



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**EFFECTOS DE LA SOLDADURA ELÉCTRICA CON ELECTRODO REVESTIDO DE
NÍQUEL Y ACERO INOXIDABLE 308 EN UNA FUNDICIÓN GRIS Y ACERO
INOXIDABLE 304**

TESIS

**Para obtener el título de:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**Presenta:
HERNÁNDEZ JARILLO ISAAC IGNACIO**

**Asesor:
Dr. CURIEL REYNA HÉCTOR ENRIQUE**

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO A 20 DE JUNIO DE 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIAS

Dedico de manera especial este trabajo a mi familia, ya que fueron mi fuente de inspiración para salir adelante y por su apoyo incondicional para lograr concluir esta gran etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la UNAM por haberme permitido ser parte de ella, en particular a la FES CUAUTITLAN y a los docentes que me brindaron sus conocimientos y enseñanzas durante la formación académica y humanística de mi carrera profesional. A donde quiera vaya llevare siempre en alto el honor de haber sido estudiante de tan ilustre institución.

Al maestro en Ingeniería Noé Cortes Guerrero, por la ayuda que me brindo en la preparación de las muestras para esta investigación.

Al maestro en Ingeniería Jesús Garcia Lara, por ayudarme y orientarme a realizar las pruebas de dureza y microscopia.

A mi asesor el Doctor Curiel, quien me transmitió grandes enseñanzas y por haberme tenido la paciencia necesaria para guiarme durante el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	2
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE	4
INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO 1	9
FUNDICIONES	9
1.3 Efectos de los elementos de aleación en las fundiciones.	11
1.4 Principales propiedades de las fundiciones.	12
1.5 Clasificación de las fundiciones.....	13
1.5.1 Fundición Perlítica.....	15
1.6 Tratamientos térmicos de las fundiciones	19
CAPITULO 2	44
“SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO”	44
2.1 Soldadura de arco.....	44
2.2 Procesos y equipos para la soldadura de arco.....	45
2.2.1 Circuito de la soldadura de arco.	45

2.3 Electrodo para soldadura de arco	46
2.4 Factores que afectan las propiedades del metal de soldadura.....	48
CAPÍTULO 3	50
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.1 Preparación de las muestras.....	50
CAPÍTULO 4	55
RESULTADOS EXPERIMENTALES	55
4.1 DUREZA.....	55
4.1 METALOGRAFIA.....	67
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	75
Metalografía	76
Conclusiones.....	77
Bibliografía.....	78

INTRODUCCIÓN

Las fundiciones son aleaciones de hierro, carbono y silicio que generalmente contienen también manganeso, fósforo, azufre, etc. Son de mayor contenido en carbono que los aceros (2 a 4.5%) y adquieren su forma definitiva directamente por colada, no siendo nunca las fundiciones sometidas a procesos de deformación plástica ni en frío ni en caliente, en general no son dúctiles ni maleables y no pueden forjarse ni laminarse.

En las fundiciones grises, que en la práctica son las más importantes, aparecen durante la solidificación y posterior enfriamiento, láminas de grafito que originan discontinuidades en la matriz y son la causa de que las características mecánicas de las fundiciones grises sean en general, muy inferiores a las de los aceros; sin embargo, son suficientes para muchísimas aplicaciones.

El acero es básicamente, una relación de hierro carbono. El contenido del carbono en el acero es relativamente bajo, como el carbono es más ligero que el hierro, el porcentaje de masa del carbono en el acero es casi siempre menos de 2%.

El carbono tiene una gran influencia en el comportamiento mecánico de los aceros la resistencia de un acero simple con 0.5% de carbono es de 2 veces superior al de otro con 0.1% de carbono, si el contenido de carbono llega al 1% la resistencia casi se triplica. El carbono por lo general reduce la ductilidad del acero. La ductilidad es una medida de la capacidad del material para deformarse en forma permanente, sin llegar a la ruptura, un acero con 0.1% de carbono es más de 4 veces más dúctil que un segundo con 1% de carbono y 2 veces más que un tercero con 0.2% de carbono.

En los procesos de conformado por soldadura, las características mecánicas de éstas están condicionadas por el material de aporte, así como por la velocidad de enfriamiento y el tratamiento térmico posterior a que deben ser sometidas estas uniones.

Para la presente investigación se procedió con el desarrollo experimental que constó en la elaboración de 4 probetas, 2 probetas de fundición del tipo gris a las cuales se les aplicó un

cordón de soldadura a temperatura ambiente con material de aporte de un electrodo revestido de níquel y un electrodo revestido de acero inoxidable 308, 2 probetas de acero inoxidable 304, en las cuales se les realizó un cordón de soldadura a temperatura ambiente con material de aporte de un electrodo revestido de acero inoxidable 308 y un electrodo revestido de níquel para analizar los efectos en la zona afectada por el calor.

Se les realizó un corte en la sección transversal al cordón de soldadura, una vez elaborada la probeta fue necesario realizarle 50 pruebas de dureza con una distancia entre cada huella de 0.0125" pasando por las zonas de material de aporte, zona afectada por el calor (ZAC) y metal base. Así mismo, se realizó el análisis metalográfico.

Todos los datos obtenidos fueron comparados mediante fotografías, gráficas y tablas. Marcando las variables que se consideraron las más importantes y significativas, esto para determinar los cambios en las microestructuras y modificaciones en las propiedades físicas y mecánicas del material base, zona afectada por el calor.

Título de la tesis.

“EFECTOS DE LA SOLDADURA ELÉCTRICA CON ELECTRODO REVESTIDO DE NÍQUEL Y ACERO INOXIDABLE 308 EN UNA FUNDICIÓN GRIS Y ACERO INOXIDABLE 304”.

Objetivo general.

Conocer los efectos provocados por la soldadura eléctrica con electrodo revestido en la zona de dilución y estructura de la zona afectada por el calor de una fundición de tipo gris y acero inoxidable 304.

Objetivo específico.

Determinar qué tipo de material de aporte es el más apropiado en la unión de aceros y fundición gris utilizando ensayos de dureza y metalografía ya que durante la soldadura se pueden presentar fallas o disminución de sus propiedades.

Hipótesis.

Siendo una fundición de tipo gris y un acero inoxidable 304, se espera que sus propiedades estructurales en la zona de dilución y zona afectada por el calor sufran variaciones que cambian las propiedades mecánicas de los materiales.

CAPITULO 1

1.1 Fundiciones.

Las fundiciones son aleaciones férreas con contenido de carbono comprendido entre el 2 y 6.7% de carbono aunque, en la practica la mayoría de la fundiciones contienen, entre el 3 y el 4.5%. Las fundiciones funden a temperatura entre los 1150°C y los 1300°C, las fundiciones se pueden clasificar según la composición química en hipo eutéctica, eutéctica e hipereutéctica.

- Fundición blanca: está formada por ferrita y cementita
- Fundición gris: está formada por ferrita y carbono (de ahí el color gris). Dentro de esta encontramos variedades como son la gris ferrita, la gris cementita-perlítica o la gris perlítica. Su contenido en si es mayor que en la blanca.
- Fundición atruchada: es una mezcla de la blanca y gris.

Real, Castro, Rodríguez, (2006), p. 26.

1.2 Componentes.

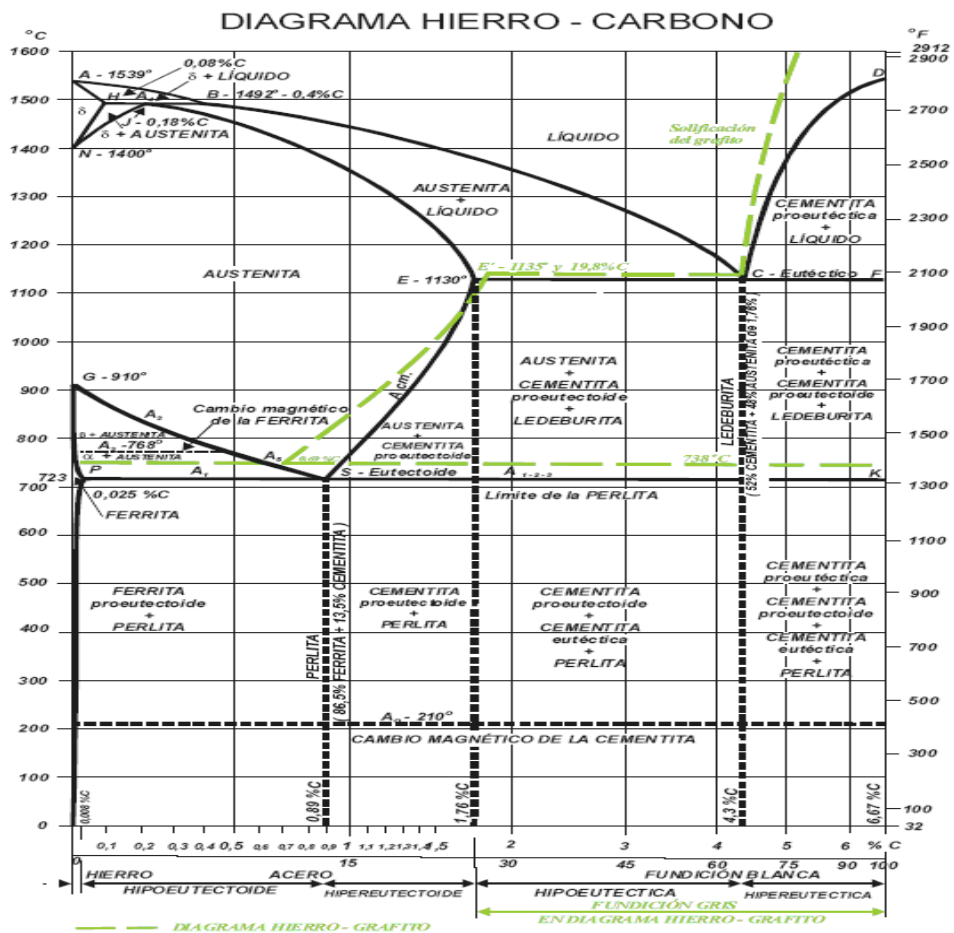
Teóricamente, las fundiciones pueden contener de acuerdo con el diagrama hierro-carbono (Fig.1) de 1.7 a 6.67% de carbono. Sin embargo, en la práctica, su contenido varía de 2 a 4.5%, siendo lo más frecuente que oscile de 2.75 a 3.5%. El contenido en silicio suele oscilar de 0.5 a 3.5% y el de manganeso de 0.4 a 2%. Excepcionalmente, los contenidos en silicio y manganeso llegan algunas veces a 4%, y en ocasiones se fabrican fundiciones especiales hasta de 15% de silicio. Los porcentajes de azufre suelen oscilar de 0.01 a 0.20%, los de fósforo de 0.040 a 0.80% y en algunos casos llega a 1.5%. Para conseguir ciertas características especiales, se fabrican fundiciones aleadas que, además de los elementos citados, contienen también porcentajes variables de níquel, cromo, molibdeno, entre otros.

La ductilidad del hierro fundido es baja o nula y no puede conformarse como los aceros o trabajarse a temperatura ambiente. Los hierros fundidos no son maleables; sin embargo, funden fácilmente y pueden llenar formas complicadas que generalmente se maquinan a dimensiones finales. Como la fundición de piezas es el único proceso aplicado a estas aleaciones, se conocen como hierros fundidos.

Los hierros fundidos tienen bajas propiedades de resistencia que los aceros, pero muestran también las ventajas siguientes:

- Son más fáciles de maquinar que los aceros.
- Se pueden fabricar piezas de diferente tamaño y complejidad. En su fabricación no se necesitan equipos costosos.
- Absorben las vibraciones mecánicas y actúan como auto lubricantes.
- Son resistentes al choque térmico, a la corrosión y resistencia al desgaste.

Además, mediante una aleación apropiada, un buen control de la fundición y un tratamiento térmico adecuado, las propiedades de cualquier tipo de hierro fundido pueden variar ampliamente.



Apraiz J,] (1963) Fig. 1 Diagrama de fase metal-estable fierro-carbono Recuperado de “Fundiciones”

1.3 Efectos de los elementos de aleación en las fundiciones.

El silicio es un elemento muy importante, incrementa la fluidez y tiene efecto sobre la solidificación de aleación fundida. La composición eutéctica se mueve a la izquierda (aproximadamente de 0.30% de carbono por cada 1% de silicio), lo cual abate efectivamente la temperatura a la cual la aleación empieza a solidificar. Conforme aumenta el contenido de silicio, disminuye el área de campo de austenita, el contenido de carbono eutectoide decrece y la transformación eutectoide ocurre sobre un intervalo que se amplía.

El silicio es un grafitizante y si no está contrabalanceado por los elementos de promoción de carburos, favorece la solidificación de acuerdo con el sistema estable fierro-grafito. Por ende, durante la solidificación en presencia de silicio, el carbono se precipita como grafito primario en forma de hojuelas. Una vez que se ha constituido el grafito primario, su forma no puede alterarse por ningún método. Estas débiles hojuelas de grafito rompen la continuidad de la matriz y el efecto de muesca (concentración de esfuerzos), lo cual explica la baja resistencia y la poca ductilidad de la fundición gris.

El efecto del azufre sobre la forma de carbono es el contrario que el del silicio. A mayor contenido de azufre, mayor será la cantidad de carbono combinado, tendiendo de esta manera a producir un hierro blanco, duro y frágil.

Aparte de producir carbón combinado, el azufre tiende a reaccionar con el hierro para formar sulfuro de hierro (FeS). Este compuesto de baja fusión presenta delgadas capas interdendríticas y aumenta la posibilidad de que haya fisuras a altas temperaturas (fragilidad al rojo). El azufre en grandes cantidades tiende a reducir la fluidez y suele causar cavidades (aire atrapado) en las piezas fundidas.

El manganeso es un estabilizador de carburo que tiende a incrementar la cantidad de carbono combinado, pero es mucho menos potente que el azufre. Si el manganeso está presente en la cantidad correcta para formar sulfuro de manganeso, su efecto será reducir la proporción de carbono combinado eliminando el efecto del azufre. El exceso de manganeso tiene poco efecto en la solidificación y sólo retarda débilmente la grafitización primaria; sin embargo, sobre la grafitización eutectoide, el manganeso es un fuerte estabilizador de carbono.

