



177  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTTLAN**

**"SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO MANUAL DE  
ACEROS DISIMILES, UTILIZANDO MATERIAL DE  
APORTE BIFÁSICO"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

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

**MIGUEL ZAMORA CORDERO**

**ASESOR: M. EN I. SERGIO DE MORAES BENITEZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AUTONOMA DE  
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Soldadura por arco electrico manual de aceros disímiles, utilizando material de aporte bifásico".

que presenta el pasante: Zamora Cordero Miquel

con número de cuenta: 9036545-4 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

A T E N T A M E N T E.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 11 de octubre de 1999.

PRESIDENTE	ING. JOSE JUAN CONTRERAS ESPINOSA	<u>25/10/99</u>
VOCAL	M. EN I. HECTOR E. CURIEL REYNA	<u>28/10/99</u>
SECRETARIO	M. EN I. SERGIO DE MORAES BENITEZ	<u>20/10/99</u>
PRIMER SUPLENTE	ING. JESUS GARCIA LIRA	<u>25/10/99</u>
SEGUNDO SUPLENTE	M. EN C. TOMAS RANGEL ORTIZ	<u>25/10/99</u>

## AGRADECIMIENTOS

GRACIAS A MIS PAPAS, MARIA Y MIGUEL ANGEL Y A MIS HERMANOS ANGELICA Y ANGEL, POR TODO SU APOYO SOBRE TODAS LAS COSAS Y SU AMOR. A DIOS Y A MI GRANDIOSA UNIVERSIDAD.

AL H.M.M. Y A MIS PROFESORES, POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS; EN FORMA ESPECIAL, AGRADEZCO AL M.en I. ENRIQUE CURIEL REYNA Y A MI ASESOR, M en I. SERGIO DE MORAES BENITEZ , POR TODO SU APOYO Y DISPOSICIÓN PARA TRANSMITIRME SUS VASTOS CONOCIMIENTOS.

## INDICE

<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>CAPITULO I – MATERIALES FERROSOS</b>	
I.1 GENERALIDADES .....	4
I.2 PROPIEDADES DE LOS ACEROS .....	7
I.3 ESTRUCTURAS DE LOS ACEROS .....	9
I.4 EFECTO DE LOS ALEANTES .....	17
I.5 CLASIFICACION DE LOS ACEROS .....	21
1.5.1 ACEROS AL CARBONO .....	21
1.5.2 ACEROS ALEADOS .....	23
1.5.2.1 ACEROS DE BAJA ALEACION .....	23
1.5.2.2 ACEROS DE ALTA ALEACION .....	26
1.5.2.2.1 ACEROS HERRAMIENTA .....	26
1.5.2.2.2 ACEROS INOXIDABLES .....	30
<b>CAPITULO II – SOLDADURA DE LOS ACEROS</b>	
II.1 GENERALIDADES .....	35
II.2 SOLDADURA DE LOS ACEROS DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO .....	44
II.3 SOLDADURA DE LOS ACEROS DE MEDIO CONTENIDO DE CARBONO .....	45
II.4 SOLDADURA DE LOS ACEROS DE ALTO CONTENIDO DE CARBONO .....	48
II.5 LA SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE .....	50
II.5.1 SOLDADURA PARA UN ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO .....	51
II.5.1.1 CUAL ES EL EFECTO DE LA FERRITA .....	52

<b>CAPITULO III – PARTE EXPERIMENTAL</b>	
III.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	57
III.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	58
III.2.1 SELECCION DE ACEROS PARA LA INVESTIGACION .....	58
III.2.2 PREPARACION DE PROBETAS .....	59
III.2.3 APLICACION DEL CORDON DE SOLDADURA .....	60
III.2.4 ANALISIS METALOGRAFICO .....	63
<b>CAPITULO IV – PLANTEAMIENTO DE EXPERIMENTOS</b>	
IV.1 DESARROLLO DE EXPERIMENTOS .....	64
IV.2 ANALISIS Y DISCUSIONES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES .....	79
IV.3 CONCLUSIONES GENERALES .....	97
IV.4 INVESTIGACIONES FUTURAS .....	100
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	101

## INTRODUCCION.

Si bien era conocida y practicada, la soldadura alcanzó su enorme importancia en la industria de la Primera Guerra Mundial. En las calderas, recipientes a presión, tanques y miembros estructurales de puentes y edificios, suplantó al remachado casi en su totalidad; es el dispositivo principal para unir los paneles y los miembros en los cuerpos de los automóviles; ha reemplazado las fundiciones en una gran proporción de máquinas, aparatos y bases de accesorios, cuerpos y marcos; se transformó en el medio de unir al menos algunas partes de la mayoría de los productos fabricados en la actualidad. Una investigación mostró que entre las plantas que trabajan el metal, el 99% utilizan alguna clase de soldadura.

La soldadura de arco o soldadura eléctrica es el proceso de más amplia aceptación como el mejor, el más económico, el más natural y el más práctico para unir metales. En el proceso de soldadura manual por arco que es de uso común, el soldador obtiene un electrodo adecuado, sujeta el cable de tierra a la pieza de trabajo y ajusta la corriente eléctrica para "hacer saltar el arco", es decir, para crear una corriente intensa que salte entre el electrodo y el metal. En seguida se mueve el electrodo a lo largo de las líneas de unión del metal que ha de soldar, dando suficiente tiempo para que el calor del arco funda el metal.

El metal fundido, procedente del electrodo, o metal de aporte, se deposita en la junta y junto con el metal fundido de los bordes, se solidifica para formar una junta sólida.

Ahora bien, los metales ferrosos constituyen la espina dorsal de nuestro mundo industrial. La revolución industrial se basó en el hierro, el segundo metal en cuanto a su abundancia en la tierra, siendo el primero el aluminio. El hierro, en combinación con otros metales y elementos, se transforma en diferentes clases de acero. Las naves espaciales, las estructuras de los edificios industriales y comerciales, los puentes, las computadoras y los artefactos del hogar están todos compuestos, hasta un alto grado, de una o más clases de metales. En vista de que los metales se unen frecuentemente mediante uno o más de los procesos de soldadura, es importante que las personas relacionadas con el campo de la soldadura sepan lo que es un metal conozcan sus propiedades.

Todos los metales son soldables siempre que se aplique el procedimiento y la técnica adecuada. En ocasiones fracasa el intento de soldar metales porque se ha pasado por alto uno de estos dos factores, ya sea el procedimiento correcto o la técnica adecuada. Pero, si el ingeniero y el soldador comprenden la composición, la estructura y las propiedades de un metal, estarán en posibilidad de diseñar y hacer mejores soldaduras.

Esto pone de relieve la estrecha relación que existe entre la metalurgia de un metal y su soldabilidad o habilidad para dejarse soldar.

Resumiendo, existen una variedad de aceros y estos requieren procedimientos para soldarlos, la variedad de procedimientos, es descrito en esta investigación, al igual que sus propiedades. Pero en el caso de llevar a cabo la soldadura de aceros disímiles, es una interrogante importante.

Veamos el siguiente trabajo y saber ha que conclusiones se llegan al soldar 2 metales disímiles y saber que es lo más conveniente, de acuerdo a la investigación propuesta.

# CAPITULO. I

## MATERIALES FERROSOS

### I.1. GENERALIDADES.

El acero es el material con el que se ha construido nuestra civilización moderna. Su utilización es conocida desde hace algunos milenios, pero solamente se ha usado de forma masiva desde hace unos 100 años. Desde entonces, el acero ha mantenido su predominante posición entre todos los materiales y nada hace suponer que pueda perder esta privilegiada posición en el futuro. Aunque han aparecido otros materiales, principalmente el aluminio, plásticos y hormigón, competitivos a veces con el acero, éste se sigue consumiendo en mayor cantidad que el plástico y el resto de los metales en conjunto. Canadá utiliza anualmente casi 10 millones de toneladas de acero y los EE.UU., más de 100 millones de toneladas; probablemente la mitad de esta cantidad se destine a productos soldados. La gran versatilidad del acero explica su amplia utilización.

Los materiales ferrosos su matriz básica es el hierro (Fe, el metal original), que tiene cantidades variables de C. Los aceros generalmente son aleaciones de Fe y C con menos de 2% C; los hierros colados contienen de 2 a 4% C.

Dependiendo de las condiciones de enfriamiento y de los elementos aleantes, el carbono puede encontrarse principalmente en la forma combinada de carburo de hierro,  $\text{Fe}_3\text{C}$ , llamada cementita.

Si se toma como base el contenido de carbono, es práctica común dividir el diagrama hierro-carburo de hierro en 2 partes. Aquellas aleaciones que contienen menos del 2% $\text{C}$  se conocen como aceros y aquellas que contienen más del 2% $\text{C}$  se conocen como hierros fundidos o colados. El intervalo de acero se subdivide aún más basándose en el contenido de carbono eutectoide (0.8% $\text{C}$ ). Los aceros que contienen menos del 0.8% $\text{C}$  se llaman aceros hipoeutectoides, en tanto que los que contienen de 0.8 a 2.0% $\text{C}$  se llaman aceros hipereutectoides. El intervalo de hierro fundido también puede subdividirse por el contenido de carbono (4.3% $\text{C}$ ). Los hierros fundidos que contienen menos del 4.3% $\text{C}$  se conocen como hierros fundidos hipoeutéticos, en tanto que los que contienen más del 4.3% $\text{C}$  se llaman hierros fundidos hipereutéticos, pero por ahora en el presente trabajo sólo se hablara de los aceros que nos importa y dejaremos a un lado a los hierros fundidos.

Los aceros al carbono puro (aleaciones de  $\text{Fe}$  y  $\text{C}$ ) representan sólo una fracción muy pequeña de los aceros usados hoy en día. La mayoría de los aceros están aleados con una variedad de elementos. [1,2,5,10,12]

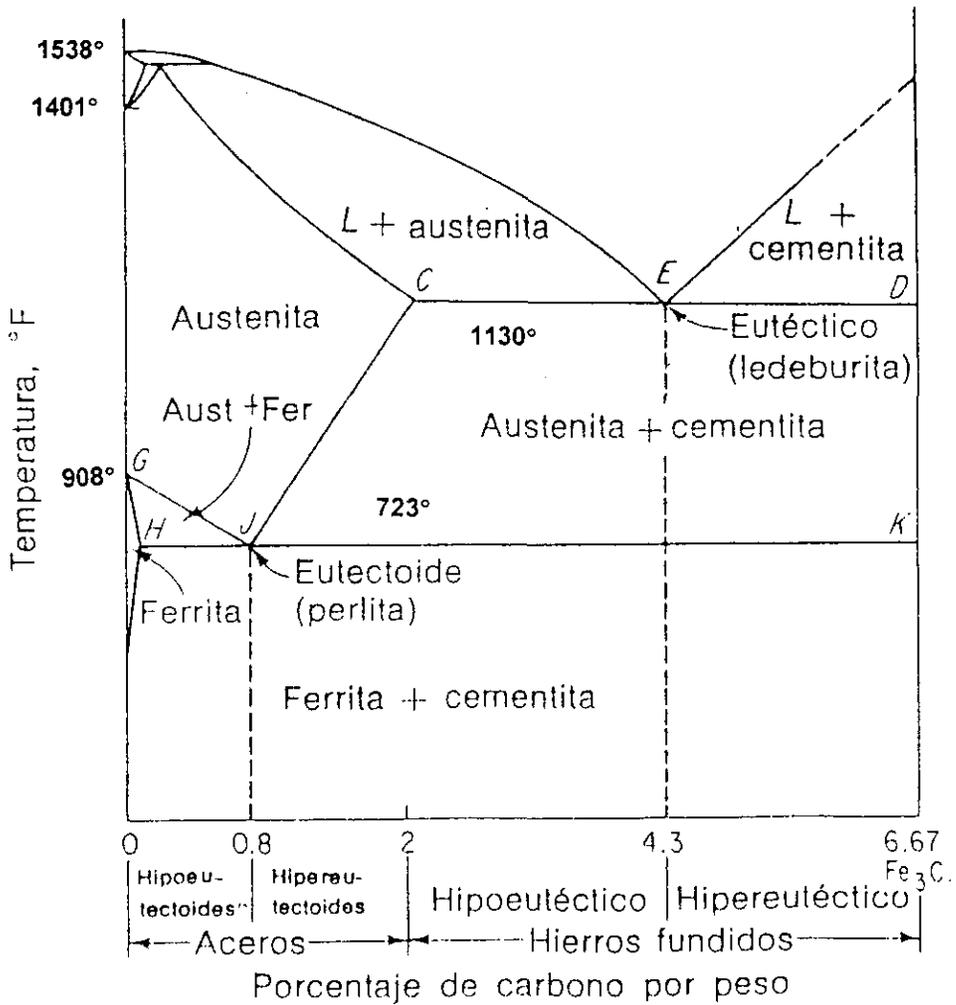


Figura I.1. Diagrama de equilibrio hierro – carburo de hierro marcado con los nombres comunes para las estructuras.

## **I.2. PROPIEDADES DE LOS ACEROS.**

Las principales propiedades de los aceros son las que se mencionan a continuación:

### **Elasticidad:**

Propiedad del material por la que se deforma bajo una carga inferior al límite elástico y vuelve a su forma original una vez que se elimina la carga.

### **Plasticidad:**

Es la capacidad de un metal para deformarse permanentemente sin llegar a romperse.

### **Ductilidad:**

Es la cantidad de deformación plástica en el punto de ruptura y se determina en una prueba de tensión midiendo la elongación y la reducción del área transversal del material.

### **Dureza:**

Es la resistencia que opone un material a ser penetrado ó deformado.

**Tenacidad:**

Es la capacidad que tiene un material de soportar cargas aplicadas súbitamente.

**Fatiga:**

Es la tendencia de un material a romperse bajo condiciones de esfuerzos de repetición cíclica.

**Resistencia a la Corrosión:**

Es un ataque químico o electroquímico sobre los metales, y consiste en una destrucción por desgaste lento de una pieza o herramienta. Aunque no es una propiedad física, representa un factor importante en el proceso de selección de materiales, cuando el medio ambiente o los elementos que estén en contacto con el metal, pueden corroerlo o propicien este ataque.

**Conductividad:**

Esta puede ser eléctrica o térmica y se refiere a la propiedad que tiene un material por lo que permite el paso de electricidad y calor. [2,9,10,12,26]

### I.3. ESTRUCTURAS DE LOS ACEROS.

#### **Ferrita:**

Es una solución sólida intersticial de una pequeña cantidad de carbón disuelto en hierro  $\alpha$  (b.c.c.). La máxima solubilidad es 0.025%C a 723°C (punto H) y disuelve solo 0.008%C a temperatura ambiente. Es la estructura más suave que aparece en el diagrama hierro - carburo de hierro (fig.I.1). Las propiedades promedio son: resistencia tensil 40,000 lb/pulg<sup>2</sup> y su dureza Rockwell B90. En la figura I.2 se muestra la estructura de la ferrita, donde vemos que el contorno de los granos es ligeramente curvilíneo.

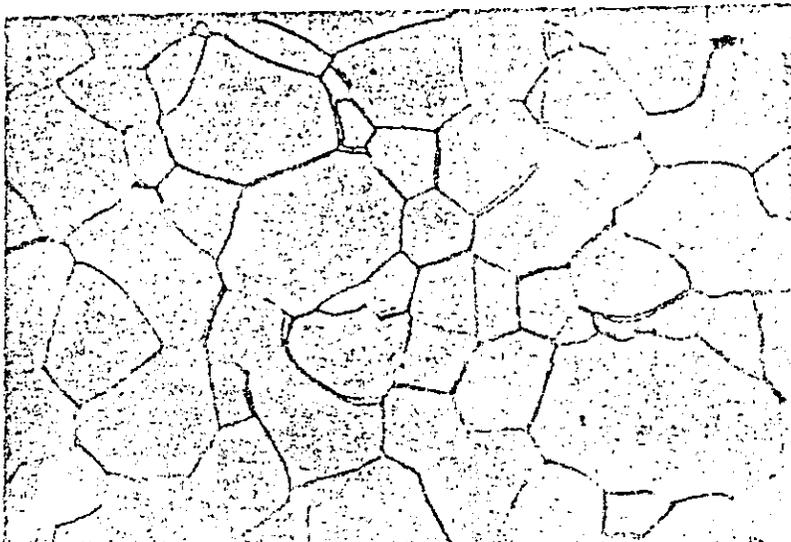


Figura I.2. Microestructura de la Ferrita, amplificada 17 000 veces.

