXIDABLES ENDURECIDOS POR PRECIPITACIÓN

### 7.1 DEFINICION

Estos grados contienen solamente adiciones de cobre o molibdeno, produciendo unas características similares a los aceros austeníticos, mientras que otros contienen aluminio o inusualmente alto contenido de titanio, para aparentar notablemente una diferencia y posibilitar que requiera un alto grado de protección contra la corrosión.

TABLA 10 analisis quimico de los aceros inoxidable endurecidos por precipitacion en % de elementos.

Aisi Tipo (uns)	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS
S13800	0.05	0.10	0.010	0.008	0.10	12.25/13.25	7.5/8.5	2/2.5	0.9/1.35AL 0.010N
S15500	0.07	1	0.04	0.03	1	14/15.5	3.5/5.5		2.5/4.5 Cu 0.15/0.45 Cb+Ta
S17400	0.07	1	0.04	0.03	1	15.5/17.5	3/5		3/5 Cu 0.15/0.45 Cb+Ta
S17700	0.09	1	0.04	0.04	0.040	16/18	6.5/7.75		0.75/1.50 Al

TABLA 11

Propiedades mecánicas nominales de aceros inoxidable endurecidos por precipitación.

Aisi Tipo(uns)	Esfuerzo de tensión		Esfuerzo de cedencia (0.2% equivalente)		Elongacion en 2 in (50.8 mm)	Dureza (Rockwell)
	Ksi	MPa	Ksi	MPa	%	
S13800	160	1103	120	827	17	C33
S15500	160	1103	145	1000	15	C35
S17400	160	1103	145	1000	15	C35
S17700	130	896	40	276	10	B90

## 7.2 COMPORTAMIENTO EN LA SOLDADURA

Los aceros inoxidable endurecibles por precipitación están clasificados por UNS por las series 100,350, 360, 450 y 455. Su uso es muy acotado y el fabricante lo entrega con el tratamiento térmico ya realizado. Los hay de estructura austenítica, martensítica y semiaustenítica. Los martensíticos y semiausteníticos son austeníticos a alta temperatura. Los martensíticos templan a  $M_s$  entre  $100^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$  mientras que para los semiausteníticos  $M_s$  se encuentra debajo de temperatura  $-70^{\circ}\text{C}$ . En este caso para inducir la transformación Martensítica se puede temprar hasta  $-100^{\circ}\text{C}$ , deformar plásticamente en frío o calentar a  $650^{\circ}\text{C}/850^{\circ}\text{C}$  para precipitar carburos de los aleantes y así disminuir la cantidad de estabilizantes de la fase austenítica y elevar  $M_s$ . Son aceros con entre 12% y 18 % de Cr y entre 4 % y 9 % de Ni además de los aleantes que producen el endurecimiento por precipitación que suelen ser Mo, Ti, N, Cu, Al, Ta, Nb, B, y V. Se los utiliza en ciertas aplicaciones a alta temperatura como ser intercambiadores de calor y tubos del sobrecalentador de calderas de vapor.

Cambios en la estructura de este acero pueden ocurrir, cuando este es sujeto a una localización del calor de la soldadura y es muy importante notar la condición del metal base previo a la soldadura, es decir si esta templado, tratado en solución o endurecido.

### 7.3 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

En general, la serie de aceros endurecidos por precipitación pueden ser soldados fácilmente y obtener excelentes propiedades mecánicas durante el proceso, por lo que las diferencias en las propiedades de la soldadura pueden ser confiables. Normalmente los procedimientos de soldadura son similares a los de los aceros inoxidable auténticos ya que estos poseen solamente adiciones de cobre y molibdeno, produciendo un depósito fundido similar al de los aceros inoxidables austeníticos; Mientras que otros grados contienen aluminio o inusualmente alto contenido de titanio para aparentar notablemente una diferencia y posibilitar que requiera un alto grado de protección para la atmósfera durante la soldadura.

Cambios en la estructura de estos aceros, pueden ocurrir cuando este es sujeto a una localización del calor de la soldadura, ya que es muy importante notar la condición del metal base previo a la soldadura; esto es si está templado, tratado térmicamente o endurecido. El calor de la soldadura producirá una invariabilidad en la zona tratada térmicamente y producirá un temple en la zona. Es una práctica común realizar un tratamiento térmico para aliviar tensiones en la zona que pueden generar grietas y desperfecto en la zona soldada.

## 8. METODOS DE SOLDADURA

Los dos métodos básicos para la soldadura de aceros inoxidable, son la soldadura por fusión y por resistencia eléctrica. En el procedimiento por fusión, el calor generado es proveído por un arco eléctrico producido con un electrodo de carbón o metálico, el cual esta conectado a un terminal de la maquina que provee la energía y la pieza a soldar esta conectada al terminal restante. En la soldadura por resistencia, esta es el resultado de la aplicación de calor y presión; el calor generador la resistencia, es producto del flujo de corriente eléctrica que circula en medio de las piezas a soldar y la presión es aplicada por los electrodos.

Los métodos mas usados en la soldadura por fusión son los siguientes.

- Soldadura de arco con electrodo revestido (SMAW)
- Soldadura con gas de electrodos de tusteno (GTAW)
- Soldadura arco-metal-gas(GMAW)
- Soldadura de arco sumergido (SAW)

Otros métodos de soldadura utilizados en casos especiales son el de arco con plasma, haz de electrones y láser. En todos los casos de estos procedimientos las zonas de soldadura deben ser protegidas con gas o fundente granular; cuando es



necesario preservar la resistencia a la corrosión y resistencia mecánica de las juntas.

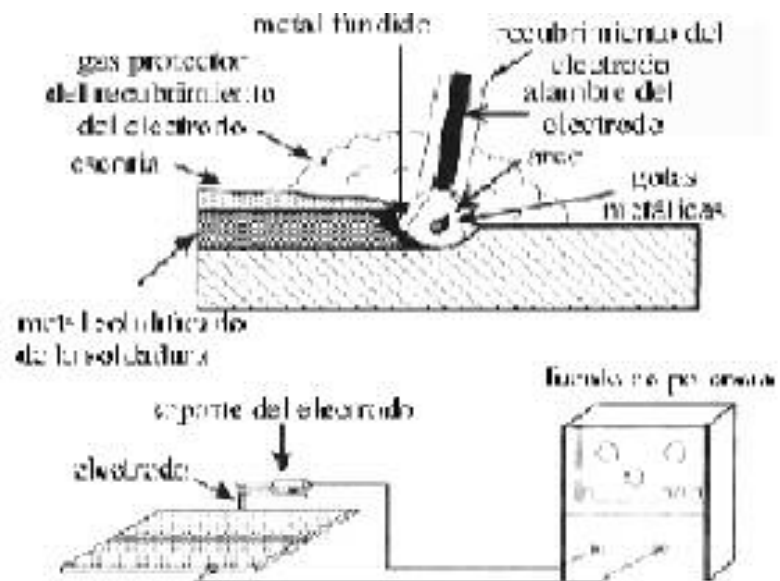
### **SOLDADURA CON ARCO DE ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)**

SMAW, es el más fácil, versátil y popular método para la soldadura de los aceros inoxidables; especialmente para formas de junta que no se pueden soldar fácilmente con procesos automáticos o semiautomáticos. Estos electrodos se caracterizan por tener una capa de fundente extruida, que recubre el material de aporte. La soldadura se lleva a cabo manualmente con el soldador manteniendo control sobre la longitud del arco y dirigiéndolo hacia la junta a soldar. El recubrimiento del electrodo tiene estas funciones:

- la cubierta exterior de decapante no se quema tan rápido como el alambre del electrodo, lo cual ayuda a controlar la acción del arco y permite soldar en varias posiciones.
- El decapante se utiliza para aportar aleación al metal de soldadura. El alambre del electrodo no siempre es de la misma composición que el metal que se deposita en la soldadura, y por lo tanto es una mala práctica sacar el recubrimiento del electrodo y utilizar

- El alambre como metal de aporte en otro proceso como la soldadura TIG.
- El recubrimiento gaseoso de la descomposición del decapante excluye al oxígeno y nitrógeno del metal fundido.
- La escoria fundida que se forma sobre la soldadura protege al metal de la contaminación atmosférica y ayuda a dar forma al cordón de soldadura.

Los componentes básicos de la soldadura con arco protegido se muestran en la figura 4, como sigue.



- **Electrodos Para Soldadura Smaw.** Los electrodos se seleccionan primero en base al metal a soldar y luego de acuerdo con el tipo de recubrimiento.

Normalmente son de una aleación de la misma composición que el metal de base, o más alta. En algunos casos, por razones de diseño, se utilizan electrodos de aleaciones especiales. El tipo de recubrimiento del electrodo generalmente se deja a criterio del fabricante. Los electrodos para aceros inoxidable se muestran en la *Tabla 12*. La fórmula del recubrimiento del electrodo es una información celosamente guardada por el fabricante de éstos. El recubrimiento influencia cómo el electrodo opera en distintas posiciones, formas y uniformidad del cordón de soldadura. Hay dos clasificaciones básicas: 15 (óxido de calcio) y 16 (óxido de titanio). Por ejemplo, un electrodo puede ser 308-15 o 308-16. Los fabricantes a menudo establecen sus propios sufijos para la designación de electrodos especiales, pero la Norma AWS A 5.4 – 81 reconoce sólo el -15 y -16. Los electrodos tipo -15 son también conocidos como calcio - feldespato o tipo básico. Se usan con corriente continua, electrodo positivo; pero algunas marcas operan con corriente alterna.

Estos recubrimientos dan las soldaduras más limpias, con bajo contenido de nitrógeno, oxígeno e inclusiones. Las soldaduras tienden a ser más duras, dúctiles, más resistentes a la rotura y tienen la mejor resistencia a la corrosión. Los electrodos tienen buena penetración y se pueden usar en todas las posiciones, lo cual es deseable en un trabajo de montaje. El recubrimiento de los electrodos tipo -16 generalmente tiene una mezcla de óxidos de calcio y titanio y se usan a menudo con corriente alterna. Son más populares que los

del tipo -15 debido a sus mejores características de operación. El arco es estable y uniforme, con una buena transferencia de metal. El cordón de soldadura es uniforme, con un contorno entre plano y ligeramente cóncavo. La escoria se elimina fácilmente sin que quede un film secundario en el cordón de soldadura.