La mayor parte del fósforo se combina con el hierro para formar fosfuro de hierro (Fe_3P), el cual constituye un eutéctico ternario con la cementita y la austenita (perlita a temperatura ambiente). El eutéctico primario se conoce como Esteadita y es una característica normal en la microestructura de las fundiciones. La condición reduce la tenacidad y hace frágil la fundición, de manera que el contenido de fósforo debe controlarse cuidadosamente para obtener propiedades mecánicas óptimas.

1.4 Principales propiedades de las fundiciones.

El empleo de la fundición para la fabricación de piezas para usos muy diversos, ofrece entre otras las siguientes ventajas:

- Las piezas de fundición son, más baratas que las de acero y su fabricación es también más sencilla, por emplearse instalaciones menos costosas y realizarse la fusión a temperaturas relativamente más bajas que las del acero.
- Son mucho más fáciles de mecanizar que los aceros.
- Se pueden fabricar con relativa facilidad piezas de grandes dimensiones y también piezas pequeñas y complicadas, siendo además en ellas menos frecuente la aparición de zonas porosas que en las piezas fabricadas con acero fundido.
- Para numerosos elementos de motores, maquinaria, etc., son suficientes las características mecánicas que poseen las fundiciones. Su resistencia a la compresión es muy elevada (50 a 100 Kg/mm^2) y su resistencia a la tracción (que puede variar de 12 a 90 Kg/mm^2) es también aceptable para muchas aplicaciones. Tienen buena resistencia al desgaste y absorben muy bien (mucho mejor que el acero), las vibraciones de máquinas, motores, etc., a que a veces están sometidas.
- Como las temperaturas de fusión de las fundiciones son bajas, se pueden sobrepasar con bastante facilidad, por lo que en general suele ser bastante fácil conseguir que las fundiciones en estado líquido tengan gran fluidez, y con ello se facilita la fabricación de piezas de poco espesor y en la solidificación presentan mucha menos contracción que los aceros.

1.5 Clasificación de las fundiciones.

La más antigua y conocida de las clasificaciones establece cuatro grupos: Fundición blanca, gris, atruchada y maleable; a estos cuatro grupos se añade en la actualidad otro grupo, el de las fundiciones especiales en el que se pueden incluir las fundiciones aleadas que contienen elementos especiales, las fundiciones nodulares, aciculares, inoculadas, etc.

El mejor método para clasificar las fundiciones es de acuerdo con su estructura metalográfica, se pueden clasificar en tres grandes grupos:

1.- Fundiciones en las que todo el carbono se encuentra combinado formando Cementita y que al romperse presentan fractura frágil de fundición blanca.



Fig. 2 Microestructura de una fundición blanca hipereutética. A 200X Se observan importantes masas blancas de cementita hipereutética. También se observan agrupaciones pseudoeutéticas derivadas de la lebedurita que están constituidas por pequeñas partículas negras de perlita sobre un fondo blanco de cementita.

2.- Fundiciones donde todo el carbono se encuentra en estado libre, formando grafito; son fundiciones ferríticas (en la práctica es muy difícil encontrar fundiciones de este tipo).



Fig. 3 200X Fundición gris ferrítica. Láminas de Grafito sobre un fondo blanco de cristales de Ferrita.

3.- Fundiciones en las que parte del carbono se encuentra combinado formando cementita y parte libre en forma de grafito. A este grupo, que es el más importante de todos, pertenecen la mayoría de las fundiciones que se fabrican y utilizan normalmente, como son las fundiciones grises, atruchadas, perláticas, etc.

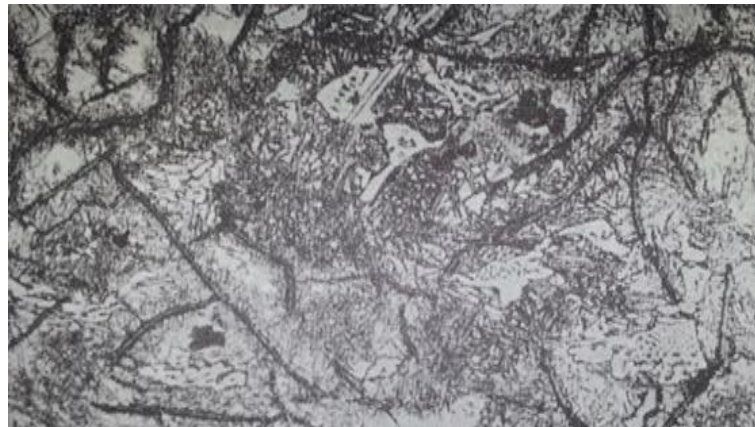


Fig. 4 100X Microestructura de una fundición gris martensítica. Se ven láminas de grafito sobre fondo oscuro con agujas de martensita. Entre la martensita quedan algunos núcleos blancos de cementita.

1.5.1 Fundición Perlática.

Entre las diversas clases de fundiciones que se fabrican en la actualidad, la fundición perlática, es una de las de mayor interés industrial y una de las que cada día tiene mayores aplicaciones. La fundición perlática es una fundición gris, que está constituida por una serie de laminillas de grafito embebidas en una masa de perlita laminar y puede considerarse como un acero eutectoide en el que se hallan incrustadas innumerables láminas de grafito.



Fig. 5.- Microestructura de una fundición perlática. Se observan láminas de grafito sobre un fondo de perlita laminar.

Para una gran mayoría de los empleos corrientes de la fundición gris, como la fabricación de piezas de motores, maquinaria y de instalaciones industriales, es de gran interés el empleo de la fundición perlática, porque reúne un conjunto de características mecánicas excelentes. Su resistencia a la tracción varía normalmente de 20 a 35 Kg/mm^2 (según sea el tamaño, cantidad y distribución de las láminas de grafito), tiene gran tenacidad y gran resistencia al desgaste. La perlita que aparece en estas fundiciones suele contener un porcentaje de carbono de 0.80%, aproximadamente, o sea que tiene un contenido en carbono ligeramente inferior a la perlita de los aceros, que es de 0.90%, aproximadamente.

Un acero eutectoide tiene aproximadamente 0.90% de carbono total y también 0.90% de carbono combinado, ya que no contiene carbono gráfico. En las fundiciones, en cambio, el carbono total es la suma del carbono que se encuentra en forma de grafito y del carbono que se encuentra combinado, es decir, del carbono que se encuentra en forma de cementita.

Una fundición será perlítica cuando el carbono combinado sea, aproximadamente, igual a 0.80%. Al observar su microestructura en el microscopio, vemos que exceptuando el grafito que contiene. Toda ella está constituida por 100% de perlita. En cambio, observando al microscopio una fundición en la que el carbono combinado es igual a 0.4%, se puede ver que, exceptuando el grafito, sus constituyentes son, aproximadamente, un 44% de perlita y un 56% de Ferrita libre, que son los constituyentes que corresponden, aproximadamente, a los aceros de 0.40% de carbono. Por lo tanto, si consideramos que la mejor fundición es la perlítica, en general, las fundiciones serán tanto mejores cuanto más se aproxime su porcentaje de carbono combinado a 0.80%.

En las fundiciones grises perlíticas se ha observado que cuanto menor sea el porcentaje de carbono que contienen, mayor es su resistencia. Esto es natural que ocurra, ya que, si consideramos diversas fundiciones grises de estructura perlítica, en las que el porcentaje de carbono combinado es constante, 0.80% aproximadamente, tendremos que debe cumplirse, como en todas las fundiciones:

$$\text{Carbono total} = \text{Carbono grafitico} + \text{Carbono combinado}$$

Y, por lo tanto, como al disminuir el carbono total disminuye la cantidad de láminas de grafito, vemos que en las fundiciones de matriz perlítica al disminuir el porcentaje de carbono total disminuye el número de láminas de grafito y aumenta la resistencia a la tracción.

Resumiendo, se puede decir que para obtener una fundición perlítica de máxima resistencia hay que obtener:

- 1.- Una matriz perlítica.
- 2.- Que las láminas de grafito sean poco numerosas.
- 3.- Que estén bien distribuidas y sean muy pequeñas. Para conseguir todo ello, conviene que el contenido de carbono, dentro de ciertos límites, sea lo más bajo posible.

Principales empleos de la fundición Perlítica de acuerdo con su dureza y resistencia.

Las fundiciones perlíticas que son algo más difíciles de obtener que la fundición gris ferrítica y que en general, son mejores, se emplean cuando interesa que las piezas tengan una elevada resistencia y que en el trabajo resistan al desgaste. En general, se recomiendan durezas comprendidas entre 180 a 250 Brinell. En el caso de que la dureza sea inferior a 180, aparece ferrita libre en la microestructura; cuando la dureza es superior a 250 Brinell, suele aparecer cementita proeutectoide.

Composición de las fundiciones grises ordinarias de uso más frecuente.

Aunque en las fundiciones es difícil dar reglas para elegir en cada caso la composición más conveniente para un empleo definido, en la siguiente tabla se adjuntan algunas de las composiciones de empleo más frecuente.

Clase de pieza	Composición en %				
	C	Si	Mn	P	S
Piezas de maquinaria *Espesor pequeño	3.25	2.25	0.50	0.25	0.10
*Espesor medio	3.25	1.75	0.50	0.25	0.10
*Espesor grande	3.25	1.25	0.50	0.25	0.10
Piezas de ornamentación	3.50	2.75	0.50	2.00	0.10
Tubos *Grandes	3.40	1.75	0.50	0.80	0.08
*Medianos	3.60	2.00	0.50	0.80	0.08
Segmentos	3.50	3.00	0.65	0.50	0.06
Camisas de cilindros	3.25	2.25	0.65	0.75	0.08
Pistones de motor de explosión	3.35	2.25	0.65	0.15	0.10
Zapatas de freno	3.10	1.70	0.50	0.15	0.10
Piezas delgadas de alta resistencia	2.75	2.25	0.80	0.10	0.09
Lingoteras	3.50	1.00	0.90	0.20	0.07
Piezas blandas de máquinas	3.40	2.60	0.65	0.30	0.10
Ruedas	3.35	0.65	0.60	0.35	0.12
Resistente al calor	3.50	1.15	0.80	0.10	0.07

Apraiz, J. (1968). Composición de algunas piezas de fundición de uso corriente. (Tabla VII) Recuperado de “Fundiciones”

Es interesante recordar que, en definitiva, el interés principal es conseguir la más conveniente distribución de las láminas de grafito y la microestructura que mejor se comporte en las condiciones de trabajo a que va a estar sometida la pieza.

Tamaño y distribución de las láminas de grafito.

En la figura 6 se señalan los diferentes tamaños de las láminas de grafito, clasificados por tamaños del 1 al 6.

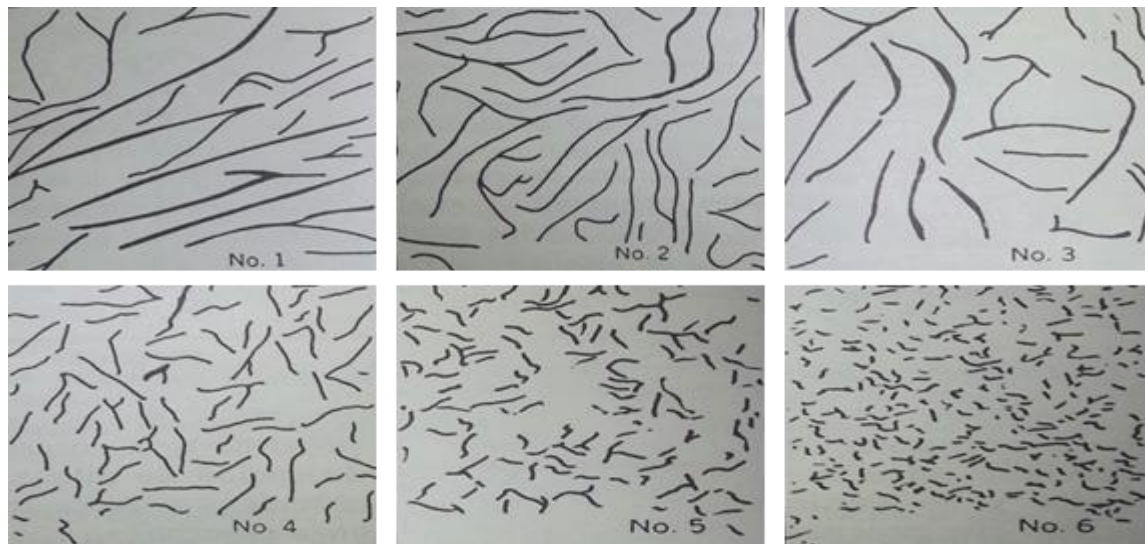


Fig. 6 90X Tamaño de las láminas de grafito normalizados por la A.S.T.M.

En la figura 7 se ven las diferentes clases de grafito que aparecen en las fundiciones denominados tipos A, B, C, D y E, de acuerdo con las normas A.S.T.M.