**Perlita:**

(Punto J). Es una mezcla muy fina tipo placa laminar de ferrita y cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Contiene 0.80%C y se forma a  $723^\circ\text{C}$ . Sus propiedades son, R.T. = 120,000 lb/pulg<sup>2</sup>. Dureza Rockwell C20. La figura I.3 muestra la fina mezcla muy fina tipo huella dactilar, llamada perlita.

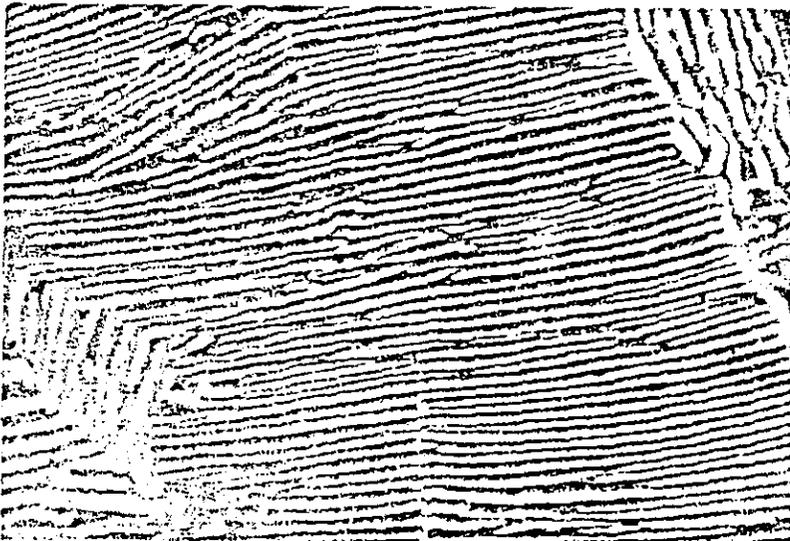


Figura I.3. Microestructura de la perlita amplificada 17 000 veces.

### **Cementita:**

Cementita o carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Contiene: 6,67%C. Es un compuesto intersticial duro y frágil de baja resistencia tensil (aprox.5000 lb/pulg<sup>2</sup>)pero de alta resistencia compresiva. Es la estructura más dura que aparece en el diagrama hierro – carburo de hierro. (dureza Rockwell C68). Su estructura cristalina es ortorrómbica.



Figura I.4. Microestructura de la Cementita aumentada 17 000 veces.

### **Austenita:**

Es una solución sólida intersticial de carbón disuelto en hierro gamma  $\gamma$  (f.c.c.). La máxima solubilidad es del 2%C a 1130°C (punto C). Sus propiedades son, R.T. = 150,000 lb/pulg<sup>2</sup> y de dureza Rockwell C40. En la figura I.5 se muestra la microestructura de la austenita, en donde vemos que el contorno de los granos es rectilíneo.



Figura I.5. Microestructura de la Austenita aumentada 17 000 veces.

### **Martensita:**

Es una solución dura y se consigue por enfriamiento rápido de la austenita. Tiene una estructura tetragonal centrada en el cuerpo. No aparece en el diagrama fierro carburo de fierro porque es una estructura metaestable (fuera de equilibrio). Dureza Rockwell C64. Algunas veces es descrita como un haz de pajitas (ver figura I.6).



Figura I.6. Microestructura de la martensita aumentada 17 000 veces.

### **Bainita:**

La bainita resulta de la transformación isotérmica de la austenita para temperaturas comprendidas entre 250° y 550°C. En cambio, un temple defectuoso por falta de velocidad de enfriamiento no provoca su formación.

La operación para producir bainita recibe el nombre de temple isotérmico o Austempering. Si se forma entre 500° y 600°C. resulta "bainita superior o plumosa", se parece a la perlita; de aspecto arborescente (ver figura 1.7), con una dureza aproximada de Rockwell C40. Pero cuando la temperatura se conserva entre los 250° y los 400°C encontramos la "bainita inferior o acicular", parecida en su aspecto a la martensita (ver figura 1.8). Ambas bainitas están constituidas por placas de carburo de hierro (cementita) en una matriz ferrítica.



Figura 1.7. Microestructura de la Bainita Superior amplificada 17 000 veces. Las zonas arborescentes son bainita superior y las zona claras martensita.



Figura I.8. Microestructura de la Bainita Inferior ampliada 17 000 veces. Es muy parecida a la martensita; las agujas que forman ángulos de aproximadamente  $60^\circ$  constituyen la bainita inferior y las zonas claras son martensita).

[2,5,6,26,29,30]

## **1.4. EFECTO DE LOS ALEANTES.**

Los elementos de aleación se añaden a los aceros para diversos propósitos, entre los cuales los más importantes están los siguientes:

1. Aumentar la resistencia al desgaste.
2. Aumentar la resistencia a la corrosión.
3. Mejorar la resistencia a temperaturas comunes.
4. Mejorar la tenacidad a cualquier dureza o resistencia mínima.
5. Disminuir la distorsión durante el proceso de endurecimiento.
6. Aumentar la templabilidad.
7. Mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas.

Estas mejoras se logran principalmente por:

1. Alteración de las características de endurecimiento de los aceros.
2. Alteración de las características de revenido de los aceros.
3. Alteración de la naturaleza y cantidad de carburos formados en los aceros.

## **CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION:**

Los elementos aleantes pueden clasificarse de acuerdo con la forma en que se distribuyen en los dos constituyentes principales de los aceros:

Grupo I Elementos que se disuelven en la ferrita (Ni, Si, Al, Cu, Co, Mn).

Grupo II Elementos que forman carburos simples o complejos (Cr, Mo, V, W, Ti, Si, Zr, Ta, Cb).

Probablemente desde un punto de vista técnico, hay alguna solubilidad de todos los elementos en la ferrita, pero en ciertos elementos no se encuentran extensivamente en la fase carburo. Por lo que, el níquel, aluminio, silicio, cobre, cobalto y manganeso se hayan ampliamente disueltos en la ferrita. Y en ausencia de carbono, se encontrarán disueltas en ferrita grandes proporciones de elementos del grupo 2, por lo tanto, la tendencia a formar carburos es obvia sólo cuando hay gran cantidad de carbono. Se resumen los efectos específicos de los elementos de aleación en los aceros en la siguiente tabla que se muestra a continuación (Tabla 1.1). [2,5,8,17,24]

Elemento	Grado máximo De solubilidad En la fase $\gamma$	Grado máximo De solubilidad En la fase $\alpha$	Efecto Endurecedor Sobre la ferrita	Influencia en la Templabilidad	Influencia en La formación De carburos	Influencia en la Disminución de La dureza en El revenido	Principales funciones
ALUMINIO	1.1% (aumentado por C)	36%	La dureza considerablemente por solución sólida	Si se disuelve en austenita, aumenta ligeramente la templabilidad	Negativa (grauiza)	...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desvida eficazmente Restringe el crecimiento de grano (por formación de óxidos o nitruros dispersos)</li> <li>2. Elemento de aliación en la migración del acero</li> </ol>
CROMO	12.8% (20% con 0.5% C)	Iluminada	La dureza ligeramente; aumenta la resistencia a la corrosión	Aumenta la templabilidad moderadamente	Mayor que Mn, menor que W	Contrarresta ligeramente al suavizamiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumenta la resistencia a la corrosión y a la oxidación</li> <li>2. Aumenta la templabilidad</li> <li>3. Añade alguna resistencia a altas temperaturas</li> <li>4. Resiste la abrasión y al desgaste (con alto contenido de carburo)</li> </ol>
COBALTO	Iluminada	75%	La dureza considerablemente por solución sólida	Cuando está disuelto disminuye la templabilidad	Semejante al Fe	Mantiene la dureza por efecto de la solución sólida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Contribuye a conservar la dureza al rojo, endureciendo la ferrita</li> </ol>
MANGANESO	Iluminada	3%	La dureza moderadamente; reduce la plasticidad	Aumenta moderadamente la templabilidad	Mayor que Fe; menor que Cr	Muy poca, en porcentajes usuales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Contrarresta la fragilidad debida al azufre</li> <li>2. Aumenta a bajo costo la templabilidad</li> </ol>
MOLIBDENO	3% ± (8% con 0.3% C)	37.5% (menor con temperatura disminuida)	Proporciona un sistema de endurecedor por envolsido en los aceros aliados con alto Mo - Fe	Aumenta fuertemente la templabilidad (Mo > Cr)	Fuerte; mayor que Cr	Se opone al suavizamiento, por endurecimiento secundario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eleva la temperatura del inicio de crecimiento del grano de la austenita</li> <li>2. Profundiza el endurecimiento</li> <li>3. Contrarresta la tendencia a la fragilidad por revenido</li> <li>4. Aumenta las resistencias a alta temperatura, a la fluencia y a la dureza al rojo</li> <li>5. Mejora la resistencia a la corrosión en aceros inoxidables</li> <li>6. Forma partículas resistentes a la abrasión</li> </ol>
NIQUEL	Iluminada	10% (independiente del contenido de carbono)	La hace resistente y tenaz por solución sólida	Aumenta ligeramente la templabilidad pero tiende a retener austenita con alto contenido de carbono	Negativa (grauiza)	Muy poca en porcentajes	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hace resistentes los aceros no templados o recocidos</li> <li>2. Hace tenaces los aceros perlitico-ferríticos</li> <li>3. Asteniza las aleaciones de hierro a alto carbono</li> </ol>

Tabla I.1. Acción de los diversos elementos de aliación en los Aceros.

Elemento	Grado máximo De solubilidad En la fase $\gamma$	Grado máximo De solubilidad En la fase $\alpha$	Efecto Endurecedor Sobre la ferrita	Influencia en la Templabilidad	Influencia en La formación De carburos	Influencia en la Disminución de La dureza en El revenido	Principales funciones
FOSFORO	0.5%	2.8% (independiente del contenido de carbono)	La endurece fuertemente por solución sólida	Aumenta la templabilidad	Despreciable		1 Aumenta la resistencia del acero al bajo carbono 2 Aumenta la resistencia a la corrosión 3 Mejora la maquinabilidad en los aceros de corteado libre (aceros rápidos)
SILICIO	2% ± (9% con 0.35% C)	18.5% (no cambia mucho con el contenido de carbono)	La endurece con pérdida en plasticidad ( $M_n < S_i < P$ )	Aumenta moderadamente la templabilidad	Negativa (gritiza)	1. Sustiene la dureza por solución sólida	1 Se emplea como desoxidador de propósito general 2. Elemento de aleación para laminas eléctricas y magnéticas 3 Mejora la resistencia a la corrosión 4 Aumenta la templabilidad de los aceros que no tienen elementos grafitizadores 5 Hace resistentes los aceros de baja aleación
TITANIO	0.75% 1% ± (con 0.20% C)	6% ± (menos con temperatura disminuida)	Proporciona un sistema de endurecimiento por envejecimiento en aleaciones con alto contenido de Ti - Fe	Probablemente aumenta muy fuerte la templabilidad al estar disuelto. Los los elctor del carburo reducen la templabilidad	La mayor que se conoce (2% de Ti hace que el acero con 0.50% de carbono no se pueda endurecer)	Los carburos persistentes probablemente no se aleitan. Algun endurecimiento secundario	1. Fija el carbono en partículas inertes a) Reduce la dureza martensítica y la templabilidad en aceros al cromo medio b) Previene la formación de austenita en aceros al alto cromo c) Previene el agrietamiento localizado de cromo en aceros inoxidables durante un largo calentamiento
TUNGSTENO	6% (11% con 0.25% C)	33% (menos con temperatura disminuida)	Proporciona un sistema de endurecimiento por envejecimiento en aleaciones con alto W - Fe	Aumenta fuertemente la templabilidad en pequeñas cantidades	Fuerte	Se opone al suavizamiento por endurecimiento secundario	1 Forma partículas duras y resistentes a la abrasión en aceros para herramientas 2 Promueve la dureza y la resistencia a altas temperaturas
VANADIO	1% (4% con 0.20% C)	Ilimitada	La endurece moderadamente por solución sólida	Aumenta fuertemente la templabilidad cuando está disuelto	Muy fuerte ( $V < Ti$ o Cb)	Maxima por endurecimiento secundario	1. Eleva la temperatura de inicio de crecimiento del grano de la austenita (promueve el grano fino) 2. Aumenta la templabilidad (cuando está disuelto) 3. Restriente el revenido y produce en marcado endurecimiento secundario

Tabla I.1. Acción de los diversos elementos de aleación en los Aceros.  
(Continuación)

## **I.5. CLASIFICACION DE LOS ACEROS.**

### **I.5.1. ACEROS AL CARBONO.**

Los aceros al carbono (los que también se conocen como aceros al carbono simple, aceros ordinarios y aceros con contenido de carbono exclusivamente), que está constituido de carbono, manganeso (1.65% máx), con la adición de otros elementos generalmente presentes en forma de impurezas, como silicio (0.60% máx), azufre (0.035% máx) y fósforo (0.03% máx).

De acuerdo con las siguientes organizaciones: A.S.T.M. American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales); A.P.I. American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo); A.S.M.E. American Society of Mechanical Engineer (Sociedad Americana de Ingeniería Mecánica); M.I.L.O.Q.Q. Especificaciones Militares y Federales (del gobierno); S.A.E. Society of Automotive Engineer (Sociedad de Ingeniería Automovilística) y la A.I.S.I. American Iron and Steel Intitute (Instituto Americano del Hierro y del Acero), dichos aceros están clasificados en 3 grupos de acuerdo con el porcentaje de contenido de carbono:

1. Aceros de bajo carbono (0.05% a 0.3%C). El acero de bajo contenido de carbono es relativamente suave y dúctil y no puede endurecerse en forma apreciable por tratamiento térmico. Representa el tonelaje más grande de todo el acero producido. Se usa para hoja de lata, láminas para carrocería de automóviles, alambres de cerca, elementos estructurales ligeros y pesados (bastidores de automóviles, vigas I, etc.).
2. Aceros de mediano carbono (0.31% a 0.6%C). El acero al medio carbono se usa para fundiciones de acero de alta resistencia y para forjas, como ejes de ferrocarril, cigueñales, engranes, ruedas de cangilones para turbina, y brazos direccionales. El acero al medio carbono puede endurecerse por tratamiento térmico, pero no puede endurecerse por completo en secciones cuyos espesores sean mayores de media pulgada.
3. Aceros de alto carbono (0.61% a 1%C). El acero al alto carbono sirve para forjas como llaves de tuercas y ruedas de ferrocarril y para productos rolados en caliente, como rieles de ferrocarril y barras para refuerzo de concreto. Los productos de alambre de alta resistencia, como alambre de piano y cables de suspensión de puentes se hacen de acero al alto carbono.(ver tabla 1.2) [9,10,12,13,15,18]

## **I.5.2 ACEROS ALEADOS.**

### **I.5.2.1 ACEROS DE BAJA ALEACION.**

Los aceros de baja aleación, son los Aceros Grado Maquinaria con un máximo de 5% de elementos aleantes. En la siguiente tabla se muestran la composición de algunos aceros AISI-SAE, (Ver tabla I.3) [3]

NÚM. AISI*	% C	% Mn	% P max	% S max	NÚM. SAE
<b>ACEROS AL CARBONO</b>					
C1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04	0.05	1010
C1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.04	0.05	1015
C1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.04	0.05	1020
C1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.04	0.05	1025
C1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.04	0.05	1030
C1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.04	0.05	1035
C1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.04	0.05	1040
C1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.04	0.05	1045
C1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.04	0.05	1050
C1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.04	0.05	1055
C1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.04	0.05	1060
C1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.04	0.05	1065
C1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.04	0.05	1070
C1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.04	0.05	1074
C1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.04	0.05	1080
C1085	0.80-0.93	0.70-1.00	0.04	0.05	1085
C1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.04	0.05	1090
C1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.04	0.05	1095
<b>ACEROS DE MAQUINADO LIBRE</b>					
B1112	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23	1112
B1113	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33	1113
C1110	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04	0.08-0.13	
C1113	0.10-0.16	1.00-1.30	0.04	0.24-0.33	
C1115	0.13-0.18	0.60-0.90	0.04	0.08-0.13	1115
C1120	0.18-0.23	0.70-1.00	0.04	0.08-0.13	1120
C1137	0.32-0.39	1.35-1.65	0.04	0.08-0.13	1137
C1141	0.37-0.45	1.35-1.65	0.04	0.08-0.13	1141
C1212	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23	1112
C1213	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33	1113
C12L14†	0.15 max	0.80-1.20	0.04-0.09	0.25-0.35	12L14

\* Letras prefijo AISI: B = acero al carbono bessemer ácido; C = acero al carbono básico de hogar abierto.