- **Otras guías en el empleo de soldadura por arco metálico protegido.** Los factores que contribuyen a una alta calidad de las soldaduras en acero inoxidable incluyen el manejo y almacenamiento apropiado de los electrodos, una intensidad de corriente adecuada, junto con buenas técnicas para el encendido y apagado del arco.
- **Manejo y almacenamiento de los electrodos.** Los electrodos de acero inoxidable se suministran normalmente en paquetes adecuados para un largo almacenamiento. Después que el paquete se abre, los electrodos se deben guardar en gabinetes calefaccionados a una temperatura recomendada por el fabricante. Si los electrodos han sido sobreexposos a la humedad, deben ser reacondicionados a una temperatura y tiempo indicados por el fabricante. Es preferible obtener las indicaciones precisas del fabricante, dado que la temperatura varía con el tipo de recubrimiento, pero a falta de esta información, las temperaturas más comunes que se usan son:

- almacenamiento de electrodos de cajas abiertas 110 °C
- tratamiento de reacondicionamiento: 260 °C

La humedad en los recubrimientos es un inconveniente porque el hidrógeno generado puede causar porosidad en la soldadura. Los poros pueden estar en el interior de la soldadura o pueden alcanzar la superficie justo cuando el metal se solidifica, formando poros visibles. La porosidad puede ocurrir en soldaduras a tope cuando el contenido de humedad del recubrimiento es alto, pero ocurre más a menudo en los filetes de soldadura. La humedad excesiva en el recubrimiento de electrodos de aceros inoxidable dúplex tiene el riesgo añadido de causar fragilidad por hidrógeno en la fase ferrítica, lo cual no es un inconveniente en los aceros inoxidable austeníticos de la serie 300. Los electrodos mojados no deben ser reacondicionados sino descartados. La humedad en el recubrimiento no es la única causa de porosidad en la soldadura. Soldar sobre superficies pintadas o engrasadas puede dar lugar a poros del tipo de agujeros de gusano.

- **Intensidad de corriente.** Los fabricantes de electrodos normalmente indican en cada paquete los rangos recomendados de intensidad de corriente para cada diámetro. Dado que los aceros inoxidable tienen una resistencia eléctrica más grande que los aceros comunes, los rangos de intensidad de

corriente pueden estar entre un 25 y 50% de los utilizados para electrodos de acero común. Una intensidad de corriente excesiva sobrecalienta el recubrimiento del electrodo, lo cual a su vez causa una pérdida en la fuerza del arco y dificultad en dirigir el arco cerca de la punta del electrodo.

- **Encendido y apagado del arco.** Las mismas técnicas que se utilizan para el encendido y apagado del arco en los electrodos de acero al carbono con bajo hidrógeno, tal como el E7018, son de aplicación en la soldadura de los aceros inoxidable.

Algunas guías son:

- encender el arco en algún punto de la junta de tal manera que el metal se vuelva a fundir. Un encendido del arco lejos de la soldadura puede generar grietas, y a menos que sean eliminadas, darán lugar a un área con resistencia a la corrosión disminuida.
- No extinguir abruptamente el arco dejando un cráter en la soldadura. Cuando el metal se solidifique, se formará una depresión, a menudo rellena con escoria. Una técnica aceptable es mantener el arco por unos momentos sobre la soldadura, y luego moverlo rápidamente hacia atrás, alzando el arco

del cordón de soldadura. Otra técnica es apagar el arco contra una de las paredes de la junta después de llenar el cráter.

- Evitar un movimiento excesivo del electrodo. Los límites de una ondulación aceptable varían de acuerdo con el tipo de electrodo, y con los electrodos con recubrimiento de tipo básico (-15) a menudo se necesita una pequeña oscilación para lograr un buen cordón de soldadura. Sin embargo, una oscilación excesiva a menudo resulta en un mayor aporte de calor, que puede causar fisuras o deformaciones en la soldadura. La oscilación normalmente se limita a 2 - 2.5 veces el diámetro del alambre del electrodo.

Los soldadores con experiencia, saben que tipo de recubrimiento usar, pues los diseñadores generalmente especifican la composición de la aleación.

Tabla 12

<b>Clasificación de los electrodos de soldadura de arco revestido según AWS</b>			
<b>DC polaridad inversa</b>		<b>AC y DC polaridad inversa</b>	
E308-15	E310-15	E308-16	E310-16
E312-15	E318-15	E312-15	E318-16
E308L-15	E310Cb-15	E308L-16	E310Cb-16
E16-8-2-15	E330-15	E16-8-2-15	E330-16
E309-15	E310Mo-15	E309-16	E310Mo-16
E316-15	E347-15	E316-16	E347-16
E309Cb-15	E 349-15	E309Cb-16	E 349-16
E316L-15	E317-15	E316L-16	E317-16
E309Mo-15		E309Mo-16	

## **SOLDADURA DE GAS CON ELECTRODO DE TUNGSTENO (TIG-GTAW)**

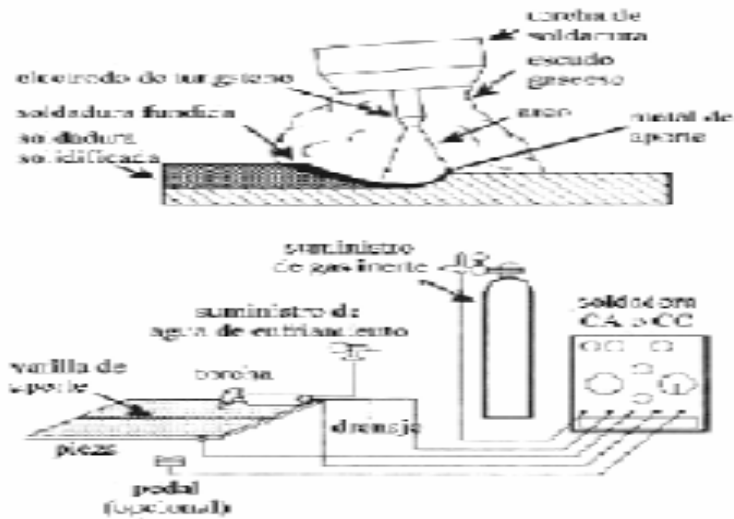
El proceso GTAW (Tungsten Inert Gas), o comunmente TIG, se usa ampliamente y es muy adecuado para soldar acero inoxidable. Un gas inerte (normalmente argón) se usa para proteger del aire al metal fundido de la soldadura. Si se necesita, se agrega metal de aporte en forma de alambre dentro del arco, bien manual o automáticamente. Mediante el proceso TIG se puede soldar materiales tan finos como algunas centésimas hasta espesores grandes, pero normalmente se usa hasta 1/4" (6.4 mm).

Algunas ventajas de este proceso de soldadura incluyen:

- no hay escoria que eliminar, lo cual minimiza las tareas de limpieza posterior.
- es un proceso de soldadura que se puede utilizar en todas posiciones, lo cual lo hace especialmente apto para la soldadura de cañerías.
- no hay salpicaduras de soldadura que limpiar.
- prácticamente no hay una variación en la composición química de la aleación del metal de base durante la soldadura.

Los componentes básicos de la soldadura TIG se muestran en la figura 5, como sigue.





- Equipamiento Para Soldadura TIG.** Lo estándar es utilizar corriente continua, con electrodo negativo. Una opción es utilizar corriente pulsante, que es adecuada para soldar materiales finos y para juntas que no están bien alineadas; La corriente pulsante es también útil para realizar la pasada de raíz en soldadura de cañerías. Las fuentes de potencia normalmente cuentan con un dispositivo de encendido de alta frecuencia, esto permite que el arco se encienda sin tener que tocar la superficie, lo cual puede resultar en una contaminación del electrodo de tungsteno. Algunas fuentes tienen un dispositivo que permite que el electrodo sea posicionado sobre el trabajo, pero el arco no se enciende hasta que la torcha sea levantada. Una ventaja sobre el encendido por alta frecuencia es que elimina la posible interferencia sobre componentes cercanos, tales como computadoras y componentes electrónicos. Además de los controles para la intensidad de corriente en el tablero de la fuente, a menudo es útil tener un dispositivo de control de intensidad por medio

de un pedal; Este dispositivo permite al operario aumentar o disminuir la corriente durante el transcurso de la soldadura, para ajustarse a las condiciones, como puede ser una junta desalineada. Una ventaja adicional es que permite el apagado del arco reduciendo la intensidad de corriente.

Las antorchas son enfriadas por aire o por agua. Las enfriadas por aire están limitadas a un rango de corrientes más bajo que las enfriadas por agua. Los electrodos más comunes son los de tungsteno con un 2% de torio, debido a sus excelentes propiedades de emisividad, aunque se utilizan electrodos de tungsteno con otros agregados. Las opiniones difieren en cuanto al tamaño de los electrodos para diferentes amperajes. Algunos están a favor de utilizar diferentes diámetros para rangos de corriente diferentes, mientras otros usan un diámetro de 2.4 mm para un rango de corriente mucho más amplio. También varían las preferencias en cuanto a la terminación de la punta del electrodo, pero una de las usadas más comúnmente es un afilado entre 20 y 25° con el extremo despuntado a 0.25 mm de diámetro.

Las toberas o copas gaseosas vienen en una amplia variedad de tamaños y formas, y es mejor adaptar la tobera a la aplicación. Los diámetros de copa más grandes proveen mejor protección gaseosa, mientras las más pequeñas ayudan a mantener un arco más estable y permiten una mejor visibilidad. Una alternativa es el lente gaseoso, el cual crea un flujo laminar mediante pantallas

especiales dentro de la tobera. El flujo de gas inerte se proyecta a una distancia considerable de la punta de la tobera, dando una mejor protección gaseosa y buena visibilidad. Con cualquier proceso de soldadura que utilice gas inerte, es importante revisar todas las conexiones para asegurar que no existan pérdidas en el sistema. Si existiera una pérdida, por ejemplo en la línea de gas, el aire será aspirado dentro de ésta, a pesar que se crea lo contrario.