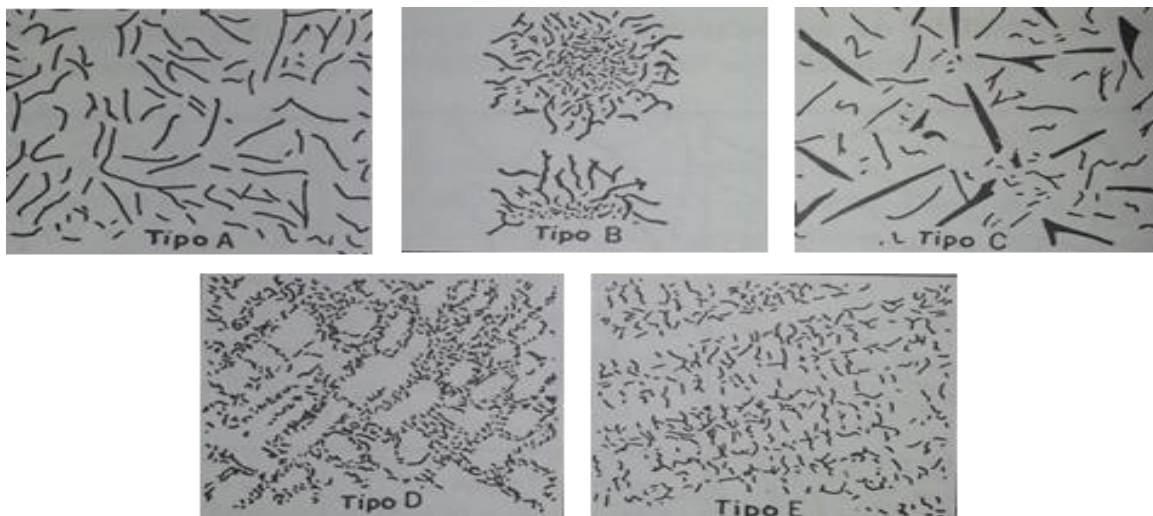


Fig. 7 Diferentes clases de grafito que suelen aparecer en las fundiciones (AFA y ASTM)

De todas estas clases de grafito, el tipo A es en general, el que más interesa obtener, porque con él se suelen conseguir las mejores características mecánicas. En cambio, no conviene la presencia de grafito de tipo D y E.

El grafito tipo A, suele ser el más común, aparece en el centro de las piezas de cierto espesor, fabricadas con fundiciones grises de composición próxima a la eutéctica. Ese tipo de grafito es el que conviene para la fabricación de piezas para maquinaria y se obtiene desde hornos de cubilote, las cuales se trabajan sin precauciones especiales.

El grafito en forma de rosetas (tipo B) aparece con porcentajes altos de silicio y, sobre todo, de carbono elevado, en piezas enfriadas rápidamente. Se suele presentar en piezas delgadas de unos 10 mm de espesor coladas en arena.

El grafito tipo C, en láminas gruesas de gran espesor y longitud, corresponde a fundiciones grises hipereutécticas de muy alto contenido en carbono, en piezas de mediano y gran tamaño. Esas láminas suelen ser de orientación desordenada y se presentan con otras de tamaño normal.

Las estructuras D y E no conviene que aparezcan y se suelen presentar en fundiciones de bajo contenido en carbono y alta temperatura de colada, como consecuencia de los fenómenos de subenfriamiento que se presentan en el proceso de solidificación.

1.6 Tratamientos térmicos de las fundiciones

Las propiedades y microestructura de las fundiciones pueden ser modificadas y mejoradas por medio de los tratamientos térmicos. El recocido, temple y normalizado son los tratamientos más empleados.

Recocido

Tres tipos de recocidos suelen ser aplicados a las fundiciones:

1. De eliminación de tensiones.

Los recocidos para eliminación de tensiones se realizan a temperaturas relativamente bajas, a unos 550°C aproximadamente, y se dan para eliminar las tensiones que a veces

tienen las piezas como consecuencia de los rápidos enfriamientos, que experimentan cuando desciende su temperatura, desde la de solidificación hasta del medio ambiente.

2. De ablandamiento.

Los recocidos de ablandamiento de las fundiciones grises se hacen a unos 740°C, y sirven para mejorar la maquinabilidad y ablandar el material. Fundiciones grises muy duras y fundiciones atruchadas que contienen cementita hipereutectoide, se recosen a 850°C.

3. De maleabilización.

Los recocidos de maleabilización se dan a la fundición blanca para transformarla en maleable, comunicándole gran tenacidad.

Temple y revenido

En ocasiones se puede endurecer y aumentar la resistencia a la tracción de las fundiciones grises por tratamiento térmico. De esta forma se consigue un aumento de dureza y de la resistencia a la tracción y resistencia al desgaste. En general se somete a las fundiciones primero a un temple y luego a un revenido. Los resultados que se obtienen dependen siempre de la clase de tratamiento, microestructura y composición química de la fundición. Las fundiciones con gran cantidad de ferrita y grafito, no son las más recomendables para ser endurecidas por tratamiento térmico. En cambio, con las fundiciones de matriz perlática se pueden conseguir mejoras muy importantes de dureza y resistencia al desgaste por temple y revenido.

Con el temple aumenta la dureza y luego con el revenido disminuye la dureza y esta disminución es tanto más sensible cuanto más elevada sea la temperatura. En cambio, el efecto del temple sobre la resistencia a la tracción es diferente. En la misma figura se observa cómo con el temple disminuye la resistencia y luego, en cambio, con el revenido aumenta.

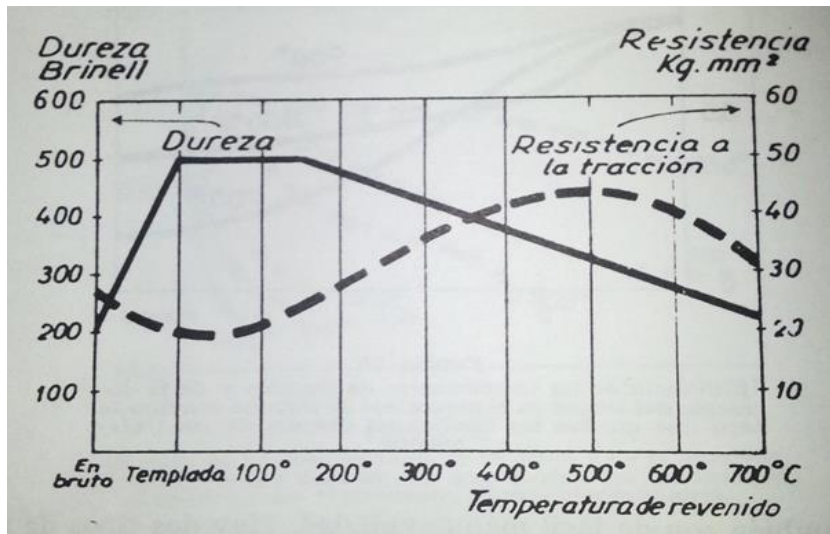


Fig. 8 Influencia del temple y revenido en la resistencia a la fricción y en la dureza de las fundiciones grises.

En cierto modo, el efecto es inverso al caso de los aceros. Se observa que con revenidos a temperaturas inferiores a 500°C, aumenta la resistencia a medida que aumenta la temperatura de revenido. En cambio, a partir de este punto, las fundiciones se comportan igual que los aceros y la resistencia disminuye al aumentar la temperatura de revenido.

Apraiz, J. (1963). "Fundiciones"

ACEROS.

El acero es normalmente conocido como un metal pero en realidad, el mismo es una aleación de un metal (el hierro) y un metaloide (el carbono) que puede aparecer en diferentes proporciones pero nunca superior al dos por ciento del total del peso del producto final. El acero, debido a sus propiedades, es una de las alineaciones más utilizadas por el hombre en diferentes circunstancias, tanto en la construcción como en la industria automotriz y en muchas otras. Al mismo tiempo, los materiales que lo componen son muy abundantes en el planeta a diferencia de otros metales que son mucho más escasos y difíciles de conseguir. Por lo tanto, la generación de acero es mucho más accesible en términos de costos que otros metales o aleaciones.

La historia del acero nos cuenta que ya existen registros de este material desde tiempos remotos en diversas partes del planeta. Sin embargo, no hay dudas de que un fenómeno tan único como la Revolución Industrial contribuyó en gran manera con la producción masiva de acero que luego era destinado a un sinfín de industrias y ramas de la producción. Con los avances industriales, el hombre pudo finalmente en el siglo XIX acceder a la producción en grandes cantidades de este producto gracias al uso de hornos de fundición de gran capacidad y tamaño.

Una de las propiedades más importantes y útiles del acero es que, dependiendo de su proporción de hierro y de carbono, el mismo se puede convertir en un material flexible y mucho más fácil de trabajar que otros metales ya que se puede llegar a moldear y a dar forma de acuerdo a las necesidades de cada caso. La temperatura de fundición del acero es de alrededor de 3000 grados Centígrados y a partir de ella se pueden generar diferentes tipos y formas de acero que servirán a diferentes utilidades.

Autor: Cecilia Bembibre Sitio: Definición ABC Fecha: agosto. 2010 URL: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/acero.php>

2.1 Designaciones y clasificación de los aceros:

Los aceros al carbono son aquellos en los que el carbono es el único elemento de aleación. El contenido en este elemento es el que determina la dureza, la resistencia y la ductilidad. Cuanto mayor es el contenido en carbono mayor es la resistencia y la dureza. Por el contrario a medida que disminuye el carbono, aumenta la ductilidad del acero.

De acuerdo con su contenido de carbono se clasifican los aceros de bajo, medio alto y muy alto contenido de carbono.

Aceros de bajo contenido de carbono: contiene entre el 0.05 y 0.30% de carbono son tenaces dúctiles, fáciles de mecanizar, conformar y muy fáciles de soldar. La mayoría de ellos no responden a los tratamientos térmicos.

Aceros de medio contenido en carbono: contienen del 30 al 45% de carbono son duros y resistentes pero no se pueden trabajar o soldar tan fácilmente como los de bajo contenido de carbono. Admite tratamientos térmicos para soldarlos con buenos resultados se requieren electrodos especiales.

Aceros con alto o muy alto contenido de carbono: los primeros tienen un contenido de 0.45 a 0.75% de carbono los segundos de 0.75 a 1.7% tanto unos como otros responden bien a los tratamientos térmicos, requieren electrodos especiales, precalentamientos y tratamientos para ser soldados para eliminación de tensiones.

Aceros aleados: es aquel que contiene uno o más elementos de aleación como níquel, cromo, manganeso, molibdeno, titanio, cobalto, wolframio o vanadio la adición de estos elementos aumenta sus características del acero.

Cromo le comunica al acero una gran dureza, resistencia al desgaste sin aumentar la fragilidad.

Manganeso la adición de este elemento produce una estructura de grano fino con gran tenacidad y ductilidad.

Molibdeno después del carbono es elemento que produce un mayor efecto endurecedor al mismo tiempo se opone al aumento del grano, el resultado es un acero resistente y tenaz.

Níquel aumenta la ductilidad del acero sin perder resistencia cuando se añade grandes cantidades (25 a 35%) no solo se incrementa la tenacidad del acero si no también aumenta la resistencia a la corrosión y al choque.

Vanadio la adición de este elemento favorece la estructura de formación de grano fino cuando el acero se calienta por encima de su temperatura crítica, para realizar un tratamiento térmico. Además aumenta la tenacidad y la resistencia.

Wolframio normalmente se emplea en los aceros para herramientas de corte, de una gran dureza y resistencia al desgaste.

Cobalto su principal función es fortalecer la ferrita en combinación con el wolframio desarrolla durezas en caliente, para conseguir aleaciones que conserven las durezas a altas temperaturas.

Código de designación de los aceros.

A continuación pasaremos a comentar el sistema de clasificación y designación de los aceros adoptados por el Instituto Americano de hierro y el acero (AISI) y la Sociedad de Ingeniería Automoción (SAE). La identificación se consigue mediante la identificación de 4 o 5 dígitos el primero indica el tipo de acero: 1 indica acero al carbono; 2, acero al níquel; 3, acero al cromo níquel, etcétera. En el caso de aceros de simple aleación, el segundo un, cero nos indica la cantidad aproximada del elemento de aleación predominante, los últimos dos o tres dígitos indican el contenido en carbono en centésimas por ciento. Por ejemplo un acero 2335 es un acero al níquel, con un 3 % en níquel y un 0.35% de carbono.



Guiachino, J. Weeks, W. (2007) “TECNICAS Y PRACTICAS DE LA SOLDADURA” p. 31.

El punto de división entre los aceros y los hierros fundidos es de 2.11% C, punto en el que se hace posible la reacción Eutéctica. Para los aceros, nos concentramos en la porción Eutectoide del diagrama (Fig. 9), en la cual se identifican de manera especial las líneas de solubilidad y la isoterma eutectoide.

La línea A_3 muestra la temperatura a la cual empieza a formarse la Ferrita al enfriarse; la línea A_{cm} muestra la temperatura a la cual se empieza a formar la cementita; la línea A_1 es la temperatura Eutectoide.

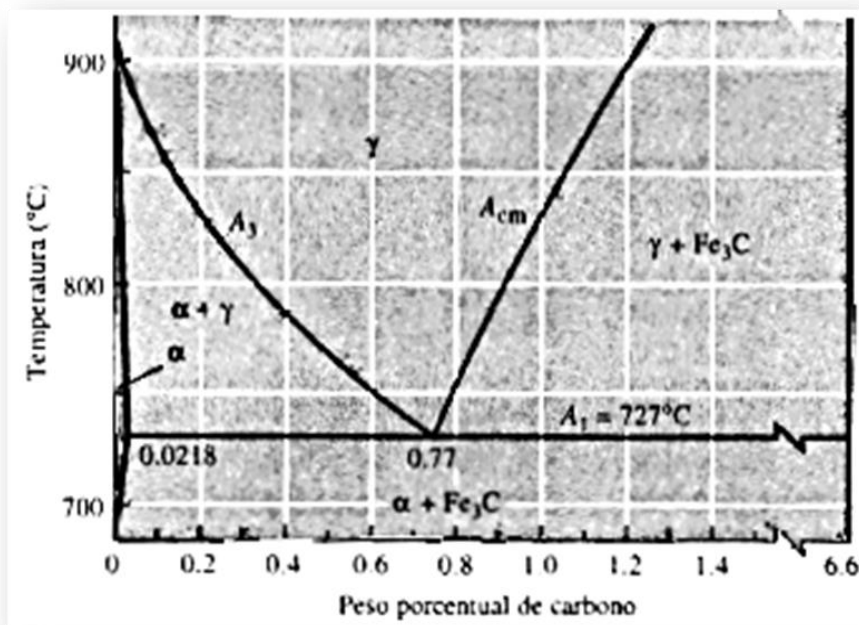


Figura 9 porcentajes en peso de carbono

DIAGRAMA DE HIERRO-CARBONO

Cuando el acero con constitución austenica, se enfría lentamente, la austenita se transforma en distintos productos; así por ejemplo, si el acero es hipoeutectoide la austenita se transforma inicialmente en ferrita hasta la temperatura eutectoide, a la cual la austenita remanente se transforma en perlita. La micro estructura final será perlita y ferrita proeutectoide en una proporción que depende de la composición y la velocidad de enfriamiento.