† Plomo, de 0.15 a 0.35%.

Tabla I.2. Algunas especificaciones de acero estándar representativo.

NUM.AISI	%C	%Mn.	%Ni.	%Cr.	%Mo.	%V.	NUM.SAE	TIPO
1330	0.28-0.33	1.60-1.90	...	...	...	...	1330	Acero al Mn
2317	0.15-0.20	0.40-0.60	3.25-3.75	...	...	...	2315	A. al 3% Ni.
E2512	0.09-0.14	0.45-0.60	4.75-5.25	...	...	...	...	A. al %5 Ni.
3115	0.13-0.18	0.40-0.60	1.10-1.40	0.55-0.75	...	...	3115	A. al Ni-Cr.
3130	0.28-0.33	0.60-0.80	1.10-1.40	0.55-0.75	...	...	3130	A. al Ni-Cr.
E3310	0.08-0.13	0.45-0.60	3.65-3.75	1.40-1.75	...	...	3310	A. al Ni-Cr.
4023	0.20-0.25	0.70-0.90	...	...	0.20-0.30	...	4023	Acero al Mo
4118	0.18-0.23	0.70-0.90	...	0.40-0.60	0.08-0.15	...	4118	Cr-Mo.
4320	0.17-0.22	0.45-0.60	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30	...	4320	Ni-Cr Mo
4340	0.38-0.43	0.60-0.80	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	...	4340	Ni-Cr Mo
4620	0.17-0.22	0.45-0.60	1.65-2.00	...	0.20-0.30	...	4620	A. al Ni-Mo
5120	0.17-0.22	0.70-0.90	...	0.70-0.90	...	...	5120	Aceros al Cr
5130	0.28-0.33	0.70-0.90	...	0.80-1.10	...	...	5130	Aceros al Cr
E52100	0.95-1.10	0.25-0.45	...	1.30-1.60	...	...	52100	Aceros al Cr
6118	0.16-0.21	0.50-0.70	...	0.50-0.70	...	0.12	6118	A. al Cr-V
8620	0.18-0.23	0.70-0.90	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	...	8620	A bajo Ni-Cr-Mo
8720	0.18-0.23	0.70-0.90	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	...	8720	A bajo Ni-Cr-Mo
9260	0.56-0.64	0.75-1.00	1.80-2.20	...	...	...	9260	Aceros al Si
E9310	0.08-0.13	0.45-0.65	3.00-3.50	1.00-1.40	0.08-0.15	...	9310	Aceros alto Ni-Cr-Mo
9850	0.48-0.53	0.70-0.90	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	...	9850	Aceros alto Ni-Cr-Mo

E=proceso básico de horno eléctrico. Todos los demás se han manufacturado mediante el proceso básico de hogar abierto.

Tabla I.3. Algunas especificaciones de acero aleado representativo.

### **I.5.2.2. ACEROS DE ALTA ALEACIÓN.**

Dentro de los aceros de alta aleación se encuentran, los aceros herramienta y a los aceros inoxidable.

#### **I.5.2.2.1. ACEROS HERRAMIENTA.**

Los aceros herramienta son clasificados por la AISI y por la SAE en 11 grupos, teniendo en cuenta el método de temple, sus aplicaciones y características particulares, las cuales son mostradas en la siguiente tabla (Tabla I.4) [3,5,19,24]

De igual manera, estos grupos se subdividen en diferentes tipos basándose en la composición química de cada acero, como se muestra en la tabla (Tabla I.5). [3,5,19]

---

Grupo	Símbolo Alfabético	Tipo
Templados en agua	W	Aceros al C.
Resistencia al Impacto	S	Bajo C , Baja aleación.
Trabajo en Frío	O	Temple en aceite.
	A	Temple al aire.
	D	Alto C, Alto Cr.
	H	H1-H19 base Cr. H20-H-39 base W. H40-H59 base Mo.
Alta velocidad	T	Base W
	M	Base Mo.
Moldes	P	Bajo C.
Propósitos específicos	L	Baja aleación.
	F	Carbon-Tungsteno.

---

Tabla.1.4. Clasificación de los Aceros Herramienta.

ELEMENTOS DE IDENTIFICACION, PORCENTAJE										
Tipo	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co	Al
ACEROS PARA HERRAMIENTA TEMPLABLES EN AGUA. SIMBOLO W										
W1	0.60/1.40†									
W2	0.60/1.40†					0.25				
W5	1.10			0.50						
ACEROS PARA HERRAMIENTA RESISTENTES AL IMPACTO. SIMBOLO S										
S1	0.50			1.50			2.50			
S2	0.50		1.00					0.50		
S5	0.55	0.80	2.00					0.40		
S7	0.50			3.25				1.40		
ACEROS PARA HERRAMIENTA PARA TRABAJO EN FRIO. SIMBOLO O. TIPOS TEMPLABLES EN ACEITE										
O1	0.90	1.00		0.50			0.50			
O2	0.90	1.60								
O6	1.45		1.00					0.25		
O7	1.20			0.75			1.75			
SIMBOLO A. MEDIANA ALEACION. TIPOS TEMPLABLES EN AIRE										
A2	1.00			5.00				1.00		
A3	1.25			5.00		1.00		1.00		
A4	1.00	2.00		1.00				1.00		
A6	0.70	2.00		1.00				1.00		
A7	2.25			5.25		4.75	1.00	1.00		
A8	0.55			5.00			1.25	1.25		
A9	0.50			5.00	1.50	1.00		1.40		
A10	1.35	1.80	1.25		1.80			1.50		
SIMBOLO D. TIPOS ALTO CARBONO, ALTO CROMO										
D2	1.50			12.00				1.00		
D3	2.25			12.00						
D4	2.25			12.00				1.00		
D5	1.50			12.00				1.00	3.00	
D7	2.25			12.00		4.00		1.00		
ACEROS PARA HERRAMIENTA PARA TRABAJO EN CALIENTE SIMBOLO H										
H1-H19. INCLUSO TIPOS BASE CROMO										
H10	0.40			3.25		0.40		2.50		
H11	0.35			5.00		0.40		1.50		
H12	0.35			5.00		0.40	1.50	1.50		
H13	0.35			5.00		1.00		1.50		
H14	0.40			5.00			5.00			
H19	0.40			4.25		2.00	4.25		4.25	
H20-H39. INCLUSO TIPOS BASE TUNGSTENO (H27-H39 NO DESIGNADOS)										
H21	0.35			3.50			9.00			
H22	0.35			2.00			11.00			
H23	0.30			12.00			12.00			
H24	0.45			3.00			15.00			
H25	0.25			4.00			15.00			
H26	0.50			4.00		1.00	18.00			
H40-H59. INCLUSO TIPOS BASE MOLIBDENO (H40, H44-H59 NO DESIGNADOS)										
H41	0.65			4.00		1.00	1.50	9.00		
H42	0.60			4.00		2.00	5.00	5.00		
H43	0.55			4.00		2.00		3.00		

Tabla I.5. - Identificación y Tipo de clasificación de aceros para herramientas. [5]

ELEMENTOS DE IDENTIFICACION. PORCENTAJE

Tipo	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co	Al
<b>ACEROS PARA HERRAMIENTA DE ALTA VELOCIDAD</b>										
<b>SÍMBOLO T. TIPOS PASE TUNGSTENO</b>										
T1	0.70	...	...	4.00	...	1.00	18.00	...		
T2	0.80	...	...	4.00	...	2.00	18.00	...		
T4	0.75	...	...	4.00	...	1.00	18.00	...	5.00	
T5	0.80	...	...	4.00	...	2.00	18.00	...	8.00	
T6	0.80	...	...	4.50	...	1.50	20.00	...	12.00	
T8	0.75	...	...	4.00	...	2.00	14.00	...	5.00	
T15	1.50	...	...	4.00	...	5.00	12.00	...	5.00	
<b>SÍMBOLO M. TIPOS BASE MOLIBDENO</b>										
M1	0.80	...	...	4.00	...	1.00	1.50	8.00		
M2	0.85/1.00*	...	...	4.00	...	2.00	6.00	5.00		
M3	1.05	...	...	4.00	...	2.40	6.00	5.00		
M4	1.30	...	...	4.00	...	4.00	5.50	4.50		
M6	0.80	...	...	4.00	...	1.50	4.00	5.00	12.00	
M7	1.00	...	...	4.00	...	2.00	1.75	8.75		
M10	0.85	...	...	4.00	...	2.00	...	8.00		
M30	0.80	...	...	4.00	...	1.25	2.00	8.00	5.00	
M34	0.90	...	...	4.00	...	2.00	2.00	8.00	8.00	
M36	0.80	...	...	4.00	...	2.00	6.00	5.00	8.00	
M41	1.10	...	...	4.25	...	2.00	6.75	3.75	5.00	
M42	1.10	...	...	3.75	...	1.15	1.50	9.50	8.00	
M43	1.20	...	...	3.75	...	1.60	2.75	8.00	8.25	
M44	1.50	...	...	4.25	...	2.25	5.25	6.25	12.00	
M46	1.25	...	...	4.00	...	3.20	2.00	8.25	8.25	
M47	1.10	...	...	3.75	...	1.25	1.50	9.50	5.00	
<b>ACEROS PARA HERRAMIENTA CON FINES ESPECIFICOS</b>										
<b>SÍMBOLO L. TIPOS BAJA ALEACION</b>										
L2	0.50/1.10*	...	...	1.00	...	0.20	...	...	...	...
L3	1.00	...	...	1.50	...	0.20	...	...	...	...
L6	0.70	...	...	0.75	1.50	...	...	0.25	...	...
<b>SÍMBOLO F. TIPOS CARBONO-TUNGSTENO</b>										
F1	1.00	...	...	...	...	...	1.25	...	...	...
F2	1.25	...	...	...	...	...	3.50	...	...	...
<b>ACEROS PARA MOLDES. SÍMBOLO P</b>										
<b>P1-P19. INCLUSO TIPOS BAJO CARBONO (P7-P19 NO DESIGNADOS)</b>										
P2	0.07	...	...	2.00	0.50	...	...	0.20	...	...
P3	0.10	...	...	0.60	1.25	...	...	...	...	...
P4	0.07	...	...	5.00	...	...	...	...	...	...
P5	0.10	...	...	2.25	...	...	...	...	...	...
P6	0.10	...	...	1.50	3.50	...	...	...	...	...
<b>P20-P39. INCLUSO OTROS TIPOS (P22-P39 NO DESIGNADOS)</b>										
P20	0.30	...	...	1.25	...	...	...	0.25	...	...
P21	0.20	...	...	...	4.00	...	...	...	...	1.20

\* Tomada del libro *Steel products manual*, "Tool steels", American Iron and Steel Institute, 1970.

+ Puede estar disponible con variable contenido de carbono.

‡ Contiene grafito libre en la microestructura para mejorar la maquinabilidad.

Tabla I.5. - (continuación)

### **1.5.2.2.2. ACEROS INOXIDABLES.**

Es una aleación compuesta por hierro (Fe) y cromo (Cr). El hierro es el elemento fundamental de todos los aceros inoxidable. Sin embargo, para hacer que el hierro sea "inoxidable", el cromo debe ser por lo menos el 11.5% de la aleación; además se agregan otros elementos para proporcionar ciertas propiedades. Mientras que se emplea nueve veces más hierro que cromo, debemos notar que el cromo es el elemento agregado indispensable, tanto en los aceros inoxidable de la serie 200, 300 como en los de la 400, donde las propiedades de "resistencia a la corrosión", son de gran importancia.

Cuando se agrega el 11.5% o más de cromo, se forma espontáneamente en las superficies expuestas al aire, una delgada, plateada y altamente adherente capa de óxido de cromo. Esta fina película actúa como una barrera para retardar futura oxidación o corrosión. El acero no puede oxidarse y por ello su nombre de ACERO INOXIDABLE. [4,6,10,12]

### **ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS:**

Todos los llamados aceros austeníticos tienen un contenido de cromo y níquel como los principales elementos de aleación. Los aceros inoxidable austeníticos se caracterizan por su resistencia a

la corrosión y oxidación (escamación). La adición de cromo es responsable de esas características, además que es un elemento estabilizador de ferrita.

Ahora bien la adición de níquel, el cual es otro elemento en esta aleación, el cual favorece la retención (estabilizador) de la estructura austenita, incrementa la resistencia a altas temperaturas así como resistencia a la corrosión en estas aleaciones. El aumento del contenido de níquel tiene la propiedad de reducir la temperatura de transformación de la austenita, quiere decir que, mejora la retención de la austenita conforme se enfría el acero, hasta temperatura ambiente; mientras que la presencia de cromo hace la transformación lenta, tiende a evitar la transformación del acero en austenita bajo calentamiento. De esta forma la estabilidad de la austenita aumenta por elevación del contenido de níquel. Además estas aleaciones contienen otros elementos, para mejorar sus propiedades mecánicas.

En el presente trabajo sólo se prestara atención a este tipo de aceros inoxidables y no será así con los ferríticos y martensíticos.

### **ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS:**

Los aceros inoxidables martensíticos contienen del 11.5 al 17%Cr, como su principal elemento de aleación. Los aceros inoxidables martensíticos contienen cantidades balanceadas de cromo (estabilizador de la ferrita) y carbono y níquel (estabilizadores de la austenita), de modo que bajo calentamiento el acero se vuelve austenítico, pero bajo el enfriamiento tiende a revertir a ferrita. Estas composiciones pueden calentarse al alcance austenítico de temperatura y se transformarán en martensita al enfriarse a las velocidades adecuadas. El contenido de carbono es suficiente para producir una dureza martensítica la cual es adecuada para cuchillería e instrumentos quirúrgicos.