- **Consumibles.** Para soldar aceros inoxidable, en el escudo gaseoso se utiliza argón puro, helio o mezclas de los dos. Las mezclas de argón con oxígeno que se utilizan en la soldadura MIG no deben ser usados en la TIG, debido al rápido deterioro de los electrodos de tungsteno. La adiciones de nitrógeno no se recomiendan por la misma, razón. En la soldadura manual y realización de juntas por debajo de un espesor de 1.6 mm se prefiere al argón como escudo gaseoso. Da una buena penetración con una velocidad de flujo menor que la del helio, y hay menos oportunidad de fundir la soldadura. El helio produce un mayor flujo calorífico y una penetración más profunda, lo cual puede ser una ventaja en algunas operaciones de soldadura automática. Las mezclas de argón-helio pueden mejorar el contorno de la soldadura y la mojabilidad.

Los metales de aporte adecuados para la soldadura TIG de aceros inoxidable se muestran en forma de trozos rectos; y se utilizan normalmente en la

soldadura manual, mientras que los alambres en rollos o bobinas se usan en la soldadura automática. Son esenciales prácticas convencionales de control de calidad para asegurar la limpieza de los alambres y evitar la mezcla de las distintas calidades. El alambre desnudo debe ser limpiado antes de ser usado y almacenado en un lugar cubierto.

- **Guías Técnicas Para El Operador.** La iniciación del arco se hace más fácil mediante dispositivos tales como un arranque por alta frecuencia o un arco piloto. En ausencia de estos dispositivos, se inicia el arco frotando la superficie con el electrodo, con lo cual se corre el riesgo de contaminar al electrodo y al metal a ser soldado. Cuando sea práctico, es útil utilizar pequeños trozos de planchuela de acero inoxidable adyacentes a la soldadura, para eliminar el posible daño en el metal de base. El soldador también debe ser cuidadoso cuando apaga el arco. El tamaño de la parte fundida de la soldadura debe ser disminuido, de otra manera, cuando la soldadura solidifique quedará un cráter y se producirá una grieta. En ausencia de un pedal de control de corriente, se debe aumentar la velocidad de soldadura antes de levantar el electrodo. Una buena práctica de apagado del arco es particularmente importante en la pasada de raíz de soldaduras que se realizan sólo desde un lado, de otra manera las grietas serán difíciles de reparar. Después de que se rompa el arco, el soldador deberá mantener la torcha sobre el cráter por varios

segundos para permitir que la soldadura se enfríe bajo la protección de la atmósfera de argón. Los aceros inoxidable son fáciles de soldar con el proceso TIG. Las aleaciones son relativamente insensibles a una pobre protección gaseosa, comparadas con metales reactivos, tales como titanio o zirconio. Sin embargo, es una buena práctica proveer de una buena protección gaseosa, tanto a la soldadura como al respaldo, lo mismo que mantener al metal de aporte dentro del escudo gaseoso durante la soldadura. Si el proceso tiene una potencial limitación, es que la soldadura pueda parecer buena, pero tener un metal de aporte inadecuado. En algunas soldaduras, esta práctica puede resultar en una forma cóncava, que tiene una tendencia a rajarse en el centro. La utilización de un metal de aporte adecuado, produce una soldadura ligeramente convexa y en algunas aleaciones mejora el nivel de ferrita, lo cual aumenta la resistencia al agrietamiento. En las soldaduras sujetas a ambientes corrosivos severos, a menudo es necesario que la aleación de las soldaduras sea de un grado más alto que la del material de base a ser unido, para dar una resistencia a la corrosión similar. Las soldaduras de aleación enriquecida son sólo posibles con una generosa adición de metal de aporte. Es difícil definir qué cantidad de metal de aporte se debe utilizar, pero se estima que al menos de un 50% del metal de la soldadura debiera provenir del metal de aporte. Sin embargo, es importante que la mezcla con el metal de aporte adecuado se produzca antes de que la soldadura se solidifique, de otra manera existirían zonas segregadas de alta y baja aleación. Una causa de este tipo de

segregación se debe a una desigual fusión del metal de aporte, junto con una alta velocidad de solidificación. Un ejemplo de dónde este tipo de segregación en la soldadura puede afectar en forma adversa el comportamiento en servicio, es en la soldadura de raíz de los caños utilizados en ambientes corrosivos.

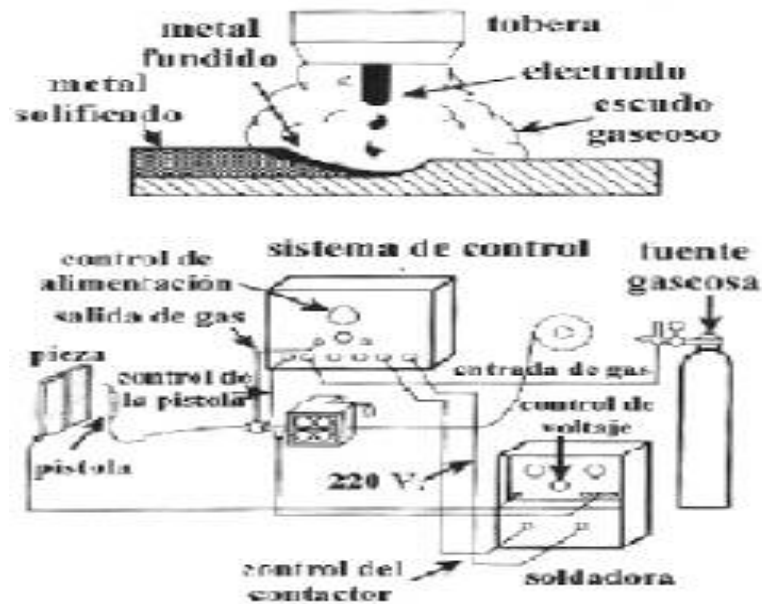
### **SOLDADURA DE ARCO- METAL-GAS (GMAW-MIG)**

En el proceso GMAW, comunmente MIG (metal inert gas, cuando se utiliza un escudo gaseoso de gas inerte) o MAG(metal active gas, cuando se utiliza un gas activo), se establece un arco entre el electrodo consumible, un alambre desnudo y la pieza. El arco y la soldadura se protegen de la atmósfera mediante un escudo gaseoso, compuesto principalmente por gases inertes, argón y/o helio. Con el objeto de obtener una mejor acción del arco y una mejor mojabilidad en la soldadura, se utilizan opcionalmente pequeñas cantidades de gases activos, tales como dióxido de carbono, oxígeno e hidrógeno. Algunas ventajas del proceso MIG sobre los otros procesos de soldadura incluyen:

- mayores velocidades de soldadura
- no hay escoria que eliminar, lo cual facilita el proceso de limpieza posterior
- facilidad de automatización
- buena transferencia de elementos a través del arco

Los componentes básicos del proceso MIG se muestran en la Figura.

Figura 6



- **Modos De Transferencia Del Arco.** Los tipos de transferencia metálica en la soldadura MIG tienen una profunda influencia en las características del proceso, a un grado tal que a menudo es engañoso dar información general sobre el proceso MIG sin indicar el modo de transferencia del arco. Los tres modos más utilizados en la soldadura de aceros inoxidable son: spray, corto circuito y arco pulsado. La *Tabla 13* compara algunos parámetros y diferencias de uso entre los tres.

Tabla 13

**Comparación de modos de transferencia de arco en la soldadura MIG de aceros inoxidables**

	Spray	Corto circuito	Arco pulsado
Espesores	3 mm mínimo 6 mm y más	1.6 mm y más	1.6 mm y más
Posiciones	Plana y horizontal	Todas	Todas
Vel relativa de deposición	La más alta	La más baja	intermedia
Diámetro típico del alambre	1.16 mm	0.8 ó 0.9 mm	0.9 ó 1.2 mm
Corriente típica de soldadura	250 - 300 amperios	50 - 225 amperios	Arriba de picos de 250 amperios
Escudo gaseoso (1)	Argón - 1% oxígeno Argón - 2% oxígeno	90% helio 7.5% argón 2.5% CO <sub>2</sub> o 90% argón 7.5% helio 2.5% CO <sub>2</sub>	90% helio 7.5% argón 2.5% CO <sub>2</sub> o 90% argón 7.5% helio 2.5% CO <sub>2</sub> o argón - 1% oxígeno

- **Equipamiento Para Soldadura MIG.** Las mismas fuentes de potencia, mecanismos de alimentación de alambre y torchas que se usan para la soldadura de aceros ordinarios, se usan en aceros inoxidables. Los



recubrimientos plásticos en los conductos de alimentación de alambre han demostrado ser útiles para reducir el arrastre con alambres de acero inoxidable. El proceso MIG tiene más parámetros que controlar que el TIG y la soldadura con electrodos recubiertos, tales como amperaje, voltaje, pendiente de corriente, alimentación de alambre, velocidad de pulsos y modo de transferencia del arco. Consecuentemente, las fuentes de potencia para la soldadura MIG son más complejas y costosas. Algunas de las fuentes más nuevas, tales como la de arco pulsado sinérgico, han hecho la operación más simple, ya que provee sólo un dial de control para el operador, y los otros parámetros se ajustan automáticamente. La corriente de soldadura utilizada más del 95% del tiempo es de polaridad inversa. Esta corriente da una penetración más profunda que la corriente de polaridad directa, y un arco más estable. La corriente de polaridad directa se limita a aplicaciones que requieren una penetración superficial, tales como la soldadura en solapa.

- **Consumibles.** Algunos de los gases más comúnmente usados para escudos gaseosos en soldadura MIG se muestran en la *Tabla 13*, El gas que se usa como protección para el arco spray normalmente es argón con 1 o 2% de oxígeno. Las soldaduras por arco en cortocircuito y pulsado usan una gran variedad de escudos gaseosos. Una mezcla popular en Norteamérica es 90% helio, 7.5% argón y 2.5% CO<sub>2</sub>; pero en Europa, el helio es bastante caro y se

usa ampliamente una mezcla de 90% argón, 7.5% helio y 2.5% CO<sub>2</sub>. Cualquiera sea la combinación, el gas de protección debe contener al menos un 97.5% de gases inertes (argón, helio o mezcla de los dos). El dióxido de carbono no debe exceder el 2.5%, o la calidad de la soldadura y la resistencia a la corrosión podrán verse reducida.