Si el acero es de composición eutectoide, la austenita se transforma completamente en perlita; si la composición hipereutectoide se obtiene cementita proeutectoide y perlita como producto de la transformación. Cuando la velocidad de enfriamiento aumenta, la morfología de la ferrita y la cementita proeutectoide cambia y la perlita se hace más fina. A una velocidad elevada, los anteriores constituyentes desaparecen súbitamente a una velocidad de enfriamiento crítico, y aparece una estructura nueva más dura que es la martensita.

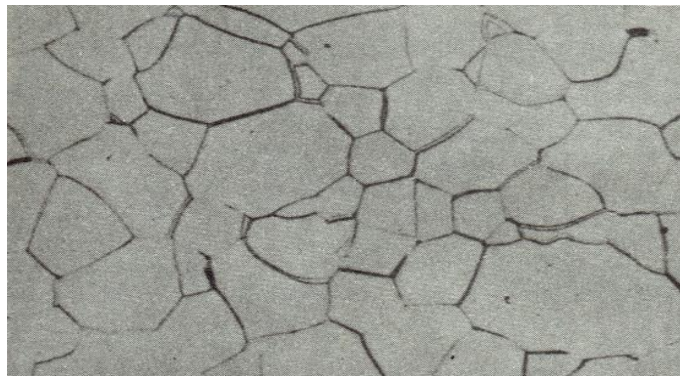
Estos productos, obtenidos por enfriamiento rápido, son meta estables desde un punto de vista termodinámico de gran utilidad para la ingeniería debido a sus propiedades.

En las aleaciones Fe-C pueden encontrarse hasta once constituyentes diferentes, que se denominan: ferrita, cementita, perlita, austenita, martensita, troostita, sorbita, bainita, ledeburita, esteadita y grafito.

Ostwald, P. (1984) "PROCESOS DE MANUFACTURA" p. 46.

de hierro (cementita) después de un recocido oscilante a temperaturas próximas al punto crítico A_{c1} . El contorno de los granos es ligeramente curvilíneo. En las uniones de los granos se aprecia cementita terciaria cristaliza en una estructura BCC y tiene una dureza de 95 Vickers. En los aceros aleados, la ferrita suele contener Ni, Mn, Cu, Si, Al en disolución sólida sustitucional. En el microscopio aparece como granos monofásicos, con límites de grano más irregulares que la austenita. El motivo de esto es que la ferrita se ha formado en una transformación en estado sólido, mientras que la austenita, procede de la solidificación. La ferrita en la naturaleza aparece como elemento proeutectoide que acompaña a la perlita en:

- Cristales mezclados con los de perlita (0.55% C)
- Formando una red o malla que limita los granos de perlita (0.55% a 0.85% de C)
- Formando agujas en dirección de los planos cristalográficos de la austenita.

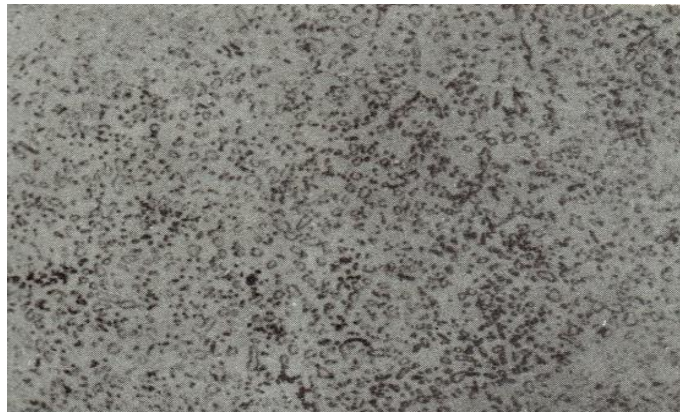


Cementita. En el acero con $C=1\%$ después de un recocido oscilante alrededor de A_{c1} , matriz es ferrítica y glóbulos de cementita. Es carburo de hierro (Fe_3C) es el constituyente más duro y frágil de los aceros alcanzando una dureza de 960 Vickers ($68 HR_C$). Tiene propiedades magnéticas por debajo de los 210° y diamagnéticas a temperaturas superiores. Cristaliza en el sistema ortorrómbico de gran tamaño. Se forman en los aceros con $C>0.89\%$ como cementita proeutectoide y junto con la ferrita en la perlita. Según vamos aumentando el porcentaje de carbono en el acero aumenta la concentración de cementita de nuestro acero. Inicialmente cuando el porcentaje de carbono es bajo, la cementita comienza aparecer en los límites de grano combinado con la ferrita en forma de láminas alternas (perlita). Si vamos aumentando el

porcentaje de carbono de nuestra aleación, empiezan a crecer los granos de perlita, hasta el 0.77% de carbono, donde todo es perlita. Según vamos añadiendo carbono continúa apareciendo cementita (Fe_3C) en los límites de grano, y su concentración va aumentando, reduciéndose la concentración de perlita, quedando la perlita sobre una matriz de cementita. Ésta es la principal razón por la que el acero cuanto más carbono, más duro y más resistencia mecánica posee, aunque aumenta también su fragilidad.

La cementita aparece como:

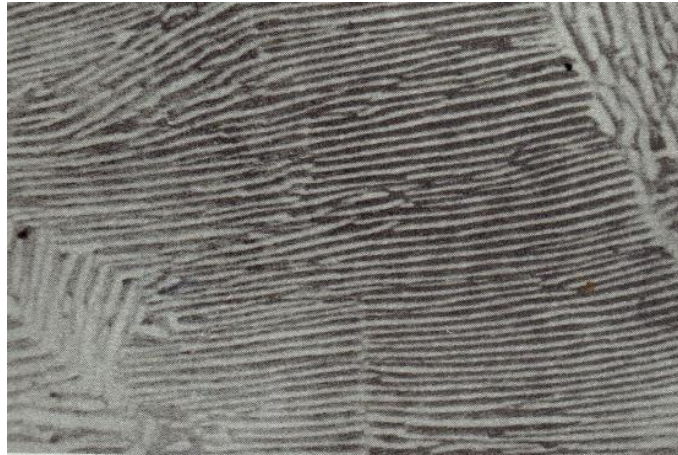
- Cementita proeutectoide, en aceros hipereutectoides, formando una red que envuelve a los granos perlíticos.
- Componente de la perlita laminar.
- Componente de los glóbulos en perlita laminar.
- Cementita alargada (terciaria) en las uniones de los granos ($C < 0.25\%$.)



Perlita es un constituyente eutectoide que aquí forma láminas de ferrita y cementita (86.5% de ferrita y 13.5% de Cementita) es decir, hay 6.4 partes de ferrita y 1 de cementita. La perlita tiene una dureza de aproximadamente 200 Vickers. Aparece junto con granos de ferrita en los aceros $C < 0.89\%$. En los aceros eutectoides y en los de contenidos de $C > 0.89\%$ aparece con una resistencia a la rotura de $R \approx 785 \frac{N}{mm^2} \approx 80 \frac{Kgf}{mm^2}$ y un alargamiento de $A \approx 15\%$.

Cada grano de perlita está formado por láminas o placas alternadas de cementita (Las líneas oscuras son ferrita y las blancas cementita).

Esta estructura laminar se observa en la perlita formada por enfriamiento muy lento. Si el enfriamiento es muy brusco, la estructura es más borrosa y se denomina perlita sorbítica. Si la perlita laminar se calienta durante algún tiempo a una temperatura inferior a la crítica (723 °C), la Cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, recibiendo entonces la denominación de perlita globular.



Austenita en acero de Cr=17.80% y Ni=10.10%. Es una solución sólida de carbono en hierro gamma (γ). La austenita tiene una dureza de 305 Vickers, está formada por cristales cúbicos de Hierro gamma con los átomos de carbono intercalados en las aristas y en el centro.

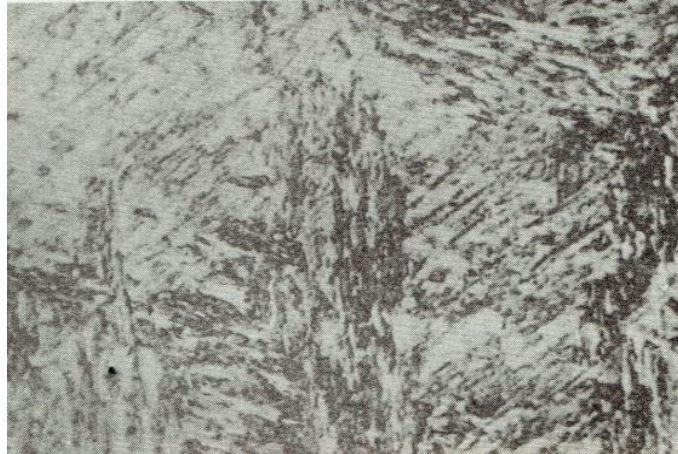
La proporción de C disuelto varía desde el 0 al 1.76% correspondiendo este último porcentaje de máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. Y resulta blanda, dúctil, tenaz y diamagnética, el contorno de los granos es rectilíneo. La austenita en los aceros al carbono, sin ningún otro elemento aleante, empieza a formarse a la temperatura de 723°C y es estable por encima de A_{c1} . Es el constituyente más denso de los aceros inoxidables y refractarios austeníticos a temperatura ambiente. Su resistencia varía de 590 a 885 $\frac{N}{mm^2}$ (de 60 a 90 $\frac{Kgf}{mm^2}$).



Martensita en un acero con $C=0.55\%$ y $Mn=0.65\%$ templado en agua desde los 900°C ; bajo velocidades de enfriamiento bajas o moderadas, los átomos de C pueden difundirse hacia afuera de la estructura austenítica. De este modo, los átomos de Fe se mueven ligeramente para convertir su estructura en una tipo BCC. Esta transformación gamma-alfa tiene lugar mediante un proceso de nucleación y crecimiento dependiente del tiempo (si aumentamos la velocidad de enfriamiento no habrá tiempo suficiente para que el carbono se difunda en la solución y, aunque tiene lugar algún movimiento local de los átomos de Fe, la estructura resultante no podrá llegar a ser BCC, ya que el carbono está “atrapado” en la solución).

La martensita puede considerarse como una solución sólida de carbono en ferrita sobresaturada y distorsionada de carbono atrapado en una estructura tetragonal centrada en el cuerpo. Esta estructura reticular altamente distorsionada es la principal razón para la alta dureza de la martensita, ya que como los átomos en la martensita están empaquetados con una densidad menor que en la austenita, entonces durante la transformación (que nos lleva a la martensita) ocurre una expansión que produce altos esfuerzos localizados que dan como resultado la deformación plástica de la matriz.

Su dureza oscila entre 50 y 68 HR_C y después de la cementita es el constituyente más duro de los aceros. Se consigue por enfriamiento rápido de la austenita y está constituida por agujas que forman ángulos de aproximadamente 60° , además es magnética



Bainita Superior en un acero con $c=0.38\%$; $Mn=0.78\%$; $Cr=1.01\%$ y $Mo=0.15\%$. Las zonas arborescentes son bainita superior y las zonas claras martensita, débilmente coloreada por el reactivo de ataque. Se consigue por transformación isotérmica de la austenita, entre 500 y 600°C.

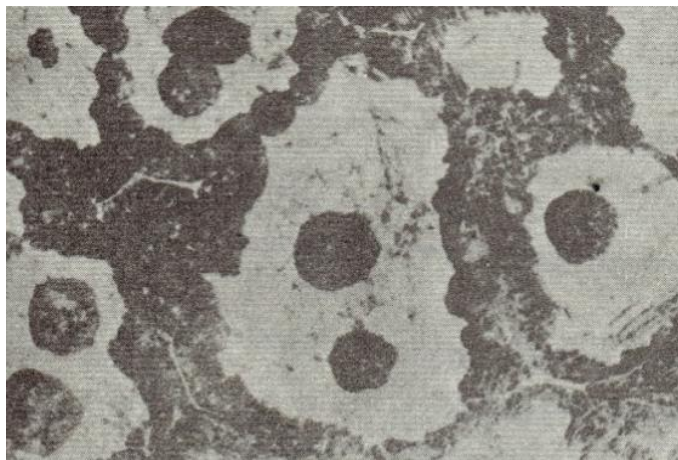
El proceso consiste en enfriar rápidamente la austenita hasta una temperatura constante, manteniéndose dicha temperatura hasta la transformación total de la austenita en bainita.



Bainita Inferior en un acero con $C=0.55\%$; $Cr=1.2\%$; $Ni=4.10\%$; $Mo=0.48\%$ y $W=0.82\%$. Las agujas que forman ángulos de aproximadamente 60° constituyen la Bainita inferior y las zonas claras son martensita. Es muy parecida a la martensita y sus características mecánicas son buenas. Se consigue por transformación isotérmica de la austenita entre 250 y 450°C.



Troostita en un acero con C=1.60% y Mn=0.36%. Los nódulos y zonas oscuras son troostita, las zonas claras martensita y las uniones blancas entre los granos cementita proeutectoide. Es un constituyente nodular formado por ferrita y cementita, cuyas láminas muy finas forman una estructura radial. Las características mecánicas son intermedias entre la martensita y la sorbita: $R_m \approx$ de 13575 a 1715 $\frac{N}{mm^2}$ (de 140 a 175 $\frac{Kgf}{mm^2}$). Se puede formar por la transformación de la Austenita a velocidad inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita a temperaturas isotérmicas de entre 500 y 600°C.



Sorbita en un acero con C=0.19%; Mn=0.84%; Cr=0.53%; Ni=0.59% y Mo=0.17%.

Es un constituyente formado por ferrita y cementita en láminas muy finas cuya resistencia es superior a la de los otros constituyentes: $R_m=865$ a 1375 $\frac{N}{mm^2}$ (88 a 140 $\frac{Kgf}{mm^2}$) y A=10 a 20%.