### **ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS:**

Los aceros inoxidables ferríticos contienen del 17% al 27%Cr. Contienen cromo, no tienen níquel y toleran sólo pequeñas cantidades de carbono que estabiliza la austenita. Si se aumenta el contenido de carbono, debe aumentarse el contenido de cromo con objeto de mantener el balance y una estructura ferrítica. En esta condición balanceada esos aceros pueden calentarse al punto de fusión sin transformar la austenita. Por tanto, es imposible endurecerlos por enfriamiento rápido. Algunas de las aplicaciones de estos aceros se presentan en elementos de hornos, tubos protectores de pirómetros, etc. [4,6,10,12,17]

GRUPO NÚMERO DE TIPO	GRUPO AUSTENÍTICO					
	201	202	301	302	309	316
<b>Análisis, porcentaje:</b>						
Cromo	16.0-18.0	17.0-19.0	16.0-18.0	17.0-19.0	22.0-24.0	16.0-18.0
Níquel	3.5-5.5	4.0-6.0	6.0-8.0	8.0-10.0	12.0-15.0	10.0-14.0
Otros elementos	N <sub>2</sub> 0.25 máx	N <sub>2</sub> 0.25 máx	...	...	...	Mo 2.0-3.0
Carbono	0.15 máx	0.15 máx	0.15 máx	0.15 máx	0.20 máx	0.08 máx
Manganeso	5.5-7.5	7.5-10.0	2.0 máx	2.0 máx	2.0 máx	2.0 máx
Silicio	1.0 máx	1.0 máx	1.0 máx	1.0 máx	1.0 máx	1.0 máx
<b>Temperatura, °F:</b>						
Inicio de la forja	2 300	2 300	2 200	2 200	2 150	2 200
Intervalos de recocido	1850-2000	1850-2000	1950-2050	1850-2050	2050-2150	1975-2150
Recocido—enfriamiento†	WQ(AC)	WQ(AC)	WQ(AC)	WQ(AC)	WQ(AC)	WQ(AC)
Intervalos de endurecimiento ‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡
Templado	...	...	...	...	...	...
Revenido—para dureza intermedia	...	...	...	...	...	...
Revenido—para liberación de esfuerzos	...	...	...	...	...	...
<b>Propiedades mecánicas —recocido:</b>						
Estructura recocida	A	A	A	A	A	A
Resistencia a la cedencia, 1 000 lb/pulg <sup>2</sup> mín	40	40	35	30	30	30
Resistencia última, 1 000 lb/pulg <sup>2</sup> mín	115	110	100	80	75	75
Elongación, % en 2 pulg mín	40.0	40.0	50.0	50.0	40.0	40.0
Reducción en área, % mín	...	...	60.0	60.0	50.0	50.0
Módulo de elasticidad en tensión, 10 <sup>6</sup> lb/pulg <sup>2</sup>	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
Dureza, Brinell	210 máx	210 máx	180 máx	160 máx	200 máx	200 máx
Dureza, Rockwell	B 95 máx	B 95 máx	B 90 máx	B 90 máx	B 95 máx	B 95 máx
Valores de cargas aplicadas con impacto, 1/2 pulg, pie-libra	85 mín	85 mín	85 mín	85 mín	80 mín	70 mín
<b>Propiedades mecánicas —tratamiento térmico:</b>						
Resistencia a la cedencia, 1 000 lb/pulg <sup>2</sup>	...	...	...	...	...	...
Resistencia última, 1 000 lb/pulg <sup>2</sup>	§	§	§	...	...	...
Elongación, porcentaje en 2 pulg	...	...	...	...	...	...
Dureza, Brinell	...	...	...	...	...	...
Dureza, Rockwell	...	...	...	...	...	...

Abreviaturas: AC = enfriado en aire, FC = enfriado en horno, SFC = enfriado lento en horno, WQ = templado en agua, O = templado en aceite, F = ferrita, C = carburo, A = austenita.

\* Tomada del libro *Stainless steel handbook*, Allegheny Ludlum Steel Corp.

† Las secciones delgadas de la serie 300, marcadas como WQ(AC), generalmente se enfrían en aire, en tanto que las secciones muy grandes se templan en agua.

‡ Endurecible sólo por trabajado en frío.

§ Las resistencias últimas de hasta 350 000 lb/pulg<sup>2</sup> para alambres y 250 000 lb/pulg<sup>2</sup> para tiras se pueden obtener por trabajado en frío.

¶ Generalmente se utilizan sólo en la condición de recocido.

La tabla muestra la composición química y propiedades mecánicas típicas de algunos aceros inoxidables (Tabla I.6). [5]

410	GRUPO MARTENSITICO					GRUPO FERRITICO		
	416	420	440A	501	502	405	430	446
11.5-13.5 350 máx ...	12.0-14.0 ... ...	12.0-14.0 ... ...	16.0-18.0 0.50 máx Mo 0.75 máx	4.0-6.0 ... Mo 0.4- 0.65	4.0-6.0 ... Mo 0.4- 0.65	11.5-14.5 0.50 máx Al 0.10- 0.30	14.0-18.0 0.50 máx ...	23.0-27.0 0.50 máx Ni 0.25 máx
3.15 máx 1.0 máx 1.0 máx	0.15 máx 1.25 máx 1.0 máx	0.15 máx 1.0 máx 1.0 máx	0.60-0.75 1.0 máx 1.0 máx	0.10 mín 1.0 máx 1.0 máx	0.10 máx 1.0 máx 1.0 máx	0.08 máx 1.0 máx 1.0 máx	0.12 máx 1.0 máx 1.0 máx	0.20 máx 1.5 máx 1.0 máx
2 100 1500-1 650 5FC 1700-1 850	2 150 1500-1 650 FC 1700-1 850	2 000 1550-1 650 FC 1800-1 900	2 100 1550-1 650 FC 1850-1 900	2 150 1525-1 600 FC 1600-1 700	2 150 1525-1 600 FC η	2 100 1350-1 500 AC	2 100 1400-1 500 FC No endure- cible	2 150 1450-1 600 WQ
O o A Máx de 1 100 Menos de 700	O o A Hasta 1 200 Menos de 700	O o A Menos de 700 Menos de 700	O o A Máx de 1 100 Menos de 700	O Máx de 1 100 Menos de 700	O Máx de 1 100 Menos de 700			
F-C 32 60 20.0 50.0 29.0 200 máx B 95 máx	F-C 40-50 60-80 30-20 60-50 29.0 145-185 B 79-90	F-C 50-60 90-100 25-20 50-40 29.0 200-230 B 93-98	F-C 55 95 20.0 40.0 30.0 240 máx B 100 máx	F-C 30 70 28.0 65.0 29.0 160 ...	F-C 25 65 30.0 75.0 29.0 150 B 75	F-C 32 60 20.0 50.0 29.0 180 máx B 90 máx	F-C 35 60 20.0 40.0 29.0 200 máx B 95 máx	F-C 45 75 20.0 20.0 29.0 200 máx B 95 máx
85 mín	50-30	...	Bajos	...	85 mín	25 mín	3-85	Bajos
35-180 60-200 25-2 120-400 B 70-C 45	60-130 90-160 20-10 180-300 D 88-107	120-220 150-250 12-2 275-500 C 30-52	55-240 95-275 20-2 200-355 B 95-C 35	90-135 115-175 20-15 240-370				

Tabla I.6. (continuación)

## **CAPITULO. II.**

### **SOLDADURA DE LOS ACEROS.**

#### **II.1. GENERALIDADES.**

· La mayoría de los métodos para soldar pueden clasificarse en uno de los siguientes procesos:

a) Sí la aplicación de calor se efectúa por fricción o presión, las soldaduras se clasifican como soldaduras al estado sólido. En este proceso la unión se realiza sin aportar material y sin fundir o cambiar el metal base.

b) Sí la aplicación de calor se efectúa por resistencia eléctrica y la fusión ocurre en las superficies de acoplamiento, las soldaduras se clasifican como soldaduras por resistencia.

En estos procesos se requiere de una fuerza de presión y la unión se realiza sin aportar material.

c) Cuando la unión se realiza mediante un calentamiento localizado que funde la superficie del metal base y/o metal de aporte, las soldaduras son clasificadas como soldaduras por arco eléctrico, o gas combustible. En estos procesos la unión se realiza

con o sin metal de aporte.

d) Cuando la unión requiere de un calentamiento localizado (sin llegar al punto de fusión) y el metal de aporte es distribuido por acción capilar entre las superficies de acoplamiento, las soldaduras son clasificadas como soldaduras fuertes y estaño (Brazing y soldering).

La atención del presente trabajo se centra en el proceso denominado soldadura por arco metálico con electrodo revestido, en el cual se produce la fusión del metal base, además del empleo del metal de aporte en forma de varillas revestidas de diversos compuestos, por lo cual el método toma su nombre. Este proceso es uno de los mas empleados al nivel industrial, ya que provee mejores condiciones de operación, tales como: Maniobrabilidad del equipo, fácil control del amperaje, inicio sencillo y rápida estabilización del arco, y bajo costo para realizar una soldadura de producción.

### **PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO METALICO CON ELECTRODO REVESTIDO.**

La soldadura por arco con electrodo revestido (Shield Metal Arc Welding, SMAW) es un proceso de soldadura de arco, en donde la unión de los metales es producida por el calor generado por un

arco eléctrico, que se mantiene entre la punta de una varilla revestida y la superficie del metal base que ésta siendo soldado. El término arco se refiere al corto circuito provocado entre estos dos elementos. El establecimiento del arco y el suministro del metal de aporte (características fundamentales del proceso) se efectúan por medio de una varilla (generalmente de acero suave) recubierta, llamada electrodo.

En este proceso el arco se inicia golpeando ligeramente la punta del electrodo con el metal base. El calor del arco funde la superficie del metal base y forma un “charco líquido”, mientras que al mismo tiempo la punta del electrodo funde y es transportada hasta el “charco” a través del arco, convirtiéndose así en metal de soldadura depositado. Este concepto se ilustra en la figura II.1.

Según las características del recubrimiento, éste debe cumplir con uno o más de los siguientes aspectos:

- 1) Proporcionar agentes escorificantes, desoxidantes y fundentes, que formen una capa protectora mientras el metal depositado solidifica, prevenga la oxidación del metal de soldadura y proporcionen una forma correcta al cordón de soldadura, respectivamente.

2) Suministrar un gas protector del arco y evitar la excesiva contaminación (por la atmósfera) del metal de aporte líquido.

3) Proporcionar un medio para suministrar aleantes, a fin de obtener las propiedades químicas y mecánicas del metal depositado.

4) Establecer las características eléctricas del electrodo, necesarias para la formación y estabilización del arco.

La escoria protectora se obtiene por el uso de un recubrimiento base mineral, óxidos metálicos comprimidos y silicatos, que tienen un punto de fusión relativamente bajo, para permitir el recubrimiento y protección del área de soldadura. Estos compuestos también incluyen elementos desoxidantes tales como: silicio y manganeso, los cuales tienen una alta afinidad por el oxígeno, para removerlo cuando sea absorbido por el metal de soldadura.

Con respecto a la protección del arco, ésta se obtiene de los gases que se forman como resultado de la descomposición de los diversos compuestos que contiene el revestimiento del electrodo. Esta acción también se ilustra en la figura II.1, y es esencialmente la misma para los diferentes tipos de electrodos.

Debido a las diferencias específicas de los electrodos, éstos se identifican por las propiedades mecánicas, tipo de recubrimiento, corriente, polaridad y posición de aplicación. De acuerdo a la Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society - AWS), la clasificación es la siguiente:

Con la designación general E-XXXX

a) EL prefijo "E", indica electrodo para soldadura por arco.

b) Los dos primeros dígitos de cuatro, o los tres primeros dígitos de cinco, representan la mínima resistencia a la tensión del metal de soldadura depositado (sin tratamiento térmico), en kilo libras por pulgada cuadrada.

c) El dígito más próximo al último, indica la posición en la cual la soldadura puede ser hecha.

E-XX1X Todas las posiciones.

E-XX2X Posición plana (flat) y horizontal de filete.

E-XX3X Posición plana.

d) El último dígito en combinación con el penúltimo, indican las características eléctricas de operación y el tipo de recubrimiento.

<b>Nomenclatura</b>	<b>Corriente (1)</b>	<b>Recubrimiento</b>
E-XX10	CD +	Orgánico
E-XX11	CA o CD +	Orgánico
E-XX12	CA o CD -	Rutilo
E-XX13	CA o CD + -	Rutilo
E-XX14	CA o CD + -	Rutilo, polvo de hierro
E-XX15	CD +	Bajo hidrógeno
E-XX16	CA o CD +	Bajo hidrógeno
E-XX18	CA o CD +	Bajo hidrógeno Polvo de hierro
E-XX20	CA o CD + -	Alto óxido de hierro
E-XX24	CA o CD + -	Rutilo, polvo de hierro

1) CA y CD significan corriente alterna y corriente directa respectivamente, (+) indica polaridad invertida o electrodo positivo y (-) significa polaridad directa o electrodo negativo.

Los electrodos para soldar aceros de baja aleación, presentan un sufijo que se añade a la designación estándar después de un guión. Este sufijo indica el porcentaje de elementos aleantes que se añaden al metal de soldadura depositado.

<u>Sufijo</u>	<u>Elementos Aleantes.</u>
A1	0.50% Molibdeno
B1	0.50% Molibdeno - 0.50% Cromo
B2	0.50% Molibdeno - 1.25% Cromo
B3	1.50% Molibdeno - 2.50% Cromo
C1	2.50% Niquel
C2	3.50% Niquel
C3	1.00% Niquel
D1	0.30% Molibdeno - 1.50% Manganeso
D2	0.30% Molibdeno - 1.75% Manganeso

En la soldadura por arco metálico con electrodo revestido, el electrodo y la pieza de trabajo forman parte de un circuito eléctrico denominado circuito de la soldadura, el cual también este integrado por una fuente generadora de energía eléctrica, dos cables de conducción de corriente y un soporte para electrodo. Este ejemplo se muestra en la figura II.2. [7,9,11,12,14,16,18,23,25,27,28]

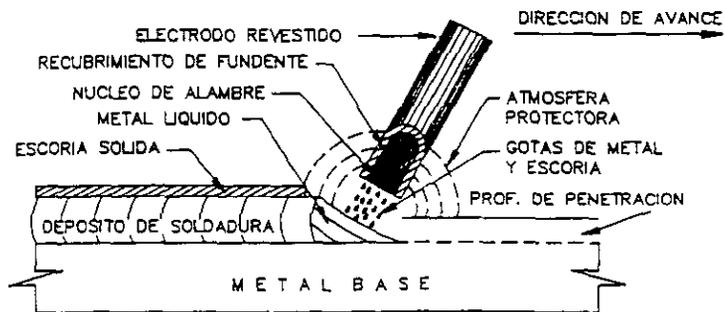


Figura II.1. Esquema del proceso de soldadura por arco metálico con electrodo revestido.

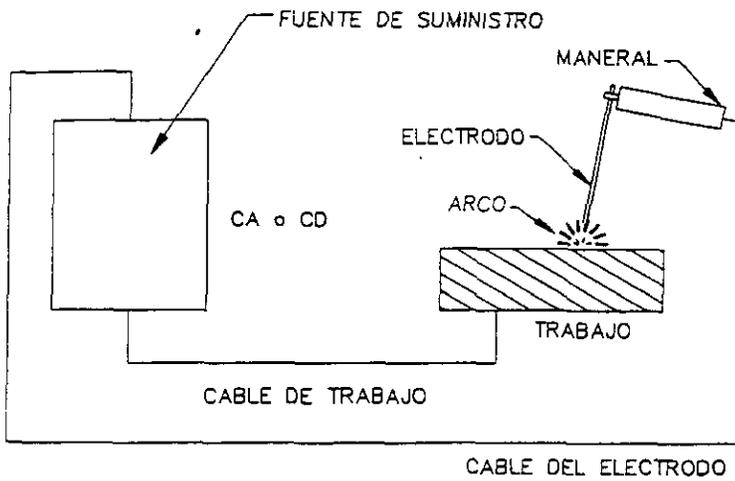


Figura II.2. Circuito de la soldadura por arco metálico con electrodo revestido.

## **II.2 SOLDADURA DE LOS ACEROS DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO.**

Estos aceros generalmente no presentan dificultad en soldadura. El acero al bajo carbono normalmente no requiere de precalentamiento o poscalentamiento para soldarse.

El proceso de enfriamiento después de la soldadura a temperatura ambiente, permite la formación de ferrita que es suficientemente blanda porque evita endurecimientos indebidos; pero se obtiene ductibilidad para prevenir altas tensiones que causen agrietamientos.