### **SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO (SAW)**

En este proceso, el arco es mantenido entre el electrodo desnudo y la pieza. La función del flux en este proceso es proteger y estabilizar el arco y la soldadura; así como también controlar el acabado de esta. Este proceso está limitado a procedimientos en posiciones planas y por lo tanto no se hace una descripción detallada aquí.

## **OTROS PROCESOS DE SOLDADURA**

Los aceros inoxidable se pueden soldar con la mayoría de los procesos comerciales de soldadura; Los procesos por arco de plasma, electro escoria, haz de electrones, láser y fricción pueden ofrecer ventajas no obtenibles en los procesos de soldadura con electrodos, MIG y TIG, y deberían ser tenidos en cuenta para altas producciones o fabricaciones especiales. Ha habido recientes avances en la producción de alambres con alma rellena de decapante, que producen soldaduras de alta calidad, con una mayor eficiencia que la soldadura con electrodos recubiertos. Estos alambres huecos a menudo son más fáciles de producir con composiciones especiales o rangos de ferrita, que el alambre sólido, ayudando así a realizar procesos específicos con características muy especiales.

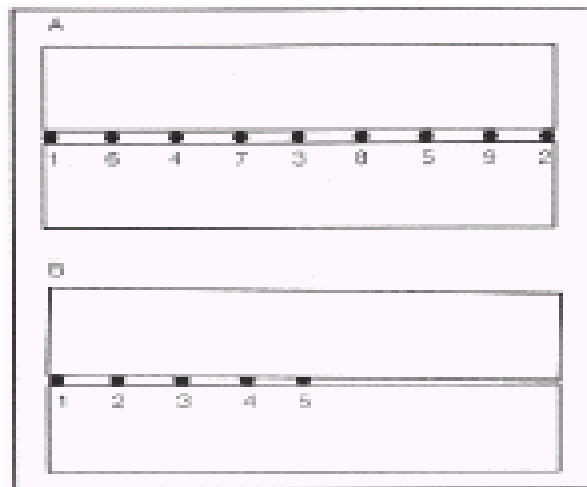
Hay decapantes comerciales disponibles para usar con metales de aporte fabricados para proceso de soldadura tipo MIG. Los procesos por arco de plasma, electro escoria, haz de electrones, láser y fricción se están usando cada vez con mayor frecuencia; y los procesos de soldadura por resistencia, por punto, costura, proyección y flash se pueden adaptar fácilmente a la soldadura de los aceros inoxidable, en algunos casos donde el acero puede ser atacado por la corrosión debe preverse un gas inerte que proteja el proceso, dependiendo del tipo de este y la calidad requerida de la soldadura se usará un gas noble mas, o menos puro. Los aceros inoxidable se pueden soldar entre sí y también a algunos metales por

el proceso de bronceado, este no se usa normalmente cuando la unión estará expuesta a ambientes corrosivos severos, pero hay procesos industriales y alimenticios donde el bronceado provee propiedades adecuadas.

La soldadura oxiacetilénica no se recomienda para aceros inoxidable ya que los óxidos de cromo que se forman en la superficie hacen que este tipo de soldadura sea dificultosa; sin embargo, lo más importante es el cuidado extremo que se necesita en la soldadura para evitar reducir la resistencia a la corrosión del cordón y el área adyacente, debido a los carburos que ingresan en el proceso por las altas temperaturas que no son fáciles de manejar en este proceso.

- **Punteado De La Junta A Soldar.** Las juntas no soportadas o no arriostradas, se deberán puntear para mantener una alineación y espaciado uniforme, los puntos se deberán hacer en un orden tal que no queden en forma consecutiva para minimizar el efecto de contracción. Para realizar la preparación de dos chapas, se deberán hacer dos puntos en cada extremo de la chapa, y luego una en el medio, tal como se muestra en la Figura 5 (A). La Figura 5 (B) muestra cómo se acercan las chapas cuando los puntos se realizan desde un extremo hacia el otro y no se tiene en cuenta lo descrito anteriormente. La secuencia correcta de puntadas se muestra en A. Cuando los puntos se realizan sólo desde un lado, los bordes se juntan, como se muestra en B.

Figura 5



Los puntos de soldadura en el acero inoxidable deberán estar considerablemente más juntos que lo que sería necesario para el acero al carbono, dado que una expansión térmica más grande del acero inoxidable causa mayor distorsión. Una guía aproximada es usar la mitad de la distancia que se usa en el acero al carbono, cuando la distorsión sea un factor importante. La longitud de las puntadas de soldadura deberán ser tan cortas como 3 mm, o un pequeño punto de soldadura para materiales finos, y hasta 25 mm de longitud para placas gruesas.

Lo que es más importante, es que los puntos no causen defectos en la soldadura final. Las puntadas gruesas o muy altas deberán ser esmeriladas. El tamaño de los puntos se controlan más fácilmente con el proceso TIG, siendo una buena elección utilizar este proceso para realizarlos. Aquellos puntos que se incorporen a la soldadura final deberán ser limpiados con cepillo o esmerilados y se deberán inspeccionar para comprobar que no tengan rajaduras o definitivamente

eliminarlos por esmerilado, el proceso de soldadura debe iniciarse desde el centro de la unión hacia el extremo para que la distorsión que pueda surgir no se enfrente con el cordón que se está procesando.

## 9. LIMPIEZA Y PREPARACION DE LA SOLDADURA

El área a soldar que debe ser limpiada incluye los bordes de la junta y 50 a 75 mm de la superficie adyacente. Una limpieza inapropiada puede causar defectos en la soldadura tales como fisuras, porosidad o falta de fusión; La resistencia a la corrosión de la soldadura y de la zona afectada por el calentamiento se puede reducir sustancialmente si se deja material extraño en la superficie antes de la soldadura o al realizar una operación de calentamiento. Después de limpiadas las juntas, estas deben ser cubiertas, a menos que se realice inmediatamente la soldadura.

- **Oxido y Otras Capas Superficiales.** Las juntas a ser soldadas deberán estar libres de los óxidos superficiales que quedan frecuentemente después del corte por métodos térmicos. Estos óxidos están formados preponderantemente por compuestos de cromo y níquel, los cuales se funden a una temperatura mucho mayor que el metal de base, y por lo tanto no se funden durante la soldadura. A menudo una capa de óxido queda atrapada en la soldadura, resultando en un defecto que es dificultoso detectar por radiografía. Esto es una diferencia básica con la soldadura del acero ordinario. Con el acero, los óxidos de hierro funden a casi la misma temperatura que el metal de base. Si bien se considera mala práctica soldar sobre una capa de óxido en acero, esto no presenta el problema causado por los óxidos en el acero inoxidable. Las diferencias entre

las temperaturas de fusión del metal y sus óxidos se presentan en la Tabla 14, que muestra la temperatura de fusión de metales y óxidos.

Tabla 14.

<b>Metal</b>	<b>Temperatura de fusión (°C)</b>	<b>Oxido metálico</b>	<b>Temperatura de fusión (°C)</b>
hierro	1537	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1565
Niquel	1454	NiO	1982
AISI 304	1400 - 1454	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2266

Los productos de acero inoxidable forjados despachados por las acerías, normalmente están libres de óxidos y no necesitan tratamiento especial antes de ser soldados, ya que cualquier capa de óxido será fina y no causará inconvenientes en la soldadura. Con metales muy finos, tales como cinta por debajo de 0.25 mm, puede ser necesaria una limpieza especial con vapor, dado que capas finas de óxido superficial pueden quedar atrapadas en la soldadura que se solidifica muy rápido. Los aceros inoxidables que han estado en servicio, a menudo requieren una limpieza especial; Si la aleación ha estado expuesta a altas temperaturas, la superficie estará fuertemente oxidada, carburizada o sulfurizada; Estas capas deben ser eliminadas mediante esmerilado o maquinado ya que la limpieza con cepillos de alambre no remueve los óxidos firmemente adheridos. El equipamiento de acero inoxidable que ha estado en servicio químico, puede estar contaminado por el producto. Un buen ejemplo es un medio cáustico, que si se deja en la superficie durante la soldadura, la misma y la zona calentada



desarrollarán fisuras. Es una práctica recomendable neutralizar los residuos alcalinos con una solución medianamente ácida y los ácidos con una solución medianamente alcalina, antes de proceder a la reparación de equipos que hayan estado en contacto con elementos químicos. Al tratamiento neutralizador debe seguir siempre un lavado con agua caliente para eliminar los residuos.

- **Elementos Contaminantes.** Hay un número de elementos y compuestos que deben ser eliminados de la superficie antes de la soldadura. Si no se sacan, el calor de la soldadura puede causar fisuras, defectos de soldadura o disminución en la resistencia a la corrosión en la soldadura y en la zona afectada por el calor. Los elementos a ser evitados y su fuente común son:
  - Azufre, carbono, que pueden ser inducidos por hidrocarburos formados por fluidos de corte, grasa, aceite, ceras e imprimantes o pinturas.
  - Azufre, fósforo, carbono: pueden ser inducidos por crayones para marcar y pinturas.
  - Plomo, zinc, cobre inducidos por Herramientas tales como martillos, barras de respaldo de cobre, pinturas ricas en zinc.
  - Algunos de estos y otros elementos pueden ser inducidos por suciedad del taller.