Aparece frecuentemente en los aceros normalizados y es reconocida en forma vermicular o de granos blancos. También se forma en casi todos los aceros forjados y laminados. Es posible obtenerla por enfriamiento de la austenita a velocidad inferior a la crítica de temple o por calentamiento de la austenita, martensita o troostita, entre 400 y 700 °C.



Aceros austeníticos.

Al igual que los aceros férricos no presentan transformación alguna en el calentamiento porque su estructura es austenítica a cualquier temperatura, como indica su nombre. Esta familia de aceros se obtiene adicionando elementos formadores de austenita tales como el níquel, magnesio y nitrógeno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono se mantiene siempre muy bajo, en el rango de 0,03 a 0,08%. El cromo proporciona una resistencia a la oxidación y a la corrosión hasta temperaturas aproximadas de 650°C en una variedad de ambiente. El níquel y en menor extensión el manganeso, se adiciona a estos aceros para estabilizar la fase austenítica en un amplio rango de temperaturas y evitar así su transformación.

Engrosan el grano a temperaturas elevadas o con permanencias largas, pero la fragilidad que adquieren no es tan peligrosa como en los aceros ferríticos. La precipitación de los carburos de cromo en las juntas de los granos hace que se produzca una pérdida de cromo en las inmediaciones de dichas juntas. Las zonas en las que se produce esta descromización

pierden inoxidable, quedando sensibilizadas a la corrosión intergranular. Para evitar la precipitación de carburos puede disminuirse el contenido de carbono ($C > 0.03\%$) o bien adicionarse al acero otros elementos, como el titanio o niobio, más ávidos del carbono que del cromo. Los aceros con carbono superior a 0.03% deberán ser sometidos a un temple austenítico (hipertemple) con el objetivo de disolver los carburos precipitados. En estos aceros y en general en todos los inoxidables y refractarios, el tiempo de permanencia a la temperatura de tratamiento térmico deberá ser como mínimo el doble que en los aceros al carbono, debido a su baja conductividad térmica. Por ser difícil determinar el límite de proporcionalidad se suele adoptar el que corresponde a un alargamiento permanente de 0.2% . El carbono y el Nitrógeno hacen aumentar la dureza y por consiguiente el límite elástico.

El gráfico de la figura 2.2.1 da las variaciones de la carga de ruptura y de límite elástico del tipo de acero 18% de cromo y 8% de níquel con temple austenítico (hipertemple), en función del contenido de carbono.

Cuando deseamos conseguir límites elásticos buenos en aceros con carbono inferior a 0.03% , se añade nitrógeno en porcentaje de 0.15% .

El crecimiento del grano en estos aceros no tiene influencia en las características mecánicas, pero tiene el inconveniente de la aparición, en los aceros embutidos, de lo que se denomina vulgarmente como “piel de naranja” que dificulta las operaciones de pulido.

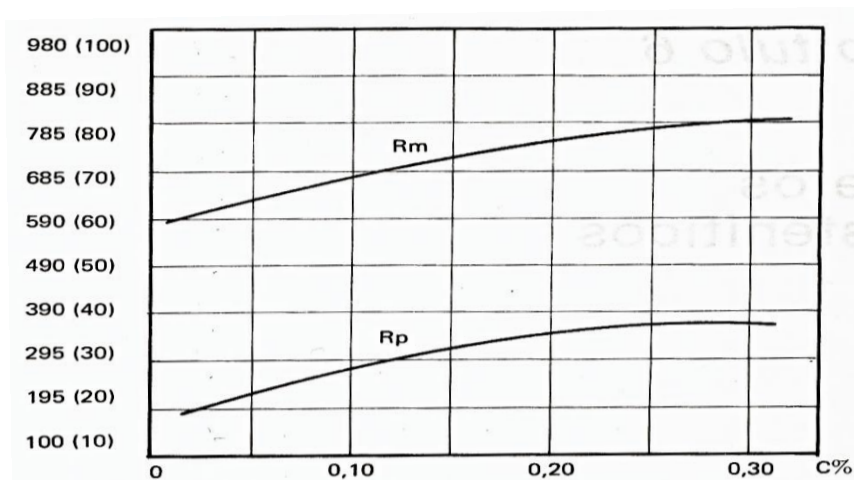


Figura 10. Variación de la carga de rotura y de límite elástico de los aceros austeníticos tipo 18-8, con temple (hipertemple), en función del contenido de carbono.

La maleabilidad de estos aceros es muy grande, por eso se emplean en embutido. Una de las propiedades de los aceros austeníticos es la ausencia de fragilidad a bajas temperaturas, todo lo contrario de lo que sucede en los martensíticos y ferríticos. Mantienen excelentes resistencias al impacto a temperaturas cercanas al 0 absoluto. Por el contrario, el resto de las características mecánicas varían notablemente (aumentan la carga de rotura y el límite elástico y disminuye el alargamiento).

Los estudios realizados por Bastien y Dedieu nos indican que cuando se austenitiza un acero del tipo 18-8 a 980°C y se enfría en nitrógeno líquido, la permanencia a dicha temperatura hace que parte de la austenita se transforme en martensita.

La figura 2.2.2 nos indica el descenso que sufre el punto Ms (inicio de la transformación) de un acero de 0.04% de carbono y 18% de cromo, según el contenido de níquel.

Con tratamiento térmico no es posible variar las características mecánicas de esta familia de aceros, ya que en el calentamiento no existe transformación estructural. Con transformación en frío conseguimos mejorar la carga de rotura y el límite elástico, pero se vuelven ligeramente magnéticos al transformarse parte de la austenita en martensita. No debemos olvidar que las piezas fabricadas de esta manera experimentan aumento de volumen, causa de problemas cuando las tolerancias exigidas son muy estrechas.

La acritud producida por la deformación en frío no solo endurece el acero, sino que aumentan su permeabilidad magnética y el límite de fatiga (figura 2.2.3). A los aceros austeníticos con contenidos de carbono superior a 0.03% que se hayan mantenido a temperaturas comprendidas entre 400 y 900°C es necesario someterlos a un temple austenítico (hipertemple) para disolver los carburos precipitados y así dejarlos insensibles a la corrosión intergranular. Todos los aceros austeníticos son diamagnéticos (no les atrae el imán).

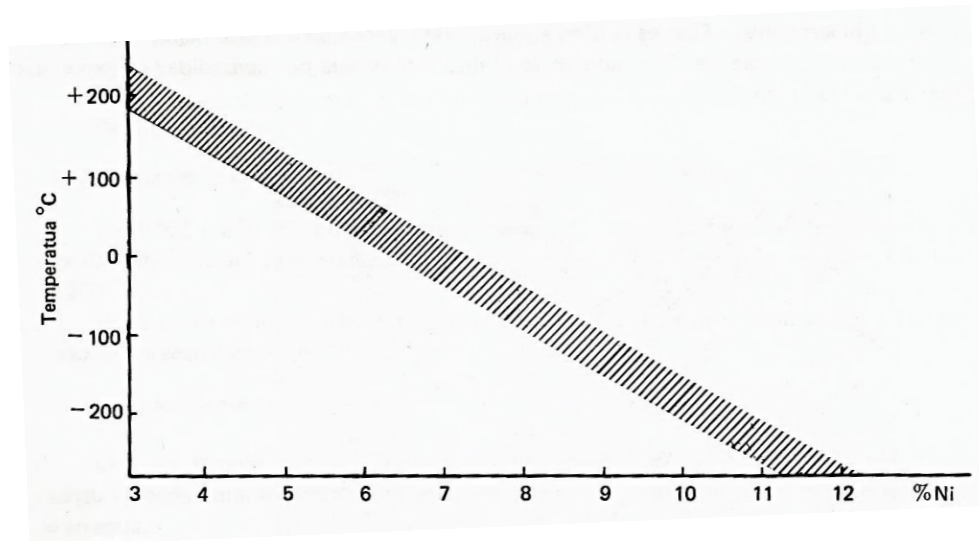


Figura 2.2.2 Línea de los puntos Ms en función del níquel en un acero de carbono = 0.04% y cromo = 18% (este gráfico es orientativo).

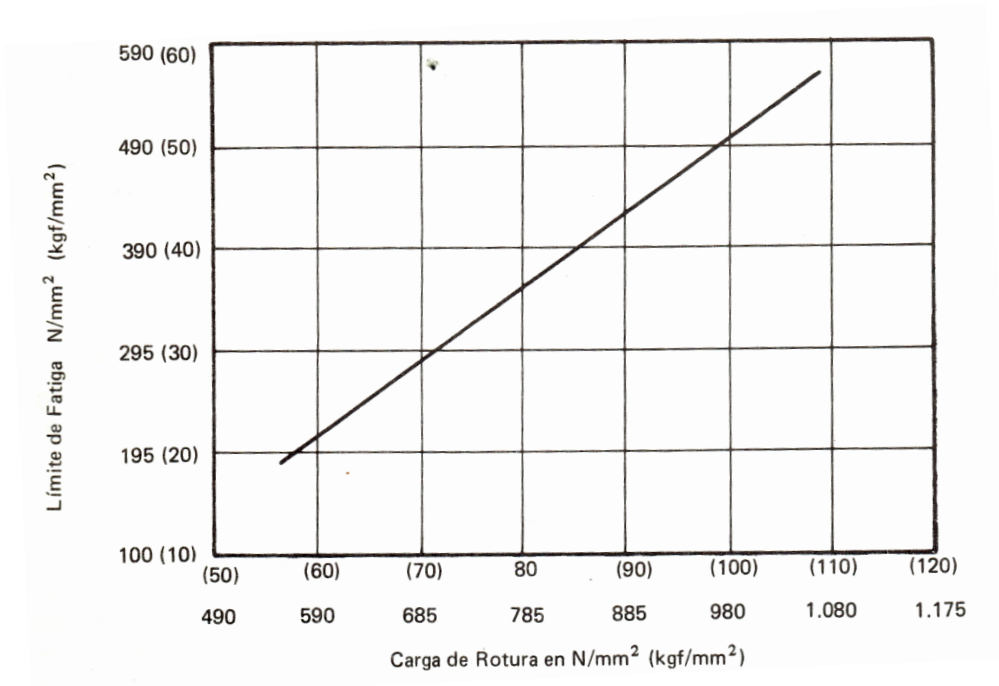


Figura 11 Variación del límite de fatiga en función de la carga de rotura en aceros austeníticos deformados en frío.

En la mayoría de las tablas y gráficos de propiedades y características mecánicas de los aceros inoxidables austeníticos, aparece el término “recocido” en lugar de “temple austenítico” o “hipertemple”. Esto es debido a que el tratamiento para la disolución de los carburos recibía

el nombre de “recocido de solubilización” y que por comodidad se expresaba con la palabra “recocido”.

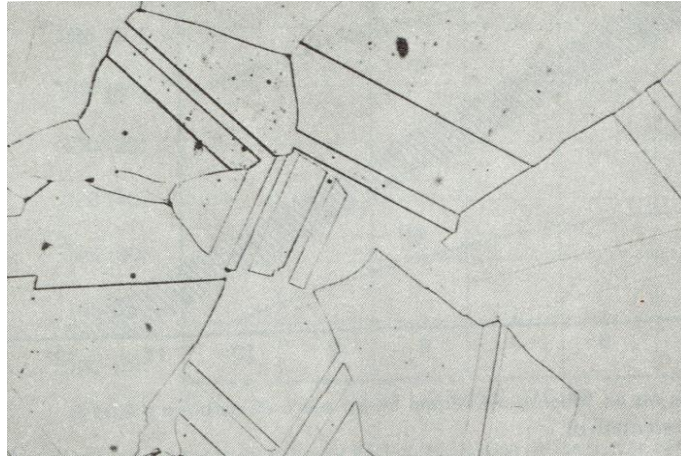


Figura 12. Estructura de un acero de composición; C=0.04%; Cr=17.20%; Ni=10.40% y Mo=2.16% con temple austenítico (hipertemple). Estructura austenítica exenta de carburos.

Acero inoxidable austenítico X 6 Cr Ni 19-10 (UNE F-3504) “correspondencia con AISI 304”

Composición química (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00	8.00
máx	máx	máx	máx	máx	20.00	10.50

Generalidades

Cuando se le mantiene a temperaturas comprendidas entre 450 y 900°C se provoca una precipitación de carburos que lo hacen sensible a la corrosión intergranular. Estos carburos precipitados podemos disolverlos de nuevo con un temple austenítico (hipertemple).

Este problema aparece en las soldaduras, precipitándose los carburos en las zonas cercanas al cordón donde la temperatura está comprendida entre 450 y 900°C. Por ello, su empleo queda limitado a aquellas piezas que posteriormente pueden recibir un temple austenítico (hipertemple).

La soldadura es posible con todos los procedimientos, pueden realizarse bajo llama oxiacetilénica y por resistencia. Para espesores pequeños pueden emplearse las soldaduras de arco sin metal de portación y bajo atmósfera de argón puro. Para espesores grandes, el mismo procedimiento con hilo de aportación o soldadura con electrodos revestidos. Las soldaduras deberán ser decapadas y pasivadas para evitar focos de corrosión.

Transformaciones en caliente

De 1175 a 850°C con enfriamiento en aire; la temperatura dependerá del grado de deformación. Para grandes reducciones puede elevarse la temperatura inicial hasta 1250°C. Por su baja conductividad térmica es necesario darle mayores permanencias que en el caso de los aceros comunes.

Tratamientos térmicos.

Con temple austenítico (hipertemple) entre 1030 y 1100 °C disolveremos los carburos precipitados. El enfriamiento se hará en agua. Cuando las piezas a tratar sean acero moldeado es conveniente aumentar en unos 50 °C, la temperatura del temple austenítico.

Con este tratamiento la estructura estará formada básicamente por austenita, aunque pueden aparecer pequeñas cantidades de ferrita. Esto dependerá de la composición química, de la temperatura del tratamiento y del enfriamiento.