Sin embargo, en espesores de hasta 5/16 de pulgada inclusive, son fácilmente soldables sin necesidad de precaución alguna.

Pero en secciones de mayor espesor y en 0.15 a 0.20% de carbono, en casos de soldarse en ambientes a 0°C o menos con arco tienen un rápido enfriamiento, que puede resultar en excesiva dureza cerca de la zona de soldadura y que haya posibilidad de agrietamientos; por lo tanto, en tales casos si ocurriera esto deberá recurrirse a una o más de las siguientes técnicas.

1.- En la primera pasada haga un cordón tan grande como resulte práctico, usando una velocidad de avance más lenta. Esto aumenta la sección transversal de la soldadura. El uso de una velocidad de avance más lenta incrementa también la aportación de calor correspondiente a una longitud dada de soldadura, lo cual hace que la placa se caliente más, reduciendo con ello el régimen de enfriamiento y endurecimiento de la zona de la soldadura. Aplique la segunda pasada mientras la placa está todavía precalentada por la primera pasada.

2.- Deje un espacio de 1/32 de pulgada entre placas, para permitir su libre movimiento mientras se contrae la soldadura durante el enfriamiento.

3.- Aplique la soldadura hacia el extremo no restringido de una junta. Haga algunas soldaduras de puntos que no deformen excesivamente las juntas. [9,13]

### **II.3 SOLDADURA DE LOS ACEROS DE MEDIO CONTENIDO DE CARBONO.**

La soldadura de estos aceros puede requerir procedimientos especiales, los que pueden incluir el precalentamiento, poscalentamiento y relevado de esfuerzos.

Sin experiencia previa en la soldadura de estos aceros, es aconsejable verificar el acero en cuanto a su tendencia al agrietamiento, haciendo una soldadura de filete, de un largo de 12 a 14 pulgadas, en la placa en cuestión (a la temperatura ambiente y sin precalentamiento), rompiendo después la soldadura para examinarla visualmente en busca de grietas. En las soldaduras de filete en fractura abierta, las grietas aparecen ordinariamente como zonas de color púrpura, debido a la oxidación de la superficie de las mismas. Esto indica que las grietas son de "agrietamiento en caliente", es decir, que se formaron a temperaturas de 316°C o mayores. Sólo raras veces se formará una grieta después de que se haya enfriado la soldadura a la temperatura ambiente. Si el acero no muestra tendencia al agrietamiento pueden aplicarse los procedimientos normales de soldadura. En cambio, si se observa una tendencia al agrietamiento deben seguirse los procedimientos indicados para la soldadura de aceros con contenido bajo de carbono.

Si, por causa del agrietamiento se requieren tratamientos de precalentamiento y poscalentamiento, pueden usarse las temperaturas aproximadas de precalentamiento que se anotan a continuación.

Acero	¼ PULG. ESPESOR O MENOS.	½ PULG.	1 PULG.	2 PULG. O MÁS.
SAE 1030	22°C	66°C	149°C	204°C
SAE 1035	22	94	204	260
SAE 1040	94	204	260	288

Cuando se requiere, poscalentamiento (relevado de esfuerzos), después de efectuada la soldadura, ayuda también a reducir las zonas duras producidas por la soldadura. La temperatura usual de relevado de esfuerzos es de 593 a 649°C. Es práctica común mantener el acero durante una hora a esta temperatura por cada pulgada (o fracción de pulgada) de espesor hasta un máximo de 8 horas.

Además el precalentamiento tiene otras ventajas: seca cualquier humedad; quema toda clase de grasas y convierte en cenizas cualquier otra sustancia y aumenta la velocidad del trabajo.

[9,13,14]

La lista siguiente es una guía de los factores que reducen la dureza:

1. Contenido de bajo carbono y bajas aleaciones en el metal base.
2. Enfriamiento lento después de la operación de soldadura.

3. Calentamiento al ejecutar la soldadura y mantenimiento del calor durante la soldadura.
4. Cordón grueso a baja velocidad en la primera capa.
5. Alta tensión en la corriente eléctrica y baja velocidad.
6. Baja temperatura en la fuente abastecedora.
7. Depósitos de un solo cordón para cada capa.

La dureza se aumenta por:

1. Por contenido de alto carbono y alta aleación en el metal base.
2. Pieza de trabajo fría al comenzar la operación de soldar sin previa aplicación de otro calor adicional.
3. Enfriamiento rápido después de soldar.
4. Cordones muy delgados en la primera capa.
5. Baja tensión en la corriente y viaje rápido.
6. Alta temperatura en la fuente de abastecimiento.
7. Demasiado calor en los cambios (arco sumergido, arco protegido, etc.).
8. Depósito de demasiados cordones (capas). [9,11,13,14]

## **II.4 SOLDADURA DE LOS ACEROS DE ALTO CONTENIDO DE CARBONO.**

Los aceros de alto carbono no son tan dúctiles como los de bajo carbono las dificultades probables al soldar pueden ser:

1. Agrietamiento del metal de la soldadura.
2. Perforaciones en el metal de la soldadura.
3. Dureza excesiva del metal base.
4. Agrietamiento del metal base.
4. Excesiva suavidad del metal.

Para reducir al mínimo la ocurrencia de estos problemas. Siga las reglas que se mencionan a continuación.

- Regla 1. Prepare cuidadosamente la junta de soldadura mediante cizalleo, maquinado, esmerilado, rebabeado, etc. Elimine todas las irregularidades, tales como melladuras, grietas y ranuras que pudieran actuar como elevadores de esfuerzo y asegúrese de que queden eliminadas en la junta y en la zona adyacente toda humedad y toda presencia de material extraño.
- Regla 2. Evite la penetración excesiva y mantenga el metal de la soldadura con el contenido más bajo de carbono. El depósito tendrá entonces la máxima ductilidad; de lo contrario se producirá sobreesfuerzos en el acero y éste fallará (por ruptura o agrietamiento).
- Regla 3. Avance con la lentitud suficiente para depositar un cordón o capa substancial de metal de soldadura, pero en las

soldaduras anchas recurra al ondeado, en vez de hacer cordones rectos paralelos. Evite las secciones transversales delgadas de soldadura. Un cordón delgado, cóncavo, de filete, aplicado entre 2 miembros rígidos tienen toda la posibilidad de agrietarse. Las grietas de cráter, conocidas también como grietas calientes, se originan en el cráter cóncavo que deja a menuda el soldador en el extremo de un cordón de soldadura. Al soldar en una ranura, o al hacer una soldadura de filete, el primer cordón, o cordón de fondo, es el más susceptible a agrietarse.

- Regla 4. Las juntas que se hacen en aceros con contenido de 1.0% o mayor de carbono deben llevar un recubrimiento superficial de acero inoxidable austenítico.

Después de terminar de terminar la soldadura, el procedimiento usual consiste en relevar de esfuerzos la parte soldada, como se describe bajo aceros con contenido medio de carbono. [11,13,21]

## **II.5 LA SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE.**

Existen más tipos de metales base de acero inoxidable que de electrodos inoxidables para soldar. Por consiguiente, antes de escoger un electrodo para un trabajo específico, es muy importante conocer ciertos hechos pertinentes acerca del metal base que se va a soldar.

Desde el punto de vista metalúrgico los aceros inoxidable están agrupados dentro de tres clases básicas, de acuerdo con su microestructura: martensíticos, ferríticos y Austeníticos.

Dado que cada una de sus características metalúrgicas es diferente, cada uno de ellos requiere diferentes materiales y procedimientos de soldadura, pero para la realización del presente trabajo no se llevara a cabo soldadura en los aceros inoxidable martensíticos y ferríticos, por lo cual sólo hablaremos de la forma en que se lleva a cabo una soldadura para aceros inoxidable austeníticos.

### **II.5.1. SOLDADURA PARA UN ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO.**

El acero inoxidable austenítico se distingue de los otros aceros en su respuesta a la alta temperatura y en que tiene mucha menor conductividad térmica que el acero al carbono, originando con esto que las áreas soldadas tarden más en enfriarse; además su expansión térmica es mucho mayor que la del acero al carbono, por lo que sí esta diferencia no se toma en cuenta, el calor del arco puede deformar la pieza de acero inoxidable que se esté soldando. La resistencia eléctrica del acero austenítico es varias veces mayor

que la del acero al carbono, por lo que deben utilizarse menores niveles de corriente de soldar con los electrodos de acero inoxidable, a fin de evitar el sobrecalentamiento de los mismos. El calor del arco causa precipitación de carburos. Cuando el acero inoxidable austenítico contiene más de 0.02%C y se calienta entre 430° y 815°C, el carbono en exceso de dicho 0.02%, emigra hacia los granos austeníticos de cromo y se combina con éste para formar carburos de cromo, los cuales ofrecen poca resistencia a la corrosión; por lo que se puede establecer que esta corrosión intergranular (resultado por la precipitación del carbono y la formación de carburos de cromo), es la causa de que se presenten fallas prematuras a lo largo del cordón de soldadura. [4,6,10.21,29]

### **II.5.1.1 CUAL ES EL EFECTO DE LA FERRITA**

La mayoría de los depósitos de soldadura en los inoxidables austeníticos contienen del 3% al 20% de ferrita, que inhibe las grietas por calor.

El diagrama Schaeffler (figura II.3) es una forma conveniente para estimar el contenido de ferrita en los depósitos de soldadura, si se conoce la composición. Los fabricantes la usan como una guía para establecer el balance adecuado de los elementos de aleación

para aumentar o controlar el contenido de ferrita en la soldadura. Algunos de los elementos de la aleación son austenitizantes y otros ferritizantes y el diagrama es un trazo que compara uno con otro. Dado que no todos los elementos tienen la misma influencia, se aplica un factor a cada uno y el trazo se convierte en el equivalente de níquel (austenitizante) contra el equivalente de cromo (ferritizante). Las técnicas de soldadura pueden jugar un papel importante en la obtención de un contenido uniforme de ferrita en un cordón. Mientras el 10% de ferrita puede ser considerado normal para un cordón en particular, un arco demasiado largo al principio o al final del cordón puede resultar en 0% en esos puntos, haciéndolos vulnerables a las grietas. No obstante no sólo el cromo y el níquel influyen sino también el carbono, manganeso, molibdeno, silicio y columbio.

Shaeffler tomó en cuenta las influencias ferríticas y austeníticas de estos elementos y construyó el diagrama de su nombre (ver figura). En este diagrama en las ordenadas está el equivalente de níquel y en la abscisas el equivalente de cromo. Estos equivalentes se calculan por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{Ec. Ni} &= \% \text{ Ni} + 30 (\% \text{ C}) + 0.5 (\% \text{ Mn}) \dots\dots\dots 1 \\ \text{Ec. Cr} &= \% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 1.5 (\% \text{ Si}) + 0.5 (\% \text{ Cb}) \dots\dots 2 \end{aligned}$$

La composición del metal depositado de los equivalentes de estos se llevan al diagrama. Tomando como ejemplo los materiales de aporte, con la siguiente composición:

Elemento	308 ELC	312
C	0.03%	0.12%
Mn	1.6%	1.7%
Si	0.40%	0.50%
Cr	19.1%	29.0%
Ni	9.7%	9.5%
Mo	0.75%	0.75%
S	0.03%	0.03%
P	0.04%	0.04%

Se tiene según las Ecuaciones 1 y 2 los equivalentes siguientes:

Para el E-308 ELC

$$\text{Ec. Ni} = 9.7 + (30 \times 0.03) + (0.5 \times 1.6) = 10.68$$

$$\text{Ec. Cr} = 19.1 + 0.75 + (1.5 \times 0.40) = 20.45$$

que llevados al diagrama, indican una estructura de casi 8% de ferrita.

Y para el E-312

$$\text{Ec. Ni} = 9.5 + (30 \times 0.12) + (0.5 \times 1.7) = 13.95$$

$$\text{Ec. Cr} = 29.0 + 0.75 + (1.5 \times 0.50) = 30.5$$

que llevados al diagrama, indican una estructura de casi 35% de ferrita.

**Procedimiento sugerido de soldadura para aceros  
inoxidables de la serie 300.**

Ninguno de los aceros inoxidables de la serie 300 deben ser precalentados ni permitir que la temperatura entre paso suba más allá de los 600°C. El calor se puede evitar al soldar, siguiendo estos procedimientos conocidos de largo tiempo y ampliamente probados:

- 1.- No se calienten los metales base del acero inoxidable de la serie 300.
- 2.- Use electrodos de diámetro pequeño y un bajo amperaje, para mantener al mínimo la producción de calor.
- 3.- Mantenga un arco corto, los arcos largos queman el cromo y reducen la resistencia a la corrosión y la resistencia a las grietas.
- 4.- Antes de romper el arco, llene los cráteres al extremo de los cordones, los cráteres que no se llenan, producen grietas. Este paso es particularmente importante cuando se sueldan los tipos 310, 330 y 347.
- 5.- Enfriar el cordón de soldadura inmediatamente después de depositarlo. [4,6,9,10,11,12,14,15,16,21,22,29]

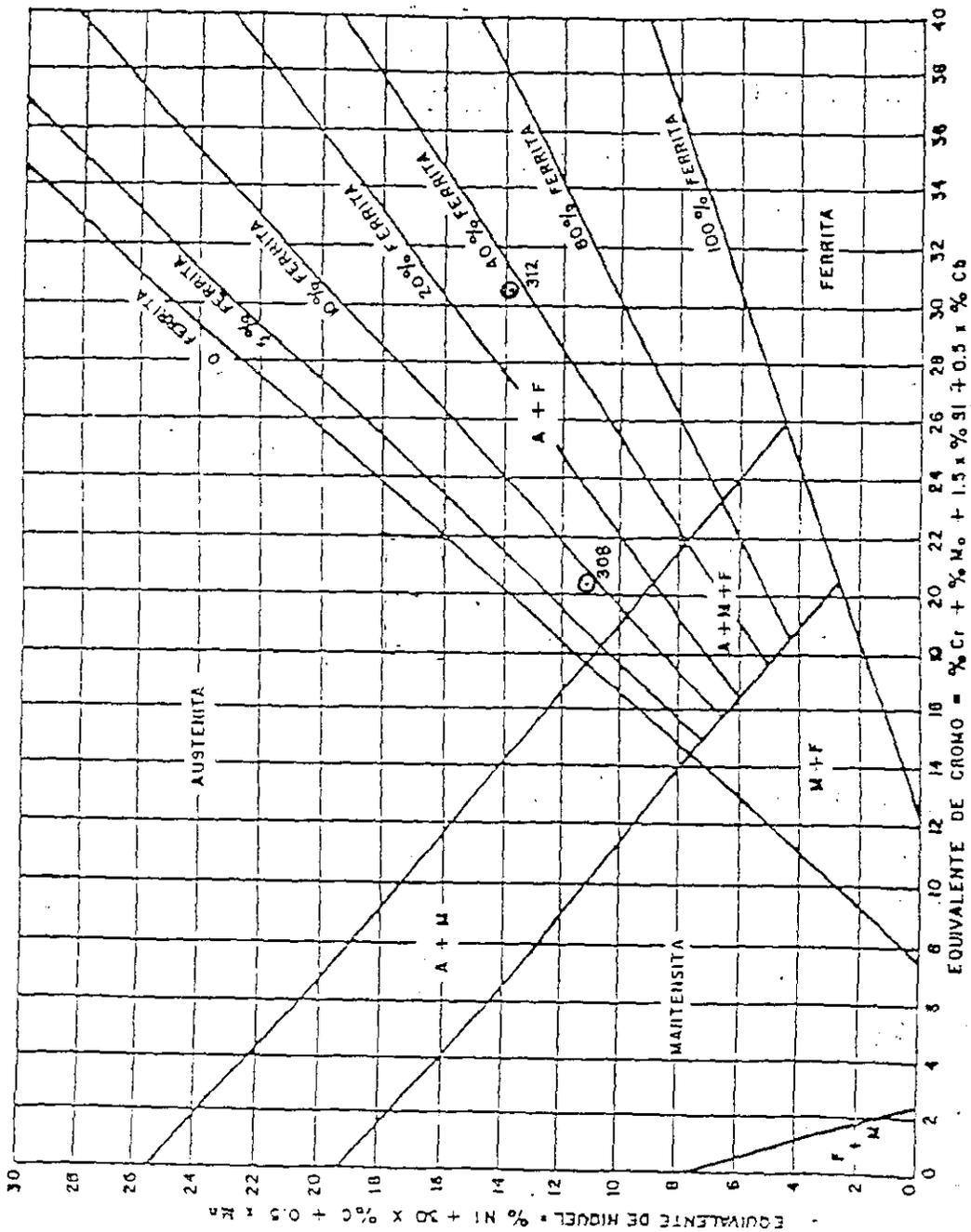


Figura II.3. Diagrama de SHAEFFLER.