La presencia de azufre, fósforo y metales de bajo punto de fusión pueden causar fisuras en la soldadura o en la zona afectada por el calor. El carbono o materiales carbonosos dejados en la superficie antes de la soldadura, pueden ser incluidos en la misma, resultando en una capa superficial con alto carbono, que puede reducir la resistencia a la corrosión en determinados ambientes. La limpieza para eliminar estos contaminantes se puede realizar siguiendo unas pocas recomendaciones, junto con el sentido común. Los contaminantes metálicos y materiales que no tengan una capa de grasa, se pueden eliminar mediante un pulido o limpieza con chorro de arena. Es esencial que los elementos que se usen para este tratamiento no estén contaminados con hierro de operaciones anteriores. Un tratamiento con ácido nítrico, seguido de una neutralización, puede también eliminar metales de bajo punto de fusión, sin afectar al acero inoxidable. Los contaminantes a base de aceite o grasa (hidrocarburos) deben ser eliminados mediante limpieza con solventes, debido a que no son eliminados mediante tratamiento ácido o con agua. Los trabajos grandes se limpian normalmente mediante paños saturados con solvente. Otros métodos aceptables incluyen inmersión, trapeado o pulverizado con soluciones alcalinas, emulsiones, solventes, detergentes o una combinación de éstos, vapor con o sin un limpiador, o por agua a alta presión. La norma ASTM A380, que se refiere a los procedimientos para limpieza y decapado de equipos de acero inoxidable, es una guía excelente para fabricantes y usuarios.

Un procedimiento típico para eliminar aceites o grasas incluye:

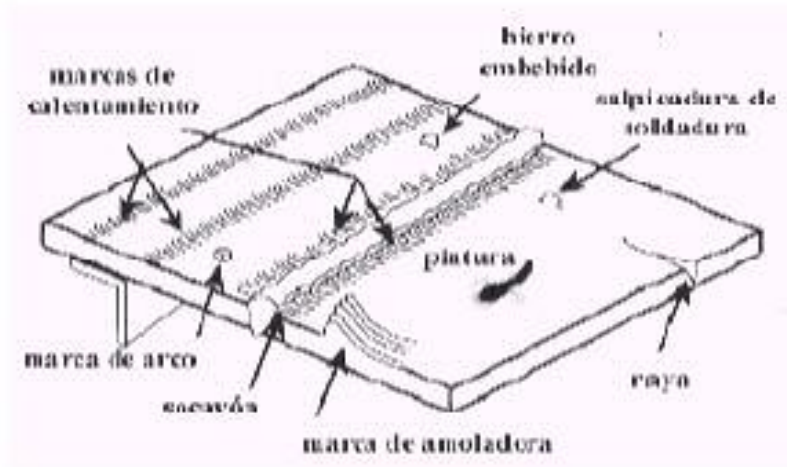
- Eliminar el exceso de contaminante por limpieza con un trapo limpio
- Limpiar el área a soldar (por lo menos 50 mm a cada lado de la soldadura) con un solvente orgánico, tales como solventes alifáticos, clorados (ver precauciones más abajo) o mezclas de los dos. Usar únicamente solvente limpio y trapos sin uso previo.
- Se deben eliminar los solventes secándolos con trapo limpio
- Asegúrese de la completa limpieza. Un residuo en el trapo de secado puede indicar limpieza incompleta. Donde el tamaño lo permita, utilizar el test del rompimiento de la película de agua. La selección de los solventes para limpieza involucra algunas consideraciones, aparte de su habilidad para eliminar grasas o aceites, dos precauciones que se deben seguir son:
  - Solventes clorados: Muchos solventes comerciales contienen cloro y son efectivos en la limpieza de partes maquinadas y componentes libres de fisuras. El problema potencial con solventes clorados es que pueden permanecer y concentrarse en fisuras, y más tarde iniciar procesos de corrosión por rendijas o por stress. Cuando existen grietas en el área a limpiar no deben usarse solventes clorados. Los solventes no clorados se prefieren para la limpieza del acero inoxidable, y se debe usar siempre en la limpieza de equipos y piezas con ranuras. Ha habido innecesarias y costosas fallas en el acero inoxidable de intercambiadores de calor después de limpiarlos con estos, por otro lado se debe tener especial cuidado en el uso de estos solventes y deben ser utilizados en áreas abiertas, pues existen riesgos para la salud incluidos carcinógenos, agentes tóxicos, irritantes, corrosivos, sensibilizantes y cualquier

agente que dañe los pulmones, piel, ojos o la mucosa de las membranas. Cada Organización debe asegurar que los solventes que utiliza no son peligrosos para el personal o equipo. Además del efecto tóxico, se debe prever el venteo de vapores explosivos, y la evacuación segura de las soluciones usadas. Obviamente estos procedimientos deberán estar de acuerdo con las disposiciones de los organismos ambientales y estatales. Los solventes utilizados en la limpieza previa de las soldaduras incluyen, pero no están limitados a productos como tolueno, metil etil cetona, y acetona en los no clorados y tricloroetano en los clorados. Se deben seguir los requisitos, las normas regulatorias y las instrucciones del fabricante para una correcta utilización del producto.

- **Procedimientos De Limpieza De Post-Fabricación.** Muy a menudo se supone que el producto, ya sea un tanque, un recipiente a presión, la junta de un tubo, etc., está listo para el servicio después de que se haya realizado la última soldadura. La limpieza después de la fabricación debe ser tan importante como cualquiera de los pasos discutidos anteriormente. La condición superficial de los aceros inoxidables es crítica, bien cuando el producto no debe ser contaminado (plantas farmacéuticas, alimenticias o nucleares), o cuando el acero debe resistir ambientes agresivos, tales como en plantas de procesos químicos. Las condiciones superficiales que pueden reducir la resistencia a la corrosión se pueden agrupar en cuatro categorías: contaminación superficial, incrustaciones de hierro, daño mecánico, o defectos

relacionados con la soldadura tales como salpicaduras, quemaduras y rayaduras, por inicios fuera del área a soldar. La *Figura 6* ilustra algunas de las condiciones más comunes.

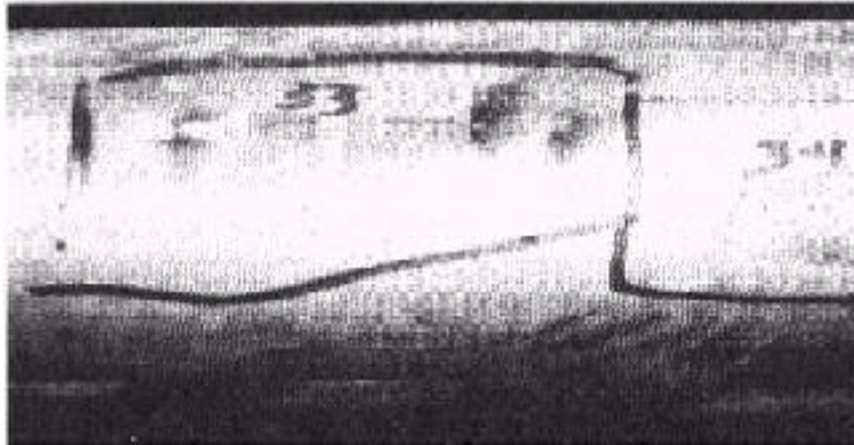
Figura 6



- **Contaminantes Superficiales.** En ambientes agresivos, los contaminantes orgánicos sobre las superficies de acero inoxidable pueden favorecer la corrosión por rendijas. La Figura 7 muestra marcas de corrosión por rendijas (en el área marcada 33) en un tanque de acero inoxidable. Las marcas se formaron donde no se limpiaron las marcas de crayón antes de que el tanque fuera puesto en servicio. La superficies a ser decapadas o tratadas con ácido deben estar libres de contaminantes orgánicos para que el ácido sea efectivo en remover la contaminación por hierro, óxidos superficiales o condiciones similares. Debido a que poco se puede hacer durante la fabricación para reducir la contaminación orgánica, el fabricante lo debe hacer durante la limpieza final.

Figura 7.

*- Corrosión en ranura que ocurrió cuando las marcas de crayón no fueron limpiadas, en un recipiente de acero inoxidable*

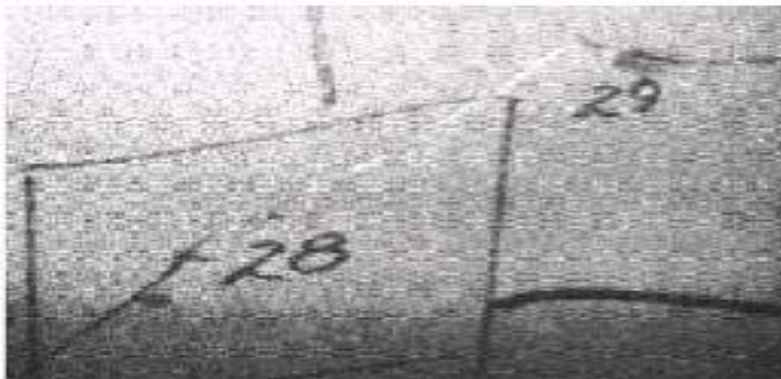


- **Detección.** La inspección visual se utiliza normalmente para detectar la contaminación orgánica, mientras que se puede usar un trapo o papel para la detección de aceite o grasa.
- **Remoción.** El desengrasado, utilizando un solvente no clorado, es efectivo. La prueba de rotura de la película de agua es una manera simple de juzgar la efectividad del desengrasado. Una fina cortina de agua, aplicada con una manguera sobre la pared del recipiente, se romperá alrededor de las superficies contaminadas con grasa o aceite. El desengrasado se deberá repetir hasta que la película de agua deje de romperse. Los solventes clorados

no se recomiendan debido a los restos de cloruros que pueden permanecer y causar procesos de corrosión cuando la unidad sea puesta en servicio.

- **Hierro Embebido.** Algunas veces, los tanques o recipientes se oxidan poco tiempo después que son despachados. Esto se debe a partículas de hierro embebidas en la superficie durante el proceso de fabricación. Las partículas de hierro se corroen en el aire húmedo o cuando son mojadas, dejando marcas de óxido. Además de ser desagradables a la vista, las partículas más grandes de hierro embebido pueden iniciar procesos de corrosión por rendijas en el acero inoxidable subyacente. La Figura 8 muestra corrosión en varios puntos a lo largo de un rayón, donde se han incrustado partículas de hierro. En ambientes extremadamente corrosivos, la corrosión por rendijas iniciada por grandes partículas de hierro embebido, pueden llevar a fallas por corrosión, que de otra manera no hubieran sucedido. En las industrias farmacéuticas, alimenticias y de otros procesos en los cuales el acero inoxidable se usa principalmente para prevenir la contaminación del producto, el hierro embebido no puede ser tolerado. Figura 8.