Propiedades físicas

-Características mecánicas a temperatura ambiente

Tratamiento	Rm N/mm ² (kgf/mm ²)	Rp del 0.2 % mín N/mm ² (kgf/mm ²)	Rp del 1 % mín N/mm ² (kgf/mm ²)	A en %, mín			ρ(KU) mín J (kgfm)	Dureza HB
				planos				
				barras 5 ≤ d ≤ 160	0,5 ≤ e ≤ 3	3 ≤ e ≤ 30		
Hipertemple	490–685 (50–70)	195 (20)	235 (24)	40	38	40	118 (12)	192 máx

Efectos de la exposición de temperaturas bajo cero sobre las propiedades de tracción, a temperatura ambiente, en materiales recocidos.

Temperatura °C	Tiempo, horas	Estado	Resistencia a la tracción (Rm) $\frac{N}{mm^2}$ ($\frac{Kgf}{mm^2}$)	Límite elástico del 0.2% (Rp) $\frac{N}{mm^2}$ ($\frac{Kgf}{mm^2}$)	Alargamiento (L=50mm) %
-269	22	Antes	600 (61)	265 (27)	63
		Después	610 (62)	265 (27)	66

Efectos de la exposición a temperaturas elevadas sobre las propiedades de tracción y resiliencia, a temperatura ambiente en materiales recocidos

Acero	Temperatura de exposición, °C	Tiempo de exposición, horas	Resistencia a la tracción (Rm) N/mm ² (kgf/mm ²)	Límite elástico del 0.2% (Rp) N/mm ² (kgf/mm ²)	Alargamiento (A) (en 50 mm) %	Estricción %	Ensayo Charpy J/cm ² (kgfm/cm ²)
304 (A)	Ambiente	—	570 (58)	235 (24)	66 *	76	245 (25) **
	480	10.000	570 (58)	225 (23)	66 *	76	215 (22) **
	570	10.000	600 (61)	265 (27)	63 *	72	167 (17) **
	650	10.000	560 (57)	215 (22)	56 *	68	127 (13) **
304 (B)	Ambiente	—	550 (56)	215 (22)	65	72	>335 (34) ***
	650	10.000	600 (61)	265 (27)	54	62	157 (16) ***
	730	10.000	590 (60)	255 (26)	50	60	157 (16) ***
	820	10.000	550 (56)	205 (21)	56	61	108 (11) ***

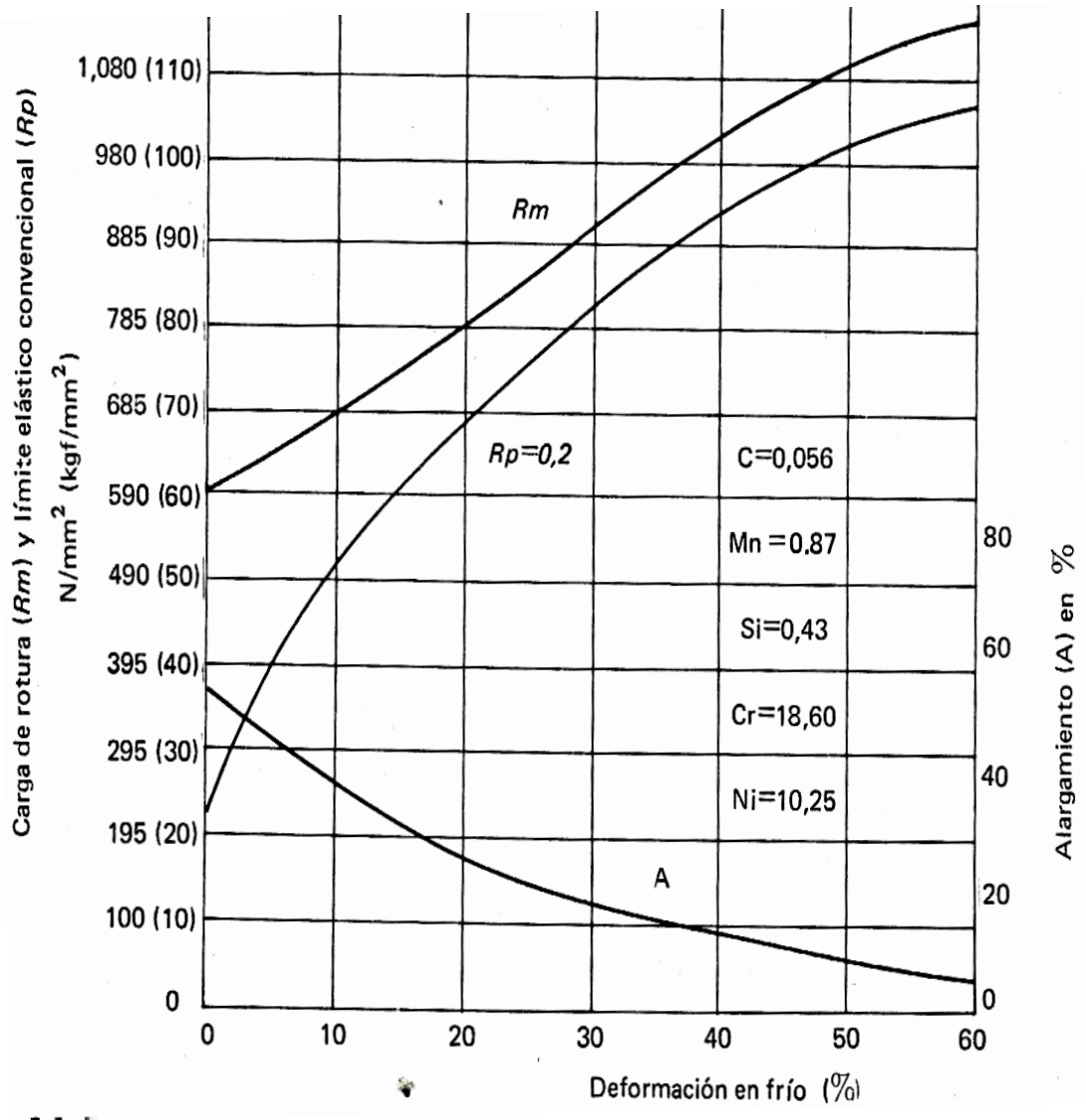
* Alargamiento en 25 mm.

** Entalla en ojo de cerradura.

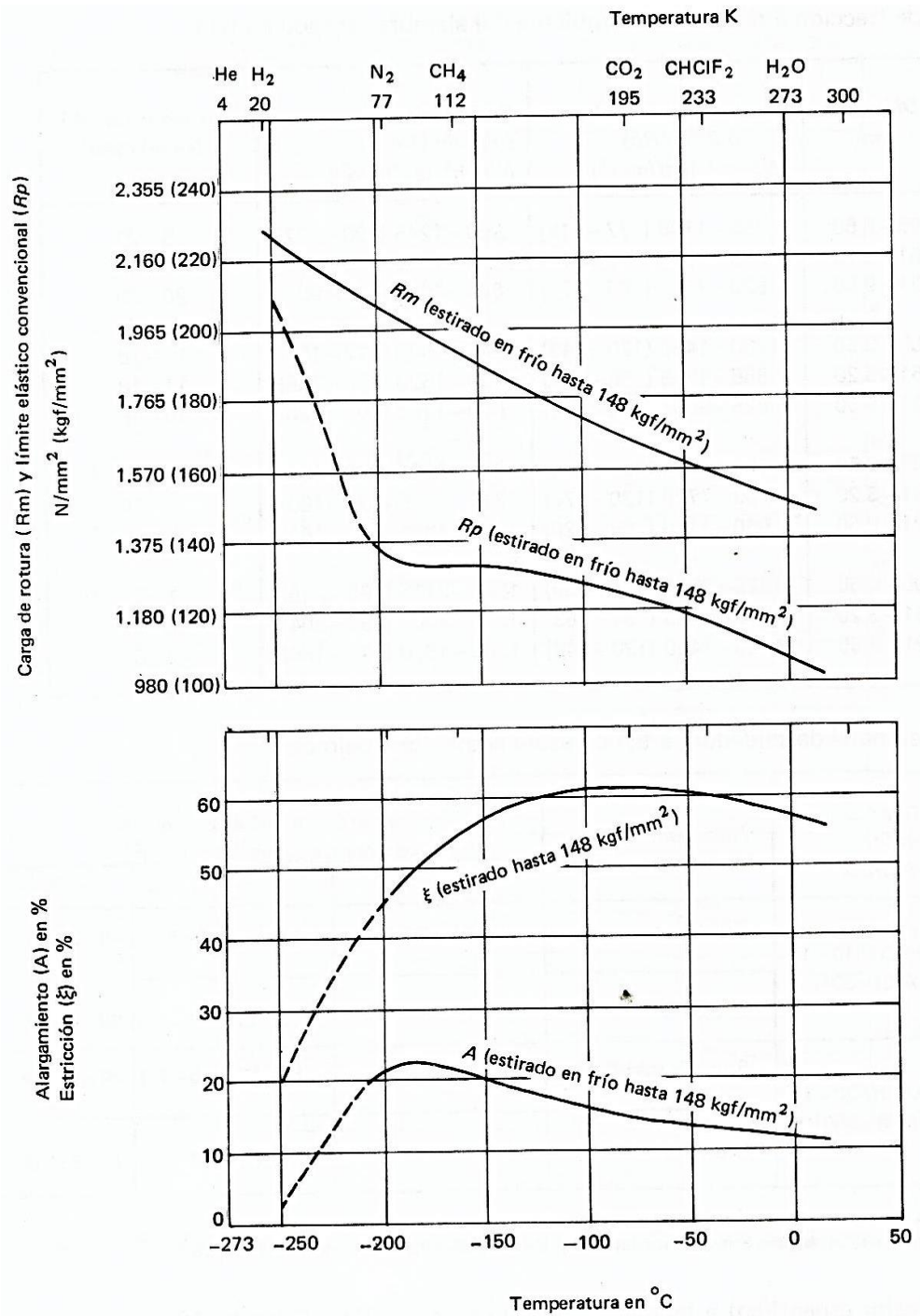
*** Entalla en V.

-Módulo de elasticidad y módulo rigidez a varias temperaturas.

<i>Temperatura</i> °C	<i>Módulo de elasticidad</i> (tracción) kN/mm ² (kgf/mm ²)	<i>Módulo de rigidez</i> (cizallamiento) kN/mm ² (kgf/mm ²)
20	196 (20.000)	79,5 (8.100)
90	192 (19.600)	76,5 (7.800)
150	188 (19.100)	74,5 (7.600)
200	184 (18.700)	72,5 (7.400)
260	180 (18.300)	70,5 (7.200)
320	177 (18.000)	69 (7.000)
370	171 (17.400)	67 (6.800)
430	166 (16.900)	65,5 (6.700)
480	160 (16.300)	64 (6.500)
540	155 (15.800)	62 (6.300)
590	150 (15.300)	60 (6.100)
650	145 (14.800)	57 (5.800)
700	140 (14.300)	55 (5.600)
760	134 (13.600)	53 (5.400)
820	125 (12.700)	51 (5.200)



Efecto de la deformación en frío sobre las propiedades de tracción, a temperatura ambiente. (Estas curvas corresponden a materiales que previamente han sido transformados en caliente y recocidos).



Propiedades de tracción, a temperaturas bajo cero, para materiales deformados en frío

CAPITULO 2

“SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO”

2.1 Soldadura de arco.

La soldadura de arco o soldadura eléctrica es el proceso de más amplia aceptación como el mejor, más económico y 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 “encender el arco”, es decir, para crear una corriente intensa que salte entre el electrodo y el metal. En seguida 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. El soldador selecciona el electrodo (metal de aporte) que ha de usar para producir el arco de acuerdo con las especificaciones del trabajo.

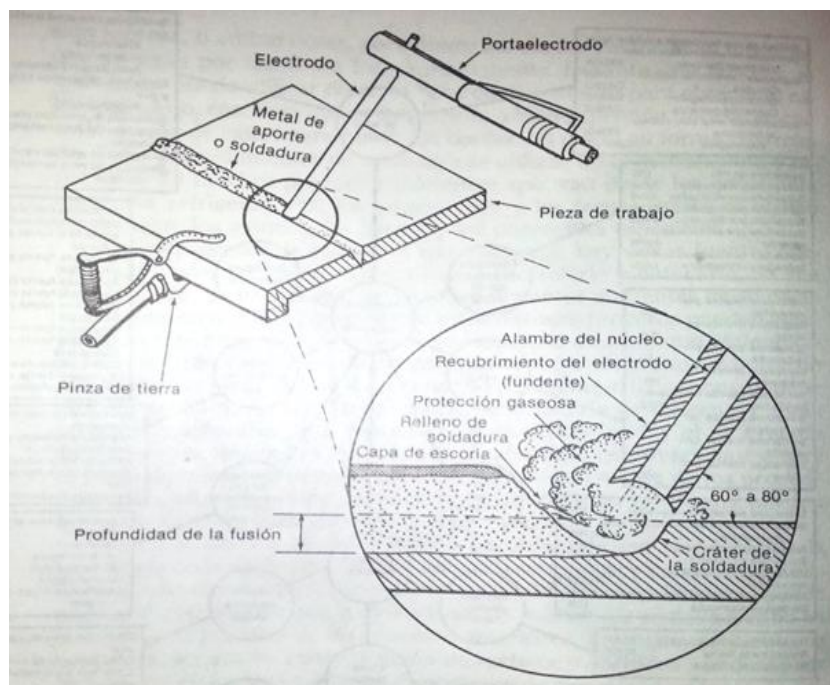


Fig. 13 Proceso de soldadura por arco. (Con permiso de la ASM, tomada del Metals Handbook, Volumen 6, Copyright de la American Society for Metals, 1971.)

Existen varios procedimientos de soldadura de arco: soldadura por arco de carbón, soldadura de arco de tungsteno con gas, soldadura de arco metálico con gas, soldadura de arco sumergido, soldadura con hidrógeno atómico, soldadura de arco con plasma y la soldadura de arco metálico protegido, que es el proceso eléctrico más usado.

2.2 Procesos y equipos para la soldadura de arco.

De todos los procesos de soldadura, el de soldadura con arco es el que se aplica con más frecuencia. En esta soldadura, el calor necesario para fundir el electrodo y metal de la pieza de trabajo se genera por la resistencia (fricción) de ambos al paso de la electricidad (corriente).