## **CAPITULO III**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

#### **III.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Sabemos que existe una gran clasificación de aceros y que cada uno tiene una estructura diferente. De igual manera, cada acero requiere cierto procedimiento para soldarlo, y dada la diferencia, es importante saber que sucede en las fases metalúrgicas, cuando se necesita soldar aceros disímiles.

En ello sabemos que cualquier proceso de soldadura producirá siempre una zona afectada por el calor por pequeña que ésta sea y en ella habrá el riesgo de generar zonas de alta fragilidad en los aceros que estemos manejando; ya que cualquier acero, por propia naturaleza alótrica del fierro, sufrirá transformaciones estructurales y por consiguiente, cambios dimensionales y modificaciones de propiedades mecánicas al ser sometidos a los ciclos térmicos de la soldadura.

Es por eso, que se escogieron 2 tipos diferentes de aceros para llevar a cabo esta investigación y ver la forma más apropiada para conseguir una soldadura que muestre una continuidad en las fases (solidificación homogénea).

## **III.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

### **III.2.1. SELECCIÓN DE ACEROS PARA LA INVESTIGACIÓN.**

Para llevar a cabo ésta investigación, se utilizaron 2 tipos de aceros, estos son: Acero de Bajo Contenido de Carbono (1018) y un Acero Inoxidable Austenítico (304).

Se escogieron estos dos tipos de aceros, con estructuras, usos, propiedades, y características de soldadura diferente, en donde la diferencia hace importante la realización de esta investigación; además que son materiales comúnmente usados en su área.

Las composiciones químicas de cada uno de ellos se presentan en la siguiente tabla.

## ANALISIS QUIMICO DE LOS ACEROS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACION

	<i>ACERO 1018</i>	<i>ACERO INOX. 304</i>
CARBONO (%)	0.18	0.08
SILICIO (%)	0.25	1.00
MANGANESO (%)	0.75	2.00
CROMO (%)		19.00
NIQUEL (%)		9.00
FOSFORO (%)	0.040	0.035
AZUFRE (%)	0.050	0.040

### III.2.2. PREPARACION DE PROBETAS.

Para cada una de los aceros seleccionados, se maquinaron probetas. Cada una de las probetas fue rectificadas a una dimensión final de 1/8" de espesor por 2" de altura por 1 1/8" de longitud. El maquinado de las probetas se hace de esta manera para tener suficiente área para el depósito del cordón de soldadura y tener mayor superficie de contacto sobre las caras laterales de la probeta.

### **III.2.3. APLICACION DEL CORDON DE SOLDADURA.**

Teniendo cada probeta a una medida igual, se le aplica un cordón a cada probeta, esto quiere decir que se realizó la soldadura de arco eléctrico manualmente, para así formar cada uno de nuestros siguientes casos:

**1 .- Material de aporte ( Electrodo 6013 )**

**Materiales base \* Acero Bajo Carbono 1018.**

**Contra un Acero Inoxidable Austenítico 304.**

**Procedimiento – Soldadura para Acero de Bajo contenido de Carbono.**

**2 .- Material de aporte ( Electrodo 6013 )**

**Materiales base \* Acero Bajo Carbono 1018.**

**Contra un Acero Inoxidable Austenítico 304.**

**Procedimiento – Soldadura para Acero Inoxidable Austenítico.**

**3 .- Material de aporte ( Electrodo 308 )**

**Materiales base \* Acero Bajo Carbono 1018.**

**Contra un Acero Inoxidable Austenítico 304.**

**Procedimiento – Soldadura para Acero de Bajo contenido de Carbono.**

**4 .- Material de aporte ( Electrodo 308 )**

**Materiales base \* Acero Bajo Carbono 1018.**

**Contra un Acero Inoxidable Austenítico 304.**

**Procedimiento – Soldadura para Acero Inoxidable  
Austenítico**

**5 .- Material de aporte ( Electrodo 312 )**

**Materiales base \* Acero Bajo Carbono 1018.**

**Contra un Acero Inoxidable Austenítico 304.**

**Procedimiento – Soldadura para Acero de Bajo contenido  
de Carbono.**

**6 .- Material de aporte ( Electrodo 312 )**

**Materiales base \* Acero Bajo Carbono 1018.**

**Contra un Acero Inoxidable Austenítico 304.**

**Procedimiento – Soldadura para Acero Inoxidable  
Austenítico**

Así, las condiciones bajo las que se aplicaron todos los cordones de soldadura fueron las siguientes:

- Corriente directa polaridad directa.
- 75 amperes.

- Diámetro de cada uno de los tres electrodos es 2.50mm. (3/32").

La composición de cada uno de los electrodos (material de aporte) de acuerdo a la Clasificación de la AWS, se muestra en la siguiente tabla:

	RESIST.TENSION	ANALISIS QUIMICO							
	LIMIT. ELASTICO	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
	ELONGACION								
6013 (E6013) A5.1	RT=74,000LB/Pul <sup>2</sup> LE=63,500LB/Pul <sup>2</sup> E = 22%	0.10							
(308 ELC) E308-16	RT=90,000LB/Pul <sup>2</sup> E = 45%	0.03	1.6	0.40	19.1	9.7	0.75	0.03	0.04
312 (E312-16)	RT=115,000LB/Pul <sup>2</sup> E = 23%	0.12	1.7	0.50	29.0	9.5	0.75	0.03	0.04

Considerando todo esto, se propone que la máxima seguridad en la unión soldada se tendrán si se acepta el siguiente punto:

- La soldadura es un tratamiento térmico incontrolado de alta velocidad, que puede producir solidificaciones inhomogéneas, segregaciones, solubilización y/o precipitación de carburos, así como formación, destrucción

y/o retención de fases metalográficas.

### **III.2.4 ANALISIS METALOGRAFICO.**

Una vez terminada cada una de las pruebas (6 casos), enseguida se hace un corte transversal del cordón de soldadura, en cada una de ellas y posteriormente se atacan.

El reactivo para atacar fue diferente para cada superficie. Quiere decir que para atacar el acero inoxidable, se utilizó  $\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$  y para atacar el acero al carbono, se utilizó el Nital al 2%.

## **CAPITULO IV. PLANTEAMIENTO DE EXPERIMENTOS.**

### **IV.1 DESARROLLO DE EXPERIMENTOS.**

El objetivo de esta investigación es ver que estructuras se formaron en cada uno de los materiales base y materiales de aporte resultantes en la zona afectada por el calor. Para ello, se realizó el procedimiento de soldadura el cual fue mencionado anteriormente para cada uno de los casos propuestos.

El análisis metalográfico hecho, nos mostró las estructuras obtenidas en la ZAC, estas se observaron a diferentes aumentos. Estas son mostradas a continuación:



Figura 4. 1 .- Metalografía de la ZAC del caso 1, tomada a 400X. El reactivo utilizado en la parte del electrodo 6013 (material de aporte) y el acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) fue  $\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$ .

En la parte superior se observa el acero 1018 y en la parte inferior el E-6013.

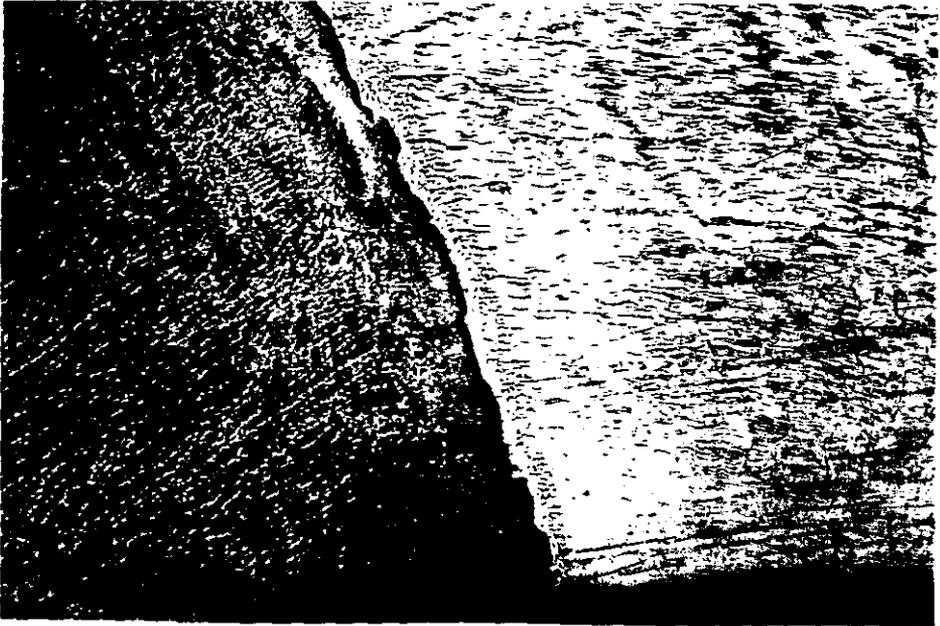


Figura 4. 2 .- Metalografía de la ZAC del caso 1, tomada a 50X. El reactivo utilizado en la parte del electrodo 6013 (material de aporte) y el acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) fue  $FeCl_3-HCl$ .

En la parte izquierda se observa el E-6013 y a la derecha el acero 304.



Figura 4. 3 .- Metalografía de la ZAC del caso 2, tomada a 100X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 308 (material de aporte) fue  $\text{FeCl}_3+\text{HCl}$ .

En la parte izquierda se observa el E-308 y a la derecha el acero 1018.

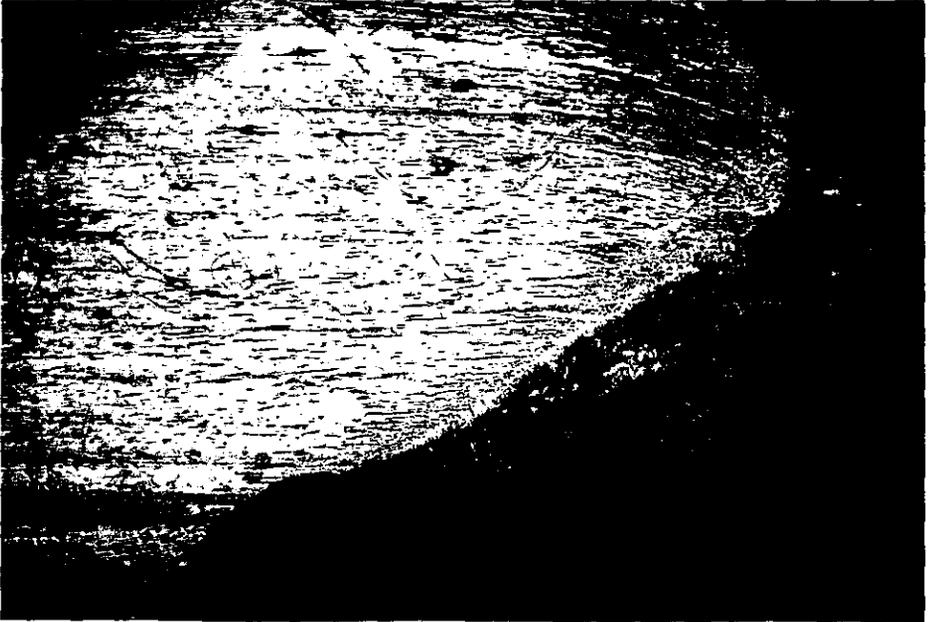


Figura 4. 4 .- Metalografía de la ZAC del caso 2, tomada a 50X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 308 (material de aporte) fue  $\text{FeCl}_3\text{-HCl}$ .

En la parte izquierda se observa el acero 304 y a la derecha el E-308.

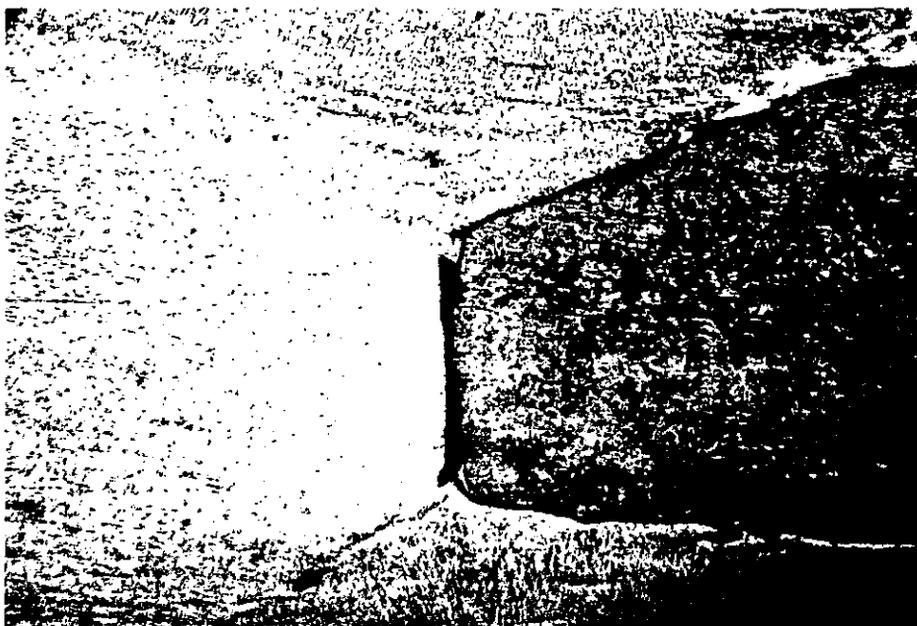


Figura 4. 5 .- Metalografía de la ZAC del caso 3, tomada a 50X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 312 (material de aporte) fue  $FeCl_3+HCl$ .

En la parte izquierda se observa el acero 304, al centro arriba y abajo, se observa el E-312 y a la derecha el acero 1018.



Figura 4. 6 - Metalografía de la ZAC del caso 3, tomada a 100X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 312 (material de aporte) fue  $FeCl_3-HCl$ .

En la parte izquierda se observa el acero 304, en la derecha el acero 1018 y en la parte superior entre los dos aceros se encuentra el E-312.



Figura 4. 7 .- Metalografía de la ZAC del caso 4, tomada a 100X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) y electrodo 6013 (material de aporte) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) fue  $FeCl_3-HCl$ .

En la parte izquierda se observa el acero 304, en la derecha el acero 1018 y en la parte superior entre los dos aceros, se encuentra el E-6013.