*Una raya profunda hecha durante la fabricación, sirvió como iniciadora de la corrosión en este recipiente.*



- **Detección Del Hierro Embebido.** La prueba más simple para la detección del hierro embebido es mojar la superficie con agua limpia y dejar que se escurra el exceso. Después de 24 horas, se inspecciona la superficie para detectar manchas de óxido. Esta es una prueba muy simple, que cualquier taller puede realizar. Para asegurar la ausencia de hierro embebido, esta prueba debe ser especificada en los documentos de fabricación.

Una prueba más sensible se obtiene mediante el uso del ferroxilo. La solución se prepara mezclando los siguientes ingredientes:

Ingrediente	%	Cantidad (volumen o peso)
Agua destilada	94	1.000 cm <sup>3</sup>
Acido nítrico, 60-67%	3	30 cm <sup>3</sup>
Ferrocianuro de potasio	3	30 g

La solución se aplica mejor mediante un rociador. La contaminación con hierro se indica por la aparición de un color azul después de pocos minutos. La profundidad del color es un indicador del grado de contaminación. La solución debe ser limpiada después de algunos minutos mediante agua o un paño húmedo. La prueba del ferroxilo es muy sensible y se puede aplicar tanto en el taller como durante el montaje. Se puede entrenar al personal para realizarla en unas pocas horas. Esta prueba generalmente se requiere para equipos de acero inoxidable



utilizados en plantas farmacéuticas, alimenticias, nucleares, al igual que para equipos de proceso en industrias químicas. Una excelente guía básica para estas pruebas es la norma ASTM A380, "Standard Recommended Practice for Cleaning and Descaling Stainless Steel Parts".

- **Remoción Del Hierro Embebido.** El decapado, que a menudo se realiza después del desengrase, es el método más efectivo para eliminar al hierro embebido. En el decapado, una capa superficial menor que 0.025 mm se elimina por corrosión, normalmente con un baño ácido de nítrico / fluorhídrico a 50 °C. El decapado no sólo elimina la contaminación por hierro y otros metales, sino que deja la superficie brillante y limpia, y en su condición más resistente. Dado que el decapado es una corrosión controlada y generalizada, se prefiere utilizarla en los aceros inoxidables de bajo carbono o estabilizados. El proceso puede iniciar corrosión intergranular en la zona afectada por el calor, en los grados no estabilizados. Debido a que el decapado es agresivo, destruirá las superficies pulidas o brillantes. Usando ácido nítrico solo, se eliminará la contaminación de hierro superficial, pero no las partículas que estuvieran más profundas. Al tratamiento con ácido nítrico solo se lo llama también *pasivado*. Esto puede dar lugar a malas interpretaciones, dado que la superficie decapada también se pasiva cuando entra en contacto con el aire. Los objetos pequeños se decapan mejor por inmersión. Las tuberías, ducterías, cañerías, tanques y recipientes demasiado grandes para ser sumergidos, se pueden tratar haciendo circular la solución dentro de ellos. Normalmente se contrata a

empresas especializadas para realizarla. Cuando la prueba del ferroxilo muestra pequeñas zonas con hierro embebido, se pueden eliminar mediante aplicación local de pasta de nítrico / fluorhídrico. Para tanques grandes, llenarlos hasta una altura de 150 mm para decapar el fondo, y eliminar localmente el hierro embebido en las paredes, es también una alternativa práctica a circular la solución decapante a través de ellos. Cuando el decapado no es práctico, se puede usar el sand blasting o limpieza con chorro de arena, pero no todos los abrasivos dan buenos resultados. El blastinado con esferas de vidrio produce buenos resultados, pero antes de hacerlo se debe realizar una prueba para determinar si eliminará la contaminación superficial. También se deberán realizar pruebas periódicas para ver qué cantidad de esferas se pueden volver a utilizar antes de que comiencen a recontaminar la superficie. Las cáscaras de nuez también resultan buenas como abrasivo. El blastinado abrasivo con trozos de acero o arenisca, generalmente no dan resultados satisfactorios, debido al riesgo que se corre de contaminación con hierro. Además, el blastinado con arenisca deja una superficie muy rugosa, que hace al acero inoxidable susceptible de corrosión por rendijas, ya sea que la superficie esté o no libre de hierro. El arenado también debe ser evitado cuando sea posible, aún cuando se utilice arena nueva libre de hierro.

- **Daño Mecánico.** Cuando una superficie ha sido dañada y se requiere su reacondicionamiento, la reparación se realiza normalmente mediante amolado, o soldadura y amolado. Los defectos superficiales se eliminan primero por

amolado, preferiblemente con un disco abrasivo limpio de grano fino. La máxima profundidad de amolado para eliminar defectos a menudo se especifica en las normas de fabricación, y pueden variar entre el 10 y 25% del espesor total. Cuando se necesita una reparación por soldadura, se puede hacer mediante cualquiera de los procesos ya mencionados, pero se prefiere la TIG debido a la facilidad en la realización de pequeñas soldaduras. Siempre se debe agregar metal de aporte, y nunca se deberán permitir soldaduras "cosméticas" debido al riesgo que se corre de grietas en las soldaduras y resistencia a la corrosión disminuida.

- **Preparación Para La Soldadura.** Los aceros inoxidables deben ser manejados con un poco más de cuidado que los aceros ordinarios, en el corte y montaje. El cuidado que se tome en la preparación para la soldadura será tiempo bien usado, lo que incrementará la calidad de la soldadura y la terminación del producto, lo cual dará un óptimo rendimiento en servicio.
- **Corte y Preparación De Las Juntas.** Con excepción del corte oxiacetilénico, el acero inoxidable puede ser cortado con los mismos métodos utilizados para el acero al carbono. El corte oxiacetilénico resulta en la formación de óxidos de cromo refractarios, que impiden un corte preciso y parejo. El espesor y la forma de las partes a ser cortadas o preparadas para la soldadura, son los que dictan cuáles de los métodos que se muestran en la Tabla 4 serán los más apropiados.

**Tabla 4**  
**Métodos de corte de Acero Inoxidable**

<b>Método</b>	<b>Espesor</b>	<b>Comentario</b>
Guillotina	Láminas, cintas, placas finas	Preparar el borde expuesto al ambiente para eliminar rendijas
Corte por sierra y abrasivo	Amplio rango de espesores	Eliminar lubricantes o líquidos de corte antes de la soldadura o tratamiento térmico
Maquinado	Amplio rango de formas	Eliminar lubricantes o líquidos de corte antes de la soldadura o tratamiento térmico
Corte con arco de plasma	Amplio rango de espesores	Amolar las superficies cortadas para limpiar el metal
Corte con polvo metálico	Amplio rango de espesores	Corte menos preciso que con plasma, se deben eliminar todas las escorias
Corte por arco de grafito	Usado para acanalar la parte de atrás de soldaduras y cortar formas irregulares.	Amolar las superficies cortadas para limpiar el metal

## 10. TIPOS DE JUNTAS RECOMENDADOS

- **Diseño De Las Juntas.** El diseño de juntas utilizadas para acero inoxidable, es similar a las de los aceros ordinarios, razón por la cual el diseño de la junta seleccionada debe producir una soldadura de resistencia apropiada y desempeño en servicio, manteniendo bajos los costos. Las soldaduras a tope deberán ser con penetración completa, para servicio en atmósferas corrosivas. Los filetes de soldadura no necesitan tener penetración completa, siempre que se suelden ambos lados y las puntas para evitar espacios vacíos que puedan juntar líquido y permitir la corrosión por rendijas. Un ejemplo es la conexión de secciones de tubería mediante filetes de soldadura, la cual deja una rendija grande en el interior del diámetro, lo que favorece una corrosión por rendijas y microbiológica. Este diseño debe ser prohibido en toda construcción de tuberías de acero inoxidable, para todo servicio.

**El acero inoxidable** fundido de la soldadura es bastante menos fluido que el acero al carbono, y la profundidad de la penetración de la soldadura no es tan grande, es por eso que para compensar, las juntas de soldadura en acero inoxidable deberán tener un chaflán y un espacio para la pasada de raíz más anchos. El proceso de soldadura también influencia el diseño de junta óptimo, por ejemplo la soldadura MAG por spray de arco, da una penetración mucho más profunda que la MAG por cortocircuito. El diseño de juntas típico para la soldadura de chapas y planchas se muestran en las Figuras 9 a 13. El diseño

típico para juntas de tubos con soldadura MIG, ya sea con o sin insertos consumibles, se muestran en las figuras 14 y 15. Los insertos de anillos consumibles se usan ampliamente, y se recomiendan para una penetración adecuada.