Cuando pasa electricidad por un alambre, el movimiento de la energía eléctrica en el alambre origina fricción, y dicha fricción calienta el alambre. Como el alambre se calienta como resultado de su resistencia al paso de electricidad, es lógico deducir que cuanto mayor sea el flujo (corriente) de electricidad que pasa por un alambre de un diámetro dado, mayor será la fricción que resulte. El incremento de fricción dará así lugar a un incremento en calor.

2.2.1 Circuito de la soldadura de arco.

Para establecer un circuito de soldadura debe contarse con una fuente de energía eléctrica; dicha fuente es la máquina de soldar. Se utilizan dos cables. Uno sirve para conectar la porta electrodo a una de las terminales de la máquina y el otro cable conecta la pinza de tierra a la otra terminal. Ambos cables deben ser del tamaño, la longitud y material adecuados para conducir la corriente requerida ofreciendo poca resistencia; de lo contrario, la energía se disipará, desperdiándose en forma de calor en el cable.

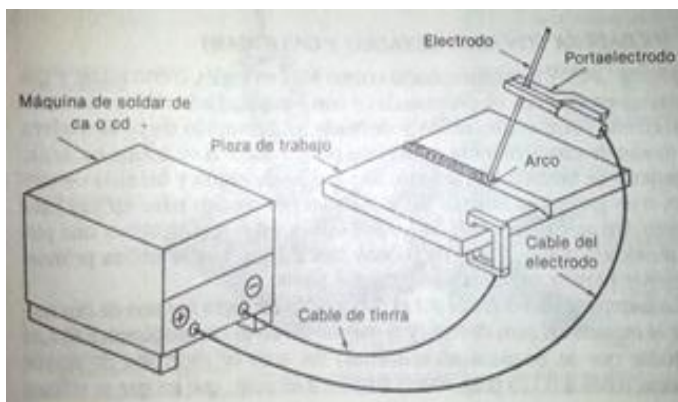


Fig. 14. Equipo para realizar soldadura eléctrica.

2.3 Electrodos para soldadura de arco

El desarrollo de electrodos recubiertos con fundente, capaces de producir soldaduras con propiedades físicas que igualen o sobrepasen las del metal base, ha convertido a la soldadura de arco en el proceso de soldadura más generalizado.

Antes del desarrollo del electrodo recubierto, los gases atmosféricos que rodean la zona de soldadura de alta temperatura, formaban óxidos y nitruros con el metal de soldadura. En general, los óxidos tienen baja resistencia a la tensión y baja ductilidad, por lo cual tienden a reducir las propiedades normales de los metales base. Los materiales de recubrimiento de los electrodos permiten lograr en forma automática una acción de limpieza y desoxidación en el charco fundido. Al fundirse el recubrimiento en el arco, libera una atmósfera gaseosa, inerte, que protege el extremo fundido del electrodo, a la vez que protege el charco de soldadura fundido. Esta atmósfera impide que el oxígeno y el nitrógeno se pongan en contacto con el área fundida de soldadura, en tanto que el residuo de recubrimiento quemado forma una escoria para cubrir el metal de soldadura depositado. Esta escoria también aislada a la soldadura del oxígeno y el nitrógeno, ya que se ha enfriado hasta una temperatura en la que ya no se forman óxidos y nitruros. Adicionalmente, la escoria hace que sea más lento el enfriamiento, con lo que se obtiene una soldadura más dúctil.

Además de estos beneficios, se logran otras ventajas con los electrodos recubiertos. El recubrimiento mejora el aspecto de la soldadura, hace más fácil el salto del arco, ayuda a mantener éste, regula la profundidad de penetración, reduce el chisporroteo, mejora la calidad de la soldadura a los rayos x, y agrega agentes de aleación al metal de la soldadura, o restaura elementos perdidos. La escoria que deja el recubrimiento no sólo protege el cordón de soldadura, sino que también ayuda a darle forma. Además, se ha agregado fierro pulverizado al recubrimiento de muchos de los tipos básicos de electrodos. Bajo el intenso calor del arco, el polvo de fierro se convierte en acero, y aporta metal al depósito de soldadura. Cuando se agrega en cantidades relativamente grandes, aumenta apreciablemente la velocidad de aplicación de la soldadura, y mejora el aspecto de ésta.

El recubrimiento del electrodo sirve también de aislante al alambre que constituye el núcleo del electrodo. Afecta a la longitud del arco y al voltaje de trabajo, y controla la posición de aplicación de la soldadura en la que puede usarse el electrodo.

2.3.1 Características del electrodo E-308L.

Descripción: El electrodo 308L posee un revestimiento rutílico, lo que lo hace apto para soldar con CA o CC, electrodo positivo. Este electrodo se caracteriza por un arco estable de transferencia spray, cuyo depósito es de excelente forma y apariencia. La escoria se desprende fácilmente, además de tener muy buena reanudación de arco por lo que se aconseja usarlo en soldadura intermitente. El depósito es de acero inoxidable austenítico. Características: Electrodo para aceros inoxidables austeníticos, revestimiento rutílico, color blanco, Toda posición, corriente continua, electrodo positivo o corriente alterna (CCEP, CA), resistente a la corrosión intergranular. Usos: El electrodo 308L ha sido diseñado principalmente para soldar aceros inoxidables austeníticos con un contenido extra bajo de carbono. Aplicaciones Típicas: aceros inox. 304, 304L, 308, 308L, 321, 347, 348 equipos químicos y petroquímicos, estanques que contengan productos químicos corrosivos

COMPOSICION QUIMICA DEL METAL DEPOSITADO	
C	0,02%
Mn	0,63%
Si	0,76 %
P	0,025%
S	0,008%
Cr	18,7%
Ni	10,0%
Mo	0,18%

CARACTERISTICAS TIPICAS DEL METAL DEPOSITADO	
Resistencia a la Tracción	560 Mpa
Agrietamiento en 50 mm	41%

Figura recuperada de indura www.cryogas.com

Características sobresalientes: Electrodo revestido para proceso smaw (arco manual). Aleación tipo inconel. Usos y aplicaciones, industria química, petroquímica, alimentaria, papeleras y laboratorios, para fabricación de intercambiadores, reactores, bombas y válvulas industriales. Especialmente donde la combinación del calor y materiales corrosivos es importante y también donde la contaminación con hierro podría dañar equipos o procesos. Procedimientos para soldar, corriente directa: polaridad invertida (Electrodo al positivo) 2.3 mm. (3/92”) 40 - 65 amperes 3.2 mm. (1/8”) 70 - 100 amperes preparar biseles en “V” “K” o “X”, según el espesor de las placas. Efectuar limpieza en la superficie para eliminar rastros de contaminación. Suelda en todas posiciones.

Resistencia a la Tensión	80 Ksi	550 MPa
Elongación	30 %	

C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni	Al	Cr	Ta
0.10	5.0	10.0	0.03	0.015	1.0	0.50	59.0		13.0	1.0
	9.5								17.0	2.5

Imagen recuperada de Infra. www.infrasur.com.mx

2.4 Factores que afectan las propiedades del metal de soldadura

Las propiedades mecánicas (resistencia a la tensión y dureza) de la soldadura, dependen del análisis (composición química) del depósito de soldadura. Como el metal base y metal de aporte se llevan ambos al estado de fusión y se mezclan dentro del charco de soldadura, es aparente que el análisis final de la soldadura está relacionado con el análisis del metal base, el análisis del metal de aporte y la relación de éstos en la mezcla.

En la soldadura de arco metálico protegido, el análisis químico del metal depositado depende del análisis del alambre del núcleo y del análisis y la acción del recubrimiento del electrodo. El diseño compuesto puede disponerse para depositar prácticamente cualquier acero

al carbono o aleado. Los recubrimientos de los electrodos pueden prepararse de manera que agreguen carbono al depósito, que agreguen metales de aleación, y también para quemar ingredientes objetables de la soldadura.

Algunos electrodos para soldadura de arco metálico protegido depositan el metal en forma de gotas muy finas, o a manera de rocío, y estas partículas deben calentarse a una temperatura muy elevada cuando están en el arco. De hecho, parte del hierro puede evaporarse. El intenso calentamiento y la acción limpiadora de la escoria dan un metal de soldadura sano. La penetración controla la relación de mezcla de los metales de aporte y base. Puede aumentarse o disminuirse por manipulación del electrodo.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Preparación de las muestras.

Para realizar las probetas se utilizaron placas de fundición gris perlítica; y de acero inoxidable 304 laminados en frío, la preparación de las probetas para las pruebas se dividió en 2 etapas:

- Probetas para dureza.
- Probetas para ensayo de metalografía.

Las cuales fueron enfriadas a temperatura ambiente.

Para obtener las probetas se llevaron a cabo los siguientes pasos:

Se cortó el material en una sierra eléctrica industrial marca JET (**fig. 15 y 16**), obteniendo piezas pequeñas con doble cara unidas por un panel, más fáciles de trabajar esto para la fundición gris, para el acero se cortaron piezas pequeñas fáciles de trabajar de una placa proveniente de una estructura metálica.



Fig. 15. Corte del material.



Fig. 16. Corte del material.

Después se les realizó un corte en la parte central para eliminar los paneles que mantenían unidas las dos caras del disco con un esmeril de marca LECO (fig. 17).



Fig. 17. Corte del material.

A cada una de las piezas obtenidas se les dio un refrentado en una fresadora de marca DIMSA (fig. 18) para obtener caras paralelas.



Fig. 18. Refrentado de placa.

Posteriormente a las 4 piezas ya cortadas, 2 para acero inoxidable y 2 para la fundición gris se les realizaron cortes en el esmeril (**fig. 19**) para obtener probetas de $2 \times 1.5 \times \frac{1}{4}$ de pulgada que se utilizaron para las pruebas de dureza y metalografía.



Fig. 19. Corte del material.

Para realizar el cordón de soldadura a lo largo de la cara superior de la probeta manteniendo el cordón en la parte central, cada probeta con su respectivo electrodo asignado, (**fig. 20 y fig. 21**).



Fig. 20. Aplicación del cordón de soldadura.



Fig. 21. Probetas soldadura,

Se les realizó un corte transversal a las probetas, para proceder con el desbaste. Para el desbaste de las probetas se utilizó una pulidora marca DAP-U utilizando lijas de 180, 220, 320, 500, 800 y 1000 respectivamente (**fig. 22**). Para poder determinar la zona afectada por el calor (ZAC) fue necesario un pulido acabado espejo; se realizó en la pulidora marca Leco (**fig. 23**), utilizando el paño y alúmina (Al_2O_3) de 0.3μ .



Fig. 22. Devaste de probeta.



Fig.23. Pulidora marca Leco.

Los estudios de durezas fueron realizados en un durómetro marca Amsler (**fig. 24**) utilizando una carga de 2 Kg, efectuando 50 lecturas sobre las áreas del material base, la ZAC y la zona con material de aporte con una distancia entre cada lectura de 0.0125 pulgadas (**fig. 25 y 26**).



Fig. 24. Durómetro marca amsler.



Fig. 25. Ensayo de dureza.



Fig. 26. Huella del penetrador.

Para la metalografía se tomaron fotografías con una cámara Sony, realizando tomas de la misma región a diferentes aumentos. (**fig. 27**)

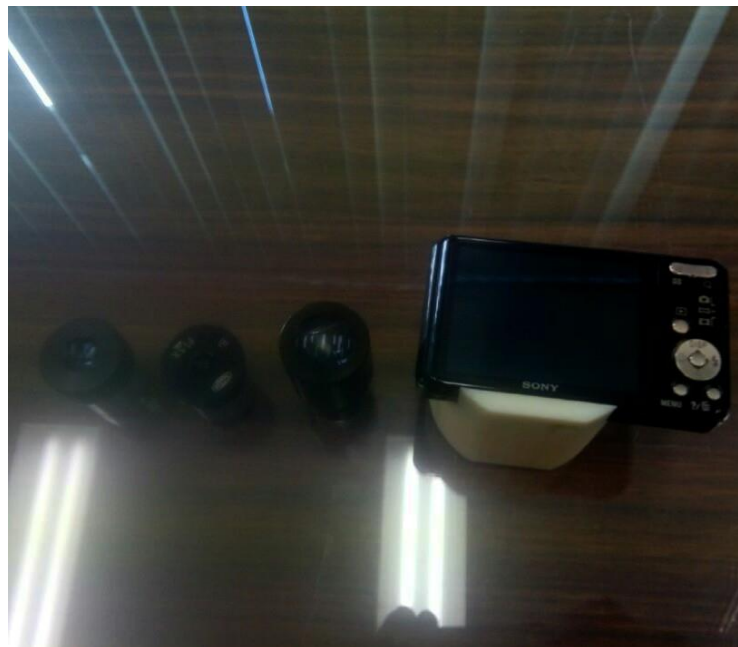


Fig. 27. Equipo para metalografía.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1 DUREZA.

La prueba de dureza se realizó a una probeta de material base de acero inoxidable 304 aplicando un cordón de soldadura con un electrodo revestido de acero inoxidable 308-16 con una escala Vickers y carga aplicada de 2 kilogramos, a una distancia de 0.125” entre cada huella, pasando por el material base, zona afectada por el calor (ZAC) y el material de aporte; cuyos resultados fueron los siguientes:

La tabla de dureza 4.1 nos muestra los resultados obtenidos en los ensayos de dureza con la probeta de acero inoxidable 304, con un cordón de soldadura de un electrodo de acero inoxidable 308-16L.