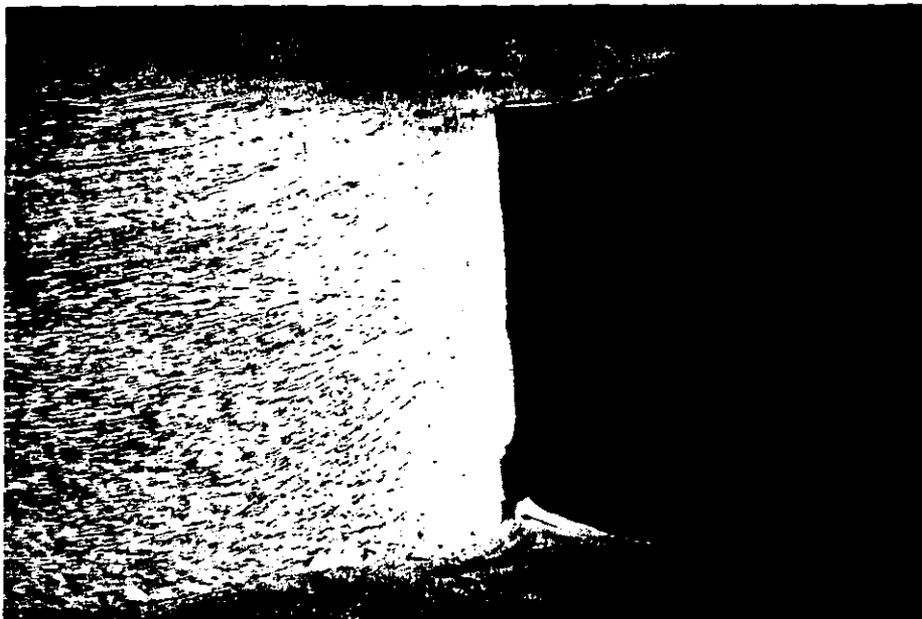


Figura 4. 8 .- Metalografía de la ZAC del caso 5. tomada a 35X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 308 (material de aporte) fue  $FeCl_3+HCl$ .

En la parte izquierda se observa el acero 304, a la derecha se observa el acero 1018 y arriba y abajo entre ellos, se observa el E-308.

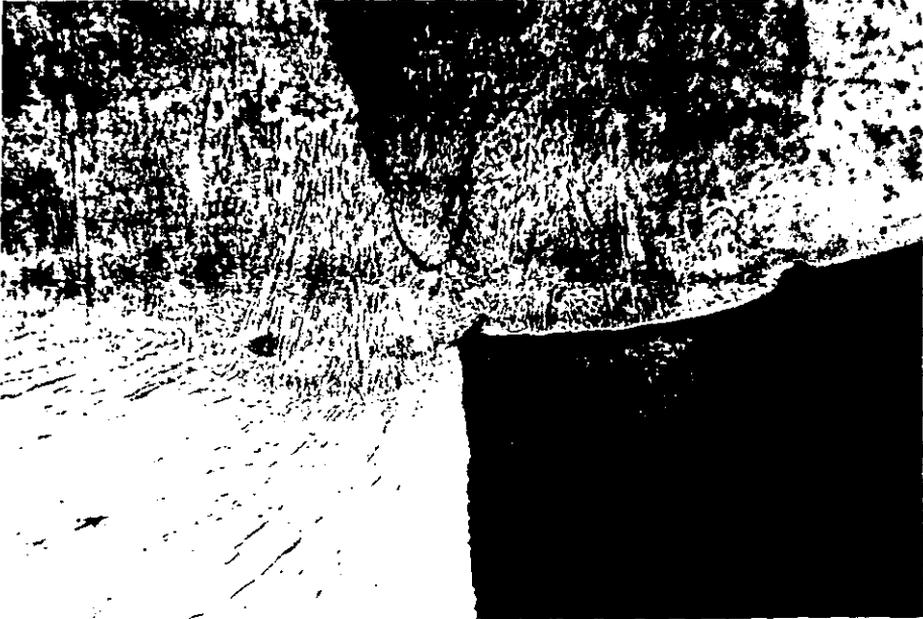


Figura 4. 9.- Metalografía de la ZAC del caso 5, tomada a 100X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 308 (material de aporte) fue  $\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$ .

En la parte izquierda se observa el acero 304, en la parte derecha se observa el acero 1018 y en la parte superior de los dos aceros, se encuentra el E-308.



Figura 4. 10. - Metalografía de la ZAC del caso 5, tomada a 100X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 308 (material de aporte) fue  $\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$ .

En la parte izquierda se observa el acero 304, en la parte derecha se observa el acero 1018 y en la parte inferior de los dos aceros, se encuentra el E-308.



Figura 4. 11 .- Metalografía de la ZAC del caso 5, tomada a 400X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 308 (material de aporte) fue  $\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$ .

En la parte izquierda se observa el acero 304, en la parte derecha se observa el acero 1018 y en la parte superior de los dos aceros, se encuentra el E-308.

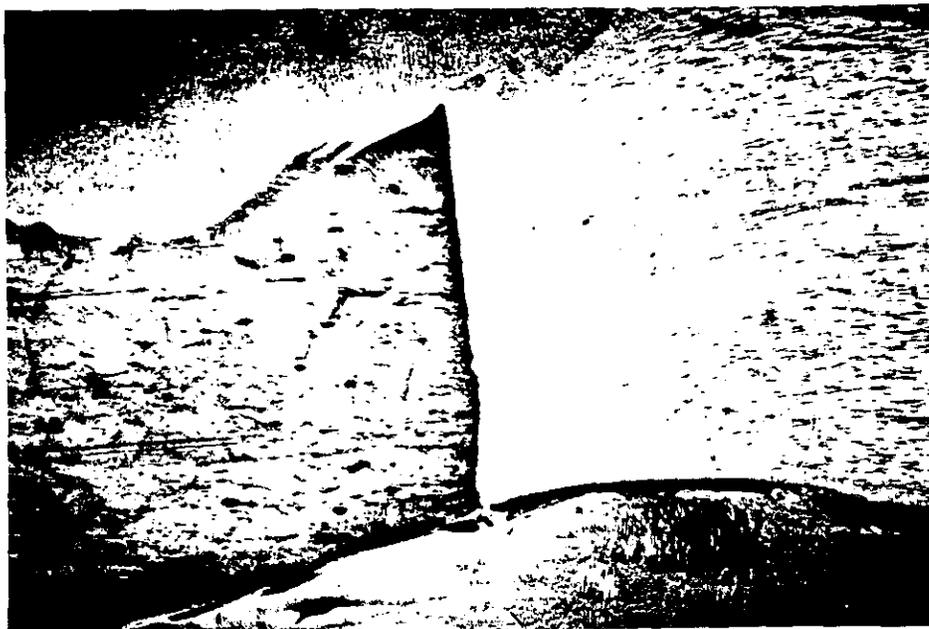


Figura 4. 12 .- Metalografía de la ZAC del caso 6, tomada a 50X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 312 (material de aporte) fue  $\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$ .

En la parte izquierda se observa el acero 1018, a la derecha se observa el acero 304 y entre ellos arriba y abajo, se observa el E-312.



Figura 4. 13. - Metalografía de la ZAC del caso 6, tomada a 100X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2°. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 312 (material de aporte) fue  $\text{FeCl}_3\text{-HCl}$ .

*En la parte superior se observa el E-312 y en la parte inferior, se observa el acero 304.*



Figura 4. 14 .- Metalografía de la ZAC del caso 6, tomada a 100X. El reactivo utilizado en la parte del acero 1018 (metal base) fue Nital al 2%. El reactivo utilizado en la parte del acero inoxidable 304 (metal base) y del electrodo 312 (material de aporte) fue  $\text{FeCl}_3+\text{HCl}$ .

En la parte superior se observa el E-312 y a en la parte inferior, se observa el acero 1018.

## **IV.2 ANALISIS Y DISCUSIONES**

En este punto, primero se describen las estructuras metalográficas observadas en cada uno de los diferentes casos (ver tabla IV.1). Posteriormente se discutirá y analizarán cada uno de los diferentes casos.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

<b>CASOS</b>	<b>MATERIAL</b>				
	<b>Acero 1018 (material base)</b>	<b>Acero Inoxidable 304 (material base)</b>	<b>Electrodo 6013 (material de aporte)</b>	<b>Electrodo 308 (material de aporte)</b>	<b>Electrodo 312 (material de aporte)</b>
<b>CASO 1</b>	Ferrita deformada + Austenita	Austenita	Ferrita		
<b>CASO 2</b>	Ferrita + Austenita	Austenita		Austenita + Ferrita	
<b>CASO 3</b>	Ferrita + Austenita	Austenita			Austenita + Ferrita
<b>CASO 4</b>	Ferrita + Perlita	Austenita	Ferrita		
<b>CASO 5</b>	Ferrita + Perlita	Austenita		Austenita + Ferrita	
<b>CASO 6</b>	Ferrita + Perlita	Austenita			Austenita + Ferrita

Tabla - IV.1. Estructuras metalográficas observadas en los diferentes casos.

## **CASO 1**

### **Análisis:**

- En el acero 1018 (metal base) se observa un grano ferrítico fino (deformado) y una fase que parece haber retenido austenita en los límites de grano.
- La estructura del electrodo E-6013 (material de aporte), muestra una estructura ferrítica ramificada, en dirección a la superficie del material base (acero 1018 y acero inoxidable 304), que es característica del fundente, ya que la solidificación se lleva a cabo del exterior hacia el interior.
- En el acero inoxidable 304 (metal base), se observa una estructura austenítica.

### **Discusión:**

En la zona de contacto que, de acuerdo a la literatura de algunos autores, se le llama línea de fusión o interfase, que en este caso se encuentra entre el acero inoxidable 304 y el E-6013, donde se observa una línea de color negro y una franja blanca. (13,15 y 25)

Aquí sabemos que, la naturaleza de los aceros austeníticos, cuando se calientan y se enfrían lentamente, se experimenta una

migración de cromo, lo que baja su resistencia a la corrosión. Esta se debe a la precipitación en los bordes de los granos, de películas muy finas de carburos, ricos en cromo, que tienen hasta 90% de este metal. Como el cromo procede de la capa del metal inmediatamente adyacente al contorno de los granos, el metal puede sufrir ahí una seria baja en su resistencia a la corrosión y fragilidad.

Si bien, se muestra una precipitación en el 304, la interfase entre el 304 y el E-6013 muestra una emigración de carbono, proveniente del material de aporte (E-6013), hacia el acero inoxidable 304.

Por otro lado, en la zona de contacto (interfase) entre el material de aporte E-6013 y el acero 1018 se tiene un caso diferente al ocurrido entre el E-6013 y el acero inoxidable 304. Aquí no ocurrió una precipitación aparentemente de carbono, de un material a otro. Ambos materiales contienen estructuras similares. De un lado se observa ferrita, esto es en lo que respecta al E-6013 y del otro lado, se observa una estructura ferrítica y una fase que parece haber retenido austenita. Y la interfase entre el E-6013 y el acero 1018 es de ferrita.

Por último, si entendemos que, las alteraciones que ocurren en la estructura de la zona afectada por el calor en el material base adyacente al metal fundido, se encuentra que el metal base se calienta hasta una temperatura elevada y se forman granos gruesos. Entonces, el grano es más fino mientras más alejado este éste, de la zona de contacto, entre los dos materiales; ya que el tiempo de calentamiento no es lo suficientemente largo para que se produzca entrecrecimiento entre los granos.

### **Conclusiones:**

La consecuencia muestra una diferencia en estructuras, así como en su composición química entre el acero inoxidable 304 y E-6013, mostrando problemas en la zona de contacto, sin embargo en la zona de contacto entre el E-6013 y el acero 1018, muestra una *soldadura satisfactoria, en donde las fases presentes son ferrita + austenita a ferrita*. Desde luego hay diferencias, pero son pequeñas.

Es por eso que, una soldadura de aceros disímiles utilizando el procedimiento descrito, utilizando el material de aporte propuesto en esta investigación, *no es recomendable, ya que la soldadura de acuerdo a la literatura de algunos autores, no lograría soportar esfuerzos y se debilitaría rápidamente, lo que acabaría en romperse la soldadura.* (4,11,13,14,15 y 18)

## **CASO 2.**

### **Análisis:**

- En la zona del E-308, se observa ferrita (áreas negras) en una matriz austenítica.
- En la zona del acero inoxidable 304, se observa una estructura de austenita equiaxial.
- Con respecto al acero 1018, en este se puede distinguir un grano ferrítico fino (deformado) y una fase que parece haber retenido austenita en los límites de grano.

### **Discusión:**

La estructura del electrodo E-308 muestra una ferrita en una matriz austenítica ramificada, en dirección a la superficie del material base (acero 1018 y acero inoxidable 304), la cual es característica del fundente.

En la zona de contacto (interfase), entre el acero 1018 y E-308, se observa una línea de color negro. Esto indica una emigración de carbono, proveniente del acero al carbono (en este es el 1018) hacia el electrodo inoxidable, E-308.

Del otro lado, en la zona de contacto entre el E-308 y el acero inoxidable 304, se tiene un caso diferente al ocurrido entre el E-308 y el acero 1018. No ocurrió emigración de carbono de un material a otro; ambos materiales son inoxidables, además de acuerdo a la literatura de algunos autores, es recomendable soldar un acero inoxidable 304 utilizando un E-308, esto es debido a su composición química. (21)

¿Por que? – De acuerdo a la literatura de algunos autores (15 y 16), un acero inoxidable 304 no puede soldarse con un material de aporte, con un porcentaje no mayor del 0.08%C. Si buscamos el porcentaje de carbono en el E-308 este es de 0.03% (E308 ELC).

Sin embargo, ambos materiales inoxidables sufrieron precipitación en los límites de grano, debido al enfriamiento lento que sufrió la soldadura.

### **Conclusiones:**

En este caso se llevo a cabo la soldadura sin precalentamiento ni poscalentamiento. En la literatura algunos autores señalan la utilización de E-308, para llevar a cabo la soldadura de aceros disímiles, en este caso la soldadura entre 304 y E-308 muestra de un lado austenita y austenita + ferrita, pero en cambio en la soldadura en 1018 con E-308, desarrollado por el proceso de

soldadura para este caso, trajo consecuencias, descritas anteriormente, observando de igual manera las diferencias entre fases en ambos materiales, es decir, se observa de un lado austenita + ferrita (E-308) y del otro lado ferrita + austenita (acero 1018) y la composición química de ambos materiales es también diferente. (9,11,13,18,y 25)

Entonces, de acuerdo a los resultados, un procedimiento de soldadura llevada a cabo de este manera, no resulta satisfactoria la aplicación de un E-308 sobre un acero inoxidable 304 y un acero 1018.

Es cierto que, algunos autores señalan la utilización de un E-308 para soldar un acero 304 y aceros de bajo carbono, pero no deja de inquietarnos los resultados provenientes de esta investigación, sin embargo cabe señalar que, la soldadura se llevó a cabo haciendo caso omiso, al realizar una soldadura con acero inoxidable de la manera correcta (*enfriar inmediatamente un acero inoxidable, después de haber sido soldado*). (18,21 y 25)

Por último, la aparición de la precipitación, emigración de carbono y diferencias en las estructuras de las fases entre un metal y otro, no complace a la definición de la soldadura.

### **CASO 3**

#### **Análisis:**

- En el acero 1018 (metal base) se observa un grano ferrítico fino (deformado) y una fase que parece haber retenido austenita en los límites de grano.
- En el acero inoxidable 304 (metal base), se observa una estructura austenítica.
- En la zona del E-312, se observa ferrita (áreas negras) en una matriz austenítica.

#### **Discusión:**

La estructura del electrodo E-312 muestra una ferrita en una matriz austenítica ramificada, en dirección a la superficie del material base (acero 1018 y acero inoxidable 304), la cual es característica del fundente.

En la zona de contacto (interfase), entre el acero 1018 y E-312, se observa una línea de color negro. Esto indica una emigración de carbono, proveniente del acero al carbono (en este caso es el 1018) hacia el electrodo inoxidable, E-312.

Ahora bien, en la interfase entre el E-312 y el acero inoxidable 304, se observa un caso diferente al ocurrido entre el E-312 y el acero 1018.

Se observa una precipitación de carbono en los límites de grano, en la zona del acero inoxidable 304. Al igual en la interfase entre E-312 y el acero inoxidable 304 hubo una precipitación de carbono en los límites de grano.