Figura 9

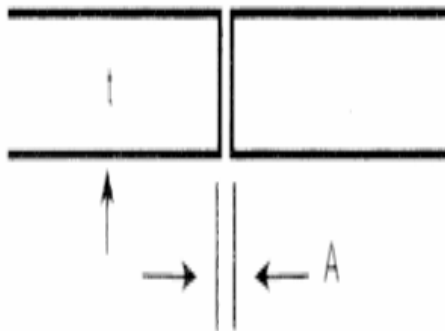
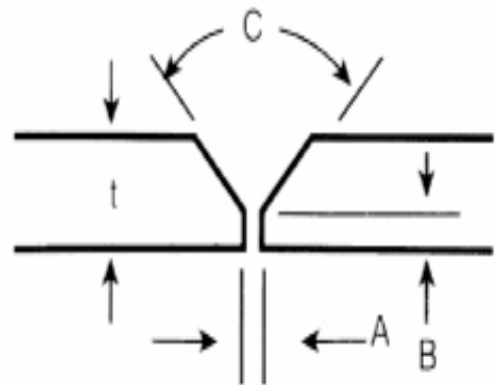


Figura 10



:

Junta para soldadura a tope de chapas y placas  
 $t$  máximo = 3.2 mm  
 $A = 0.8 - 2.3$  mm  
 $12.7$  mm  $A = 0.8 - 2.4$  mm  
 $C = 60$  a  $80^\circ$

Junta en "V" para chapas y placas  
 $t$  máximo =  
 $B = 1.6 - 2.4$

Figura 11

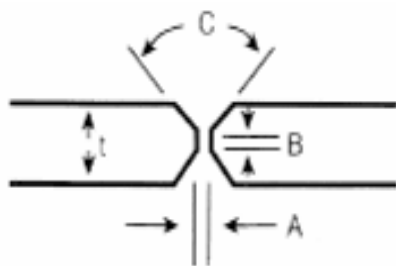
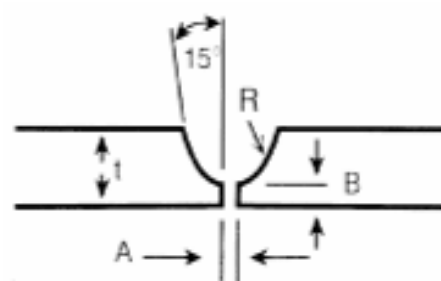


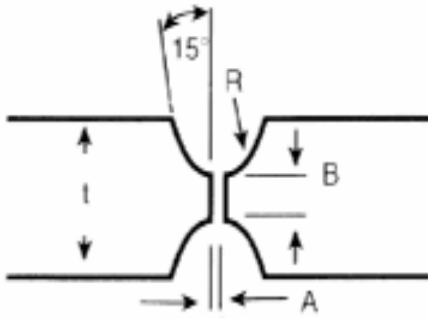
Figura 12



Junta doble "V" para placas  
 $t = 12.7$  mm o mayor  $A = 0.8 - 2.4$  mm  
(mm)  $B = 1.6 - 2.4$  mm  $C = 60$  a  $80^\circ$   
 $R = 6.4$  mm mín.

Junta "U" para placas  
 $t = 19$  mm y más  $A = 1.6$  mín- $3.2$  máx.  
 $B = 1.6 - 2.4$

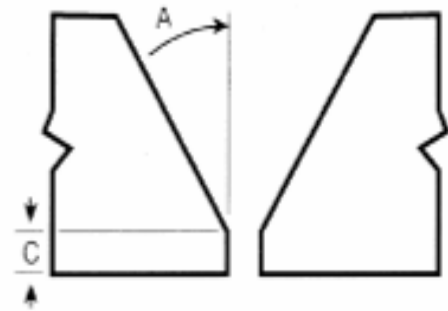
Figura 13



Junta doble "U" para placas tuberías

$t = 19 \text{ mm}$  y más  $A = 1.6 \text{ mm}$  mín. -  $3.2 \text{ mm}$   
 $1.8 \pm 0.9 \text{ mm}$   
 $B = 1.6 \text{ a } 2.4 \text{ mm}$   $R = 6.4 \text{ mm}$  mín.

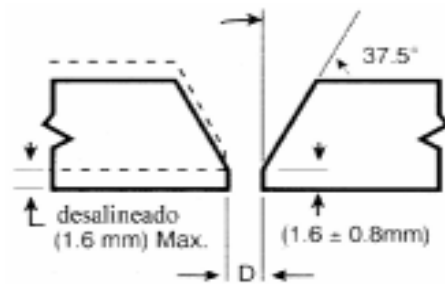
Figura 14



Junta para

Aporte tipo alambre  
 $A = 37.5 \pm 2.5^\circ$   $C =$

Figura 15



Junta para tubería (Para electrodo)  $D <$  diámetro del metal de aporte

$D >$  diámetro del metal de aporte para el método de alimentación continua

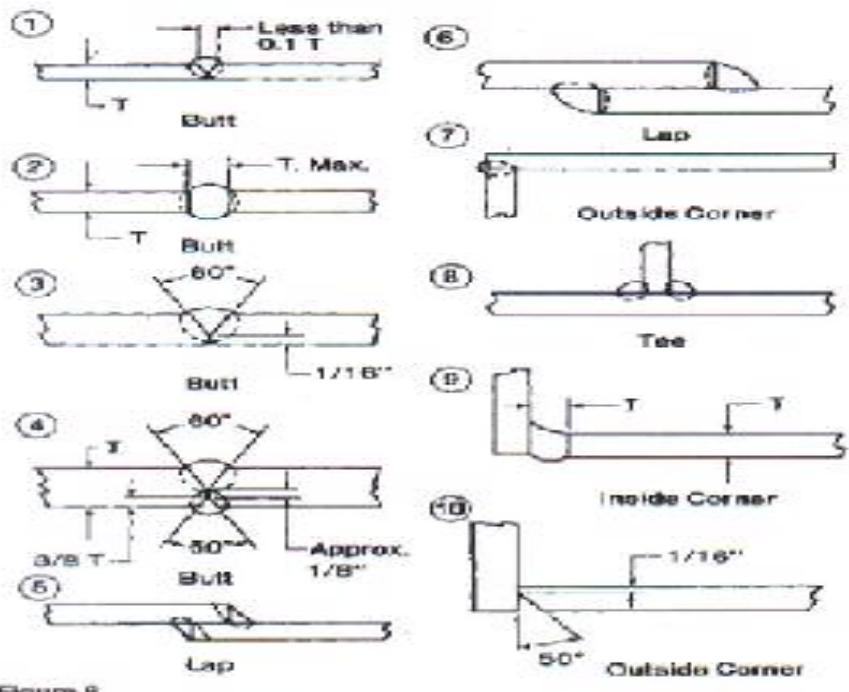
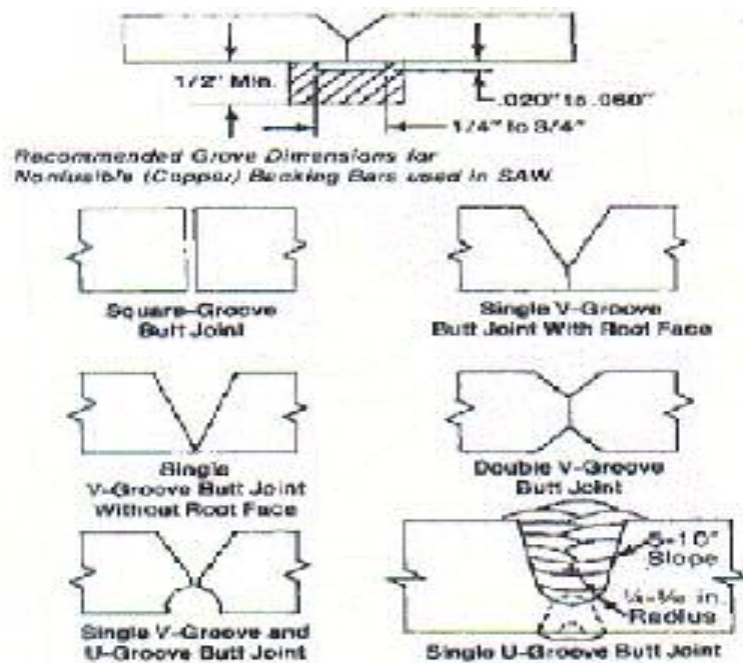
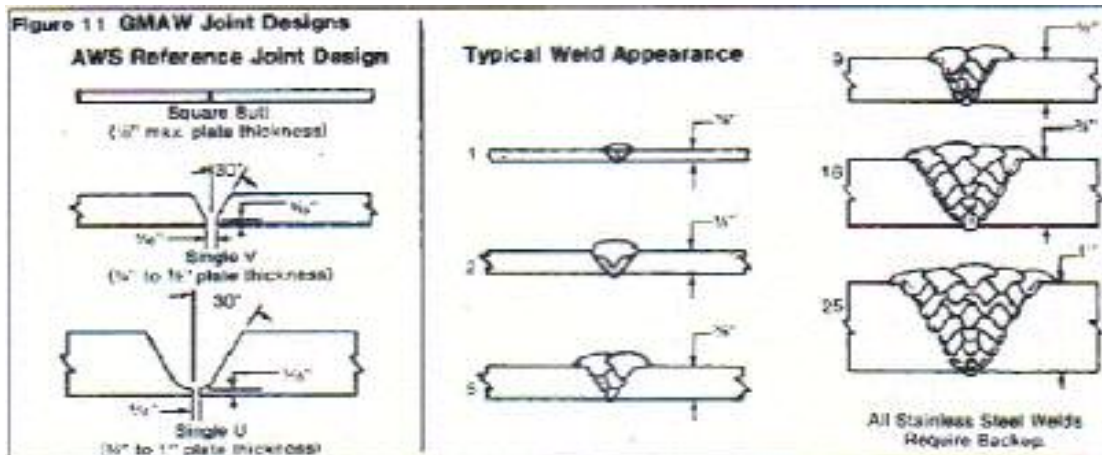


Figure 8  
Typical Joint Designs for GTAW





**Figure 15**  
**Butt Joint Designs for SAW**

## 12. NORMAS TECNINAS EXISTENTES PARA EVALUACION Y CONTROL DE LOS PROCESOS

- **Calificación Para Soldadura.** Es una práctica normal para los fabricantes de equipos de proceso desarrollar o mantener especificaciones para procedimientos de soldadura, para los distintos tipos. Los operarios soldadores se prueban y certifican mediante la realización de soldaduras de calidad aceptable. Hay un número de códigos de Sociedades Industriales que gobiernan las calificaciones para la soldadura. Los dos más usados en Estados Unidos para equipos resistentes a la corrosión son:
  - American Society of Mechanical Engineers, ASME, Boiler and Pressure Vessel Code - Sección IX, Welding and Brazing Qualifications;
  - American Welding Society, AWS, Standard for Welding Procedure and Performance Qualification - AWS B2.1

Internacionalmente, cada país tiene sus propias normas o códigos individuales. Afortunadamente, hay una tendencia hacia la aceptación o intercambio de especificaciones, en el interés de eliminar recalificaciones no deseadas. Común a estos códigos es la identificación de variables esenciales que establecen cuándo

se requiere un nuevo proceso de calificación. Las variables esenciales difieren para cada procedimiento de soldadura, pero algunos ejemplos comunes pueden ser:

- cambio en el metal de base a ser soldado (número P)
- cambio en el metal de relleno (número F)
- cambio significativo en el espesor a ser soldado
- cambio en el gas inerte utilizado
- cambio en el proceso de soldadura utilizado

La Sección IX de la Norma ASME de clasificación de números P, a menudo determina si se necesita una nueva Especificación de Proceso de Soldadura. Un cambio de número P a otro en el mismo metal de base requiere una recalificación. También las juntas entre dos metales distintos de diferentes números P requieren una Especificación de Proceso de Soldadura separada, aún cuando las pruebas de calificación hayan sido hechas para cada uno de los metales base soldados entre sí. Los números P son:

<b>Número P</b>	<b>Metal de Base</b>
<b>8</b>	<b>Aceros inoxidable austeníticos en la Tabla VI, desde el tipo 304 hasta el 347 y la aleación 254 SMO, más las fundiciones similares a la CF de la Tabla VII</b>
<b>10H</b>	<b>Aceros inoxidable dúplex, incluidas las aleaciones 255 y 2205, y las fundiciones CD 4Mcu</b>
<b>45</b>	<b>Aleaciones 904L y 20Cb-3 y aleaciones de molibdeno al 6% de la Tabla VI, excepto la aleación 254 SMO</b>

No se ha asignado a todas las aleaciones un número P. Las aleaciones que no tengan un número requieren una calificación individual, aún cuando se haya calificado para aleaciones similares en composición. Si una aleación no está listada en la Tabla de Números P, se deberá contactar al fabricante para determinar si a esa aleación se le ha asignado recientemente un número P.

## ENTRENAMIENTO DEL SOLDADOR

Para cumplir con las especificaciones para calificación en soldadura, tales como la ASME y ASTM, los soldadores deben pasar por una prueba de calificación. Un programa de entrenamiento previo no sólo es esencial antes de tomar las pruebas de calificación, sino que también aseguran la calidad en la ejecución de la soldadura. Los aceros inoxidable son tan diferentes de los aceros ordinarios en sus características, que se debe dar tiempo a los operarios para entrenamiento y práctica. Una vez que están familiarizados con los aceros inoxidable, muchos de ellos los prefieren. Los entrenamientos deben cubrir no sólo los diferentes metales de base y procesos de soldadura, sino también las formas a ser soldadas, tales como tubos o chapas finas, o soldaduras en posiciones poco usuales.

## SEGURIDAD Y HUMOS DE SOLDADURA

Las normas de seguridad para soldadura de aceros inoxidable son esencialmente las mismas que para todos los metales, y se refieren a tópicos tales como

equipamiento eléctrico, tipos de gases, protección de ojos y cara, protección contra incendios, etiquetado de materiales peligrosos, etc. Una buena guía de referencia sobre seguridad en soldadura es la norma ANSI / ASC, Z49.1-88, "Safety in Welding and Cutting", publicada por la American Welding Society.

La adecuada ventilación es importante para minimizar la exposición de los soldadores a los humos, en la soldadura y corte de todos los metales, incluyendo al acero inoxidable. Además de una buena ventilación, los soldadores deben evitar aspirar los humos que se desprenden del trabajo, posicionándolo de tal manera que su cabeza se encuentre fuera de la columna de humo. La composición de los humos de soldadura varía con el metal de aporte y el proceso. Las soldaduras por arco también producen gases como ozono y óxidos de nitrógeno. Se ha manifestado preocupación en la soldadura con consumibles de acero inoxidable y aceros de alta aleación debido al cromo, y en menor grado al níquel, presentes en los humos de soldadura. Una buena ventilación minimizará estos riesgos a la salud, pero también la alta ventilación afecta el proceso TIG que requiere que lo circundante al cordón específicamente se encuentre protegido de circulación fuerte de aire para no entorpecer la acción del gas inerte. El Instituto Internacional de Soldadura desarrolló una serie de hojas informativas para soldadores, que ofrecen sugerencias internacionalmente aceptadas para el control del humo.

## RECOMENDACIONES

Luego de haber analizado mucha información respecto a la soldabilidad de los aceros inoxidable; y debido a que la mayor parte de ella se encuentra plasmada en este trabajo que se ha tratado de hacer lo mas completo posible, nos permitimos recomendar las siguientes sugerencias u observaciones, además de las que se han incluido anteriormente, para ser tenidas en cuenta tanto por el operario soldador como el ingeniero, con el fin de obtener una alta calidad en el procedimiento de soldadura y también en su control de calidad.

Estas sugerencias u observaciones son las siguientes.

- Para obtener una radiografía clara es necesario que la superficie de la soldadura este libre de irregularidades. Debe removerse toda traza de suciedad, grasa o materia extraña por intermedio de decapado, desengrasado, mecanizado o amolado. Debe usarse exclusivamente cepillos de acero inoxidable elaborados con las mismas o mejores características del material a soldar, para evitar contaminación. El Oxicorte y el Arc-air utilizados para crear el bisel deja una capa de oxido la que debe ser removida por amolado antes de soldar.

- Para soldaduras en posición plana el electrodo debe mantener un ángulo de  $15^\circ$  y la parte superior inclinada en el sentido de avance. El arco debe mantenerse lo mas corto posible. Para soldadura vertical el electrodo debe mantenerse perpendicular a la chapa y usarse una leve oscilación en la pasada de raíz. Para soldadura sobre cabeza el depósito debe realizarse en cordones rectos y cortos. Debe mantenerse el arco corto y debe evitarse oscilación.
- Para una mejor resistencia a la corrosión el depósito debe realizarse con la intensidad de corriente mínima y con cordones rectos (sin peinado). Cordones rectos minimizan el Calor Aportado y reducen la tendencia a la fisuración. Si debiese utilizarse peinado este debe limitarse a 2,5 veces el diámetro del electrodo. Siempre se deben llenar los cráteres antes de cortar el arco.
- Una corriente muy baja producirá un arco inestable, acompañado de pegado del electrodo, interferencia de la escoria en el arco, excesivo salpicado (spattering) y una incorrecta forma del cordón. Un amperaje demasiado alto y/o un arco demasiado largo producirán un salpicado excesivo con pérdida de material, fisuras en el cordón, "Under-Cut", un bajo control de la pileta (Charco o gota), una dificultosa remoción de la escoria y una disminución de resistencia a la corrosión por pérdida de cromo.

- Una difícil remoción de la escoria puede ser causada también por contaminantes en el material base, soldaduras irregulares, absorción de humedad por el revestimiento y juntas demasiado angostas para permitir una penetración efectiva. Todas las soldaduras deben enfriarse algo antes de comenzar a removerse la escoria, por seguridad el soldador debe tener en cuenta que algunas veces la escoria salta espontáneamente.
- La fisuración en los Aceros Inoxidables puede ser causada por varios factores, incluyendo: Cráteres sin llenar – Un arco demasiado largo al comenzar y terminar una soldadura – Sobrecalentamiento de la pieza a soldar – Una excesivamente alta velocidad de avance – Un diseño de junta incorrecto – Elección de un electrodo incorrecto. La mayoría de las veces el problema estriba en una demasiada alta temperatura de la pieza o en cráteres sin llenar antes de cortar el arco.
- No se requiere una penetración profunda, ya que en el caso de Aceros Inoxidables estos están limpios y lisos y no se requiere una gran fuerza del arco para producir una buena penetración. Solo se necesita una suficiente penetración para sellar la raíz y el espacio entre la última pasada y el bisel. Mas penetración que esta puede causar problemas sin ofrecer ventajas.



- Fisuras descubiertas por RX deben evaluarse individualmente. El seguimiento del procedimiento de soldadura apropiado produce cordones lisos y densos donde la escoria puede removerse totalmente con facilidad, dejando una superficie limpia para recibir la pasada siguiente. Para asegurar la calidad radiográfica debe removerse toda la escoria y eliminarse las depresiones (por amolado si fuese necesario) antes de dar por terminada la soldadura.

## 14. CONCLUSIONES

Las consideraciones más importantes que se pueden obtener de este trabajo, son en cierta medida un conocimiento mas detallado del mundo de los aceros inoxidable y su comportamiento en la soldadura o soldabilidad; así como también el estado actual del desarrollo del mismo y su uso en las industrias.

De este conocimiento podemos destacar de los aceros inoxidable, los siguientes aspectos importantes.

- Los aceros Inoxidables solo son Inoxidables en medios oxidantes como lo es precisamente la atmósfera terrestre. Este hecho particular los hace parecer, erróneamente, universalmente Inoxidables.
- Los Aceros Inoxidables, desde el punto de vista de la corrosión, no se comportan como los metales nobles, tales como el oro plata, platino, realmente no son nobles, son reactivos, lo que ocurre es que la película de productos de la corrosión que se forma sobre la superficie, se adhiere tan fuertemente y es tan continua e impermeable, que lleva al material a un estado que se llama pasivo cuyo comportamiento frente a medios oxidantes y agresivos es similar al de los metales nobles.

- .Cuando se selecciona un Acero Inoxidable deben preverse exactamente las condiciones de servicio, cualquier pequeña variación por insignificante que parezca, tanto cuantitativamente como cualitativamente, puede producir fracasos, a veces espectaculares.
- Si bien el conocimiento teórico acerca de las causas de la Corrosión es mucho, tantas son las variables que intervienen en el comportamiento de los materiales que la previsión debe realizarse empíricamente por intermedio de modelos ensayados en diferentes situaciones, ya que la extrapolación de resultados muchas veces induce a errores
- Los tres grupos, martensíticos, ferríticos y endurecibles por precipitación se identifican también como aceros inoxidable, pero la fabricación y soldadura es bastante diferente de los grados austeníticos y dúplex. Cuando se discuten las técnicas de fabricación y soldadura, se debe identificar al grupo particular de acero inoxidable, de otra manera se pueden cometer gruesos errores. Por ejemplo, usar un procedimiento desarrollado para soldar un acero inoxidable austenítico en la soldadura de uno martensítico, podría resultar en soldaduras de baja calidad.