### **Conclusiones:**

Es verdad que se observa una precipitación de carbono en los límites de grano en la interfase entre el acero inoxidable 304 y el E-312; recordemos que esto no ocurrió en la interfase entre el E-308 y 304 (caso 2), ya que recordemos la recomendación para soldar un acero inoxidable 304:

Un acero inoxidable 304 (metal base), no puede soldarse con un material de aporte, con un porcentaje no mayor del 0.08%C, que de lo contrario, el acero inoxidable 304 sufrirá una precipitación proveniente del otro acero, además de la propiedad contra la corrosión, disminuirá en gran medida. El porcentaje de carbono en el E-308 (0.03%) y el del E-312 (0.12%)

## **CASO 4**

### **Análisis:**

- En la zona del acero 304, se observa una estructura austenítica.
- La estructura del electrodo E-6013 (material de aporte), muestra una estructura ferrítica ramificada, en dirección a la superficie del material base (acero 1018 y acero inoxidable 304), que es característica del fundente, ya que la solidificación se lleva a cabo del exterior hacia el interior.
- En el acero 1018 (metal base), se observa un grano ferrítico y una fase (oscura) de perlita en los límites de grano.

### **Discusión:**

En la zona de contacto (interfase) entre el acero inoxidable 304 y el electrodo E-6013, se observa en diferentes zonas la precipitación de carburo, proveniente del electrodo para aceros al carbono, E-6013.

Es cierto, que se realizó la soldadura, utilizando un electrodo E-6013 sobre un acero inoxidable 304 y un acero 1018, pero la precipitación se presentó en menor proporción, ya que recordemos el procedimiento recomendado como medida de precaución para

soldar aceros inoxidable. De igual manera, de acuerdo a la literatura, un acero inoxidable 304 se puede soldar con otro metal, con la condición de que el otro metal o material de aporte, contenga abajo del 0.08%C. (18,21,29)

Si el E-6013 tiene 0.10%, el 304 no puede trabajar con este tipo de electrodo y la precipitación se hizo presente, además la propiedad en contra de la corrosión del acero inoxidable, disminuirá notablemente.

Ahora bien, es visible la grieta que se observa en medio del cordón de soldadura. Este material (E-6013), es de bajo contenido de carbono. El procedimiento con el que fue llevado a cabo, fue sin precalentamiento ni poscalentamiento, pero a diferencia del caso 1, en el cual se dejó enfriar la soldadura al aire, no fue así, aquí después de haber terminado la soldadura, de inmediato se enfrió en agua toda la soldadura.

### **Conclusiones:**

Sabemos que la ferrita ayuda a un material (acero), ha ser menos susceptible al agrietamiento, dicho agrietamiento no puede ser provocado en este material, si observamos una estructura ferrítica. De acuerdo a la literatura (15 y 21), un acero de contenido bajo de carbono, sólo presentaría agrietamiento en caso de soldar

materiales con diferencias de expansión térmica, un enfriamiento rápido, ya que el hidrogeno, el cual se genera durante el proceso de soldadura, con un enfriamiento rápido, no dejara que este se difunda hacia fuera del material. (15 y 21)

Aunque en la literatura señalan E-6013 pertenece a los electrodos de bajo porcentaje de hidrogeno, lo cual ayuda a evitar la formación de grietas. (9,18 y 21)

Además, para no permitir un sobrecalentamiento del acero inoxidable, el voltaje se manejo lo más bajo posible, en tal situación el E-6013 es noble al usuario, es decir, a las variaciones en la manera de manipular el electrodo, además el E-6013 por su alto contenido de potasio en el recubrimiento, permite el uso de bajo voltaje, para abrir el circuito.

También un acero de bajo contenido de carbono, tiene una escala de solidificación relativamente estrecha y por consiguiente, el agrietamiento observado, se debe casi ciertamente a la formación de películas líquidas, especialmente de sulfuro de hierro, en los límites de grano del metal recién solidificado. Algunos autores, aconsejan la adición del manganeso, para prevenir el problema. (18 y 21)

Por último, la apariencia de la grieta en este caso, no se le puede adjudicarle a la presencia de alto contenido de carbono. Aunque algunos autores, indican que, una inadecuada penetración a la raíz de la junta, puede provocar agrietamiento. (11)

Al igual, grasa y otros hidrocarburos son fuentes de hidrogeno, porque ambos materiales (materiales base y de aporte) al calentarse, absorben hidrogeno a levadas temperaturas y algunos autores aconsejan para prevenir el estancamiento del hidrogeno en el metal, el uso del precalentamiento o poscalentamiento. (29)

En consecuencia, el procedimiento de soldadura llevado a cabo en este caso, de ninguna manera es aconsejable.

## **CASO 5.**

### **Análisis:**

- En la zona del E-308, se observa ferrita (áreas negras) en una matriz austenítica.
- En el acero 1018 (metal base), se observa un grano ferrítico y una fase (obscura) de perlita en los límites de grano.
- En la zona del acero 304, se observa una estructura austenítica.

### **Discusión:**

En la interfase entre el acero 1018 y el material de aporte (E-308), se observa una línea de color negro y una franja de color blanco; esto de acuerdo a lo descrito anteriormente, indica una emigración de carbono, proveniente del acero 1018 (metal base), hacia el electrodo inoxidable, E-308.

Ahora bien, en la interfase entre el E-308 y el acero inoxidable 304, se distingue una estructura dendrítica de ferrita en una matriz de austenita. La estructura dendrítica es la característica de un enfriamiento rápido. En ambos materiales no se presenta precipitación en los límites de grano, debido al procedimiento realizado. Y en la zona del material de aporte (E-308), se puede observar una grieta.

### **Conclusiones:**

Se aprecia la grieta formada en la zona del E-308. De acuerdo a la literatura, la susceptibilidad a la microfisura, es altamente dependiente en la microestructura del metal de aporte. (21)

Un metal de aporte con una microestructura austenítica – ferrítica, con FN8 (8% de ferrita), es considerablemente más susceptible a la microfisura, que un material de aporte de ferrita de más del 25% (FN25). De igual manera, la susceptibilidad a la

microfisura puede ser reducida por el incremento en el contenido de manganeso.

En efecto, la soldadura en este caso, se realizó sin precalentamiento ni poscalentamiento y la soldadura se enfrió inmediatamente luego de haberse realizado el procedimiento.

Algunos autores, suponen que al momento de soldar un acero de bajo contenido de carbono (1018), utilizando un material de aporte inoxidable, el acero al carbono es el que tendría que haberse fisurado. (11 y 29)

Pero la literatura describen que, para ayudar a la estabilidad dimensional de un E-308, este debe ser enfriado lentamente. (18)

## **CASO 6.**

### **Análisis:**

- En la zona del E-312, se observa ferrita (áreas negras) en una matriz austenítica.
- En el acero 1018 (metal base), se observa un grano ferrítico y una fase (obscura) de perlita en los límites de grano.

- En la zona del acero 304, se observa una estructura austenítica.

### **Discusión:**

En la interfase entre el acero 1018 y el material de aporte (E-312), se observa una línea de color negro y una franja de color blanco; esto de acuerdo a lo descrito anteriormente, indica una emigración de carbono, proveniente del acero 1018 (metal base), hacia el electrodo inoxidable, E-308. Pero esta es más delgada, que la observada en los casos 1,2,4 y 5.

Ahora bien, en la interfase entre el E-312 y el acero inoxidable 304, se distingue una estructura dendrítica de ferrita en una matriz de austenita. La estructura dendrítica es la característica de un enfriamiento rápido.

*En ambos materiales no se presenta precipitación en los límites de grano, debido al procedimiento realizado.*

### **Conclusiones:**

Se presentó una precipitación en la interfase entre el E-312 y el acero 1018, pero esta fue más delgada que la observada en los casos 1,2,4 y 5, ya que el electrodo E-312 ayuda a prevenir la formación continua de carburos en los límites de grano. (21)

Si recordamos la recomendación para evitar la precipitación de carbono en un acero inoxidable, este se debe enfriar de inmediato, luego de haber realizado el trabajo y en efecto, la soldadura se llevó a cabo sin precalentamiento ni poscalentamiento y la soldadura se enfrió inmediatamente en agua.

### **IV.3. CONCLUSIONES GENERALES.**

*En todos aquellos casos en donde ocurrió una precipitación en los límites de grano, no se tomo en cuenta la recomendación, que se debe de tomar al momento de soldar aceros inoxidable, es decir, no se enfrió la soldadura inmediatamente. Ya que recordemos, que, la lenta transmisión del calor en el acero inoxidable de la pieza de trabajo, unida a la lentitud del calentamiento que es característico de este proceso, produce un sobrecalentamiento en el metal base, antes de que ocurra la fusión, la cual da origen al crecimiento del grano y precipitación del carburo (en los límites de grano). Esto no ocurrió en aquellos casos, donde se enfrió la soldadura inmediatamente.*

*Pero además de presentarse la precipitación en los metales inoxidables, se presento en la interfase (entre un metal inoxidable y un metal al carbono), una emigración de carbono proveniente del metal al carbono, hacia el metal inoxidable; dicha emigración no se presentó en el caso 6, debido al procedimiento realizado en éste caso, es decir, aquí se enfrió la soldadura inmediatamente, lo que previno la precipitación de carbono en los límites de grano del acero inoxidable 304 y la emigración de carbono proveniente del acero 1018, hacia el material de aporte inoxidable E-312.*

De acuerdo a la literatura, el E-312 ayuda prevenir la formación continua de carburos en los límites de grano. (18 y 21)

Y con respecto al E-308, este de acuerdo a la literatura de algunos autores, es recomendado para soldar aceros inoxidable 304, aunque en esta investigación, este electrodo tuvo problemas, al presentar una grieta en el caso 5. (11,13,14 y 15)

En la literatura de algunos autores, señalan la propiedad que da el manganeso a la aleación, para contrarrestar las grietas. Si esto es cierto, el E-308 contiene 1.6%Mn y el E-312 contiene 1.7%Mn. (15 y 25)

Además como sabemos, un acero austenítico tiene un coeficiente de expansión térmico, mayor que el de un acero al carbono. La diferencia entre coeficientes de expansión térmica, puede generar agrietamiento.

En general el E-308, no se puede depositar sobre un acero de bajo contenido de carbono. Los depósitos del E-312 son usualmente aceptables; debido a que las soldaduras con E-312, son parcialmente "ferríticas" y de ahí la alta resistencia al microfisuramiento.

Algunos autores aconsejan la soldadura de aceros disímiles, utilizando un E-312 que un E-308 (aunque otros autores dicen que, ambos electrodos [6]), debido a su contenido de ferrita, es decir, el fin de la ferrita, es dar más ductilidad, esto contrarresta las deformaciones por el coeficiente de expansión térmico (esto es en aceros inoxidable austeníticos). Y de acuerdo al diagrama de Shaeffler, un E-308 es FN8 y un E-312 FN35. (18,21 y 25)

Por último, el factor más importante, para llevar a cabo un trabajo de soldadura, unión entre dos o más metales, esta debe presentar similitud en propiedades y estructuras; si esta condición se lleva a cabo, se dice que se esta realizando una soldadura conveniente.

Por lo tanto, la diferencia entre un metal y otro, con sus diferentes estructuras, trajo consecuencias descritas anteriormente; de ahí que, realizados los procedimientos en cada uno de los casos propuestos para esta investigación, sólo se recomienda, utilizar la técnica propuesta en el caso 6 y utilizando un material de aporte bifásico ("Austenítico – Ferrítico"), para llevarse a cabo la soldadura de aceros disímiles.

#### **IV.4 INVESTIGACIONES FUTURAS.**

- Investigar el comportamiento de 2 metales base inoxidable disímiles, para estudiar dilución.
- Realizar pruebas de microdurezas en la ZAC.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- 1] Altting Leo, Procesos para Ingeniería de Manufactura; México: Alfaomega,1990.
  
- 2] Albert G.Gay, "Physical Metallurgy for Engineers", Ed.Addison-Wesley., 1962.
  
- 3] Apraiz Barreiro "Aceros Especiales y Otras Aleaciones".4a edición, Edit. Dossat..Madrid,1971.
  
- 4] ARCALOY PLUS,"Stainless Steel Covered Electrodes",Alloy Rods Corp.Hanover,PA.03/14/1995.
  
- 5] Avner,S., "Introducción a la Metalurgia Física",Mc-GRAW-HILL,1988.
  
- 6] AW ELECTRODOS Y SOLDADURAS ESPECIALES "Electrodos de acero inoxidable" P:2-22s.
  
- 7] B.H.AMSTEAD, "Procesos de Manufactura" versión SI.2da Edición.,248-249.Editorial Continental, S.A de C.V, México 1982.
  
- 8] C.Bain,Edgar and Harold W.Paxton "Alloying Elements in Steel", Capter 3,ASM., 1966.

- 9] Craig Stinchcomb "Welding Technology Today, and Practices", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.
- 10] Doyle Lawrence, "Manufacturing Processes And Materials For Engineers"; Prentice-Hall, 1985.
- 11] Fernández Flores Guillermo, "SOLDADURA Y METALURGIA". Edit. Continental 5a. Edición., México, D.F., 1974.
- 12] Harry P. Moore and Donald R. Kibbey. "Manufacturing and Processes", John Wiley & Sons, Inc. a Wiley-Interscience Publication, Canada 1987.
- 13] Henry Horwitz, D.E. "Soldadura aplicaciones y práctica" Edit. Alfa Omega; México, D.F., 1990.
- 14] Instituto Mexicano del Petróleo (División de Tecnología de Materiales); "Principios Metalúrgicos de la Soldadura", Publicación No. 78HG/256A, DIVISION DE PROMOCION ACADEMICA.
- 15] J.F. Lancaster (Tratado de Soldadura). Edit. Tecnos, S.A., 1972.
- 16] J.W. Giachino/W. Weeks/G.S. Johnson, "Welding Technology" 2nd. Edition., American Technical Society (ATS), Chicago 1975.

- 17] Kenneth G. Budinski "Engineering Materials", cap. 2.9, 10 y 12; Third edition, Prentice-Hall, New Jersey. 1989.
- 18] The Lincoln Electric Company. The procedure handbook of Arc welding, 12 ed. Cleveland, OH: The Lincoln Electric Company (1973).
- 19] Metals Handbook, Desk Edition. Edited by Howard E. Boyer and Timothy L. Gall., ASM-American Society for Metals., Metals Park, Ohio, 1985.
- 20] METALS HANDBOOK, Volume 3, 9a. ed., pp 421-469, ASM, 1980.
- 21] Metals Handbook "Welding and Brazing", Volume 6, 8th. edition. American Society for Metal (ASM), Metals Park Ohio 1971.
- 22] Raymond A. Higgings "Ingeniería Metalúrgica", Tomo 1, México, D.F., 1963
- 23] Renwick, B.G, and Patchett, B.M. "Operating characteristics of the submerged arc process". Welding Journal 55(3):69s-75s; March 1976.
- 24] Roberts, G. y Cary, R., "Tools Steels", Caps. 2, 4, 5 y 6. 4a. ed., ASM, 1980.

- 25] Sindo Kou "Welding Metallurgy" by John Wiley & Sons.Inc. a Wiley-Interscience Publication,Canada 1987.
- 26] Tecnipress Ingenieros Ed. "Aceros Productos y Derivados", Tomo 1.,Editado por: Tecnipress Editorial, C.A.,Bilbao 1979.
- 27] WELDING HANDBOOK "Welding Technology",Vol.1;Eight Edition.,4.American Welding Society.Miami,Fl.,1989.
- 28] WELDING HANDBOOK "Welding Processes",Vol.2;Eight Edition.,110-124.American Welding Society.Miami,Fl.,1991.
- 29] W.J.Patton "The Science and Practice of Welding". Prentice-Hall,Inc.Englewood Cliffs,New Jersey,1967.
- 30] Ing. Zabala Inchaurrea Adrián. "ACEROS INOXIDABLES Y ACEROS RESISTENTES AL CALOR, Propiedades, transformaciones y normas". Edit. LIMUSA,S.A., México,D.F.,1981.