HUELLA	HV	D1	HUELLA	HV	D1
1	357	0.10	26	184	0.16
2	357	0.10	27	184	0.16
3	357	0.10	28	184	0.16
4	357	0.10	29	184	0.16
5	357	0.10	30	357	0.10
6	357	0.10	31	357	0.10
7	357	0.10	32	357	0.10
8	357	0.10	33	357	0.10
9	357	0.10	34	357	0.10
10	357	0.10	35	357	0.10
11	320	0.13	36	249	0.12
12	357	0.10	37	357	0.10
13	357	0.10	38	357	0.10
14	357	0.10	39	357	0.10
15	357	0.10	40	357	0.10
16	253	0.15	41	320	0.13
17	213	0.14	42	320	0.13
18	213	0.14	43	320	0.13
19	213	0.14	44	357	0.14
20	184	0.16	45	357	0.14
21	184	0.16	46	357	0.14
22	184	0.16	47	357	0.14
23	184	0.16	48	357	0.14
24	184	0.16	49	357	0.14
25	184	0.16	50	357	0.14

MATERIAL BASE

ZAC

MATERIAL DE APORTE.

Posteriormente se graficaron los resultados de las durezas de 50 ensayos, y se marcaron las diferentes zonas como lo muestra la tabla de las durezas obtenidas.

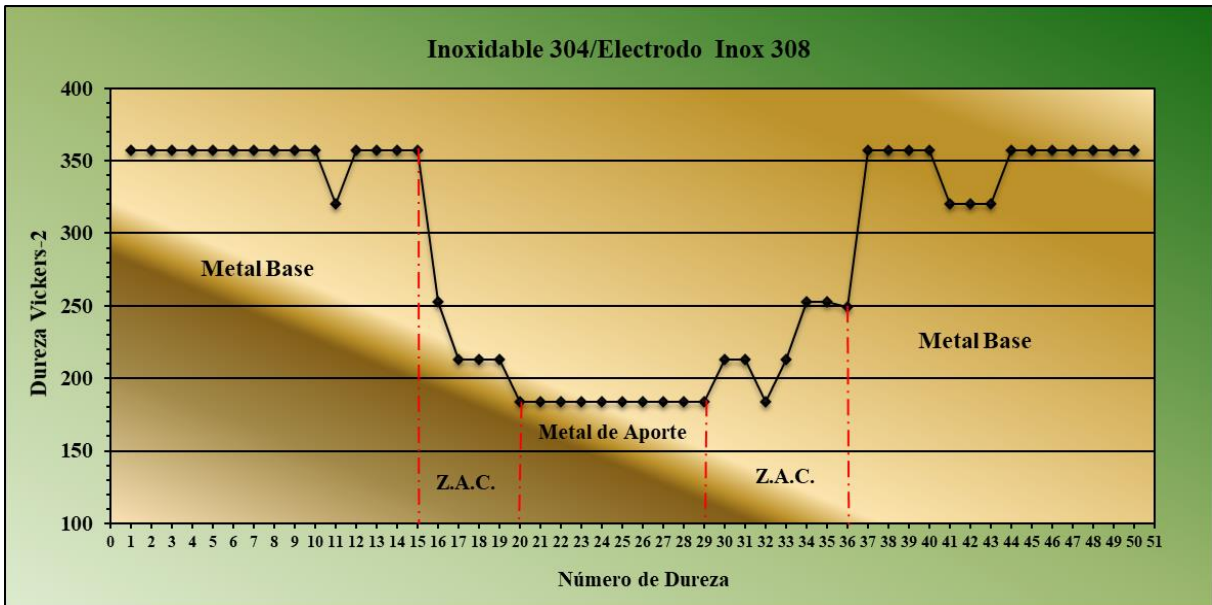


Figura 28.- Grafica de dureza del acero inoxidable 304 y un cordón de soldadura con un electrodo de Níquel enfriado a temperatura ambiente

Haciendo uso de la desviación estándar como herramienta estadística, para poder determinar un rango entre las durezas obtenidas en el metal base, zona afectada por el calor y metal de aporte, con relación a la dureza media de la muestra, entre un rango máximo y un mínimo, para poder considerar que las durezas ensayadas, se puedan considerar como confiables de haberse realizado correctamente.

Las gráficas siguientes muestran la dureza promedio, la que se puede considera como la dureza ideal del experimento de la aplicación de la soldadura en la placa de acero inoxidable 304 y el electrodo de acero inoxidable tipo 308-16.

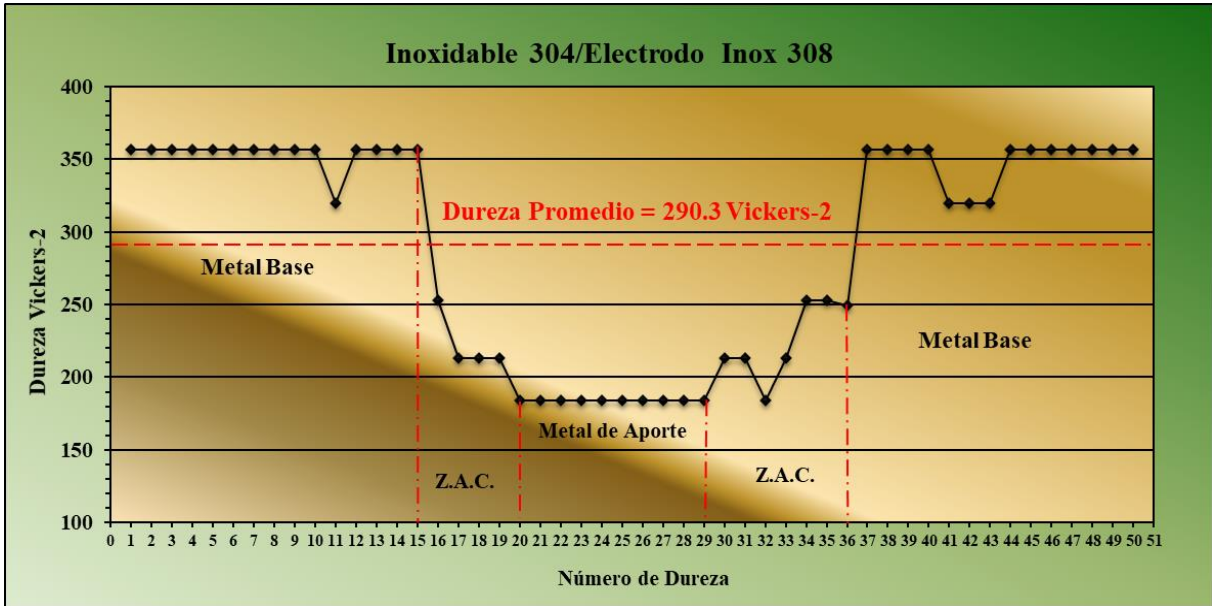


Figura 29.- Grafica de dureza con la dureza promedio.

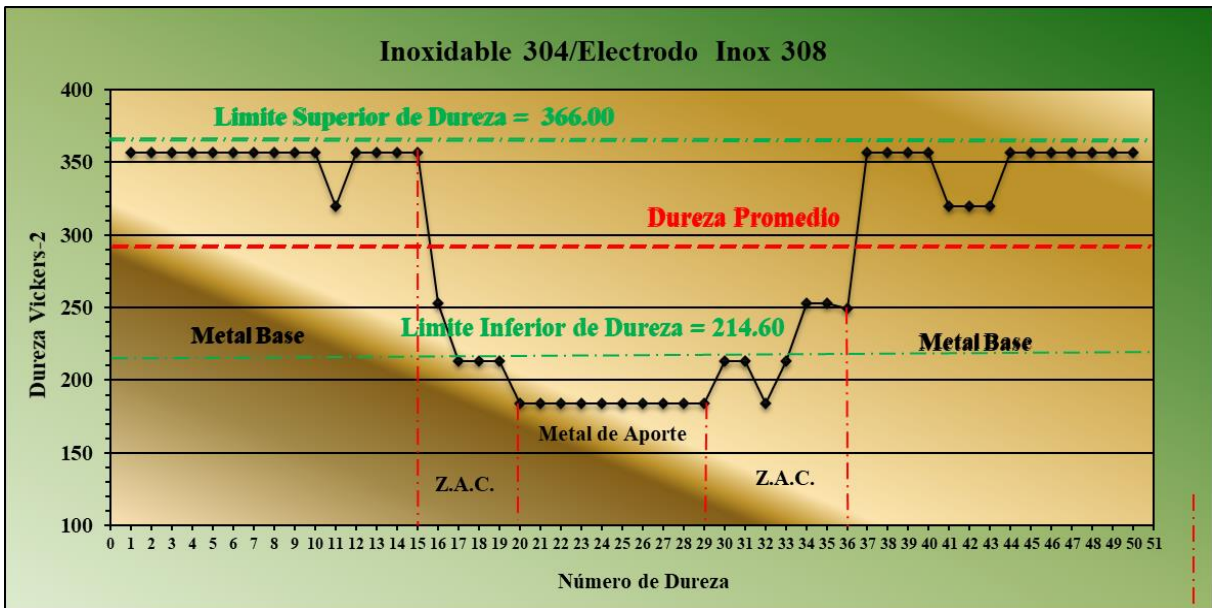


Figura 30.- Grafica de dureza con el límite superior e inferior de la dureza en un rango de aceptable.

Los datos recaudados en la probeta de acero inoxidable 304 a la cual se le aplico un cordón de soldadura con electrodo 308-16, nos indican que la dureza máxima es de 357hv, esto en la zona de material base y la mínima es de 184hv en la zona de material de aporte, esto nos

indica que la dureza disminuyo en el área afectada por el calor, pero esta por encima de la zona de material de aporte. En un proceso de soldadura, se incrementa la dureza en la zona afectada por el calor (ZAC) dando esto como resultado que el elemento, puede fallar en un momento, se disminuye la dureza en el centro del cordón es decir no existe riesgo alguno de romperse en la soldadura.

Prueba de dureza que se realizó con una escala Vickers y carga de 2 kilogramos, pasando por el material base, zona afectada por el calor (ZAC) y el material de aporte; cuyos resultados fueron los siguientes:

La tabla 4.2 nos muestra los resultados obtenidos en los ensayos de dureza con la probeta de fundición perlítica con un cordón de soldadura de un electrodo de acero inoxidable tipo 308-16L.

HUELLA	HV	D1	HUELLA	HV	D1
1	371	0.10	26	258	0.12
2	371	0.10	27	258	0.12
3	307	0.11	28	258	0.12
4	307	0.11	29	258	0.12
5	371	0.10	30	258	0.12
6	371	0.10	31	258	0.12
7	371	0.10	32	258	0.12
8	307	0.11	33	258	0.12
9	307	0.11	34	258	0.12
10	371	0.10	35	258	0.12
11	371	0.10	36	307	0.11
12	371	0.10	37	307	0.11
13	371	0.10	38	258	0.12
14	371	0.10	39	258	0.12
15	371	0.10	40	307	0.11
16	258	0.12	41	307	0.11
17	307	0.11	42	371	0.10
18	307	0.11	43	371	0.10
19	307	0.11	44	371	0.10
20	258	0.12	45	371	0.10
21	258	0.12	46	371	0.10
22	258	0.12	47	371	0.10
23	258	0.12	48	371	0.10
24	258	0.12	49	371	0.10
25	258	0.12	50	371	0.10

MATERIAL BASE

ZAC

MATERIAL DE APORTE.

Posteriormente se graficaron los resultados de las durezas de 50 ensayos, y se marcaron las diferentes zonas como lo muestra la tabla de las durezas obtenidas.

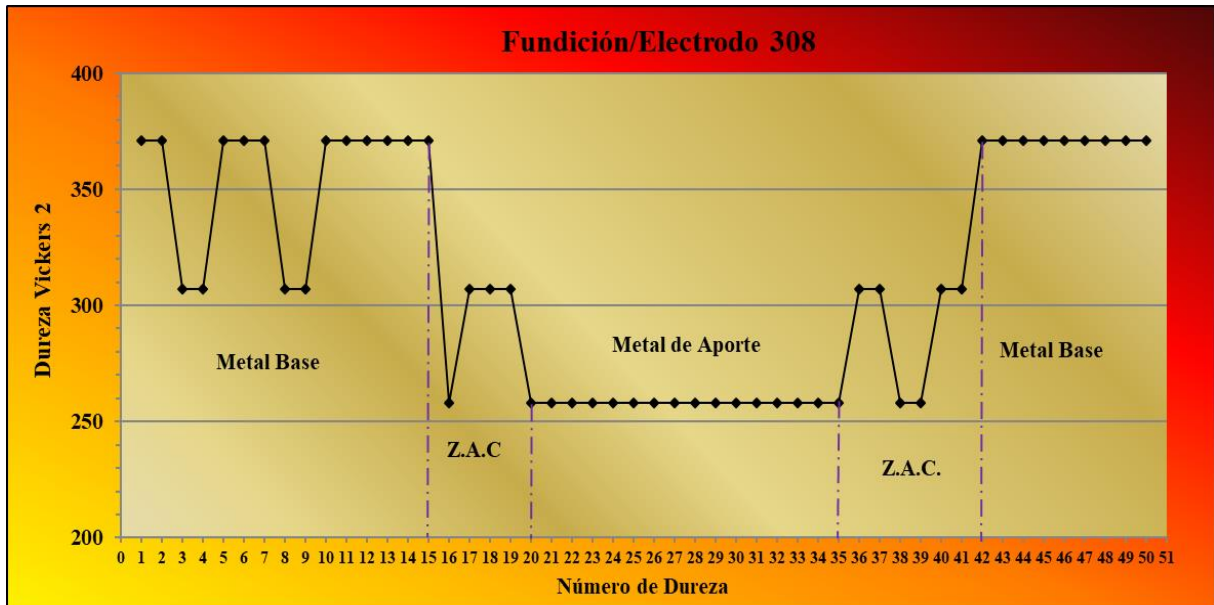


Figura 31. Grafica de dureza de la fundición gris y un cordón de soldadura con electrodo de acero 308-16 enfriado a temperatura ambiente.

Haciendo uso de la desviación estándar como herramienta estadística, para poder determinar un rango entre las durezas obtenidas en el metal base, zona afectada por el calor y metal de aporte, con una relación a la media entre un rango máximo y un mínimo, donde se pueda considerar que las durezas se pueden tener una confiabilidad de haberse realizado correctamente.

Las gráficas siguientes muestran la dureza promedio, la que se puede considera como la dureza ideal del experimento de la aplicación de la soldadura en la placa de fundición gris y la aplicación del electrodo de acero inoxidable tipo 308-16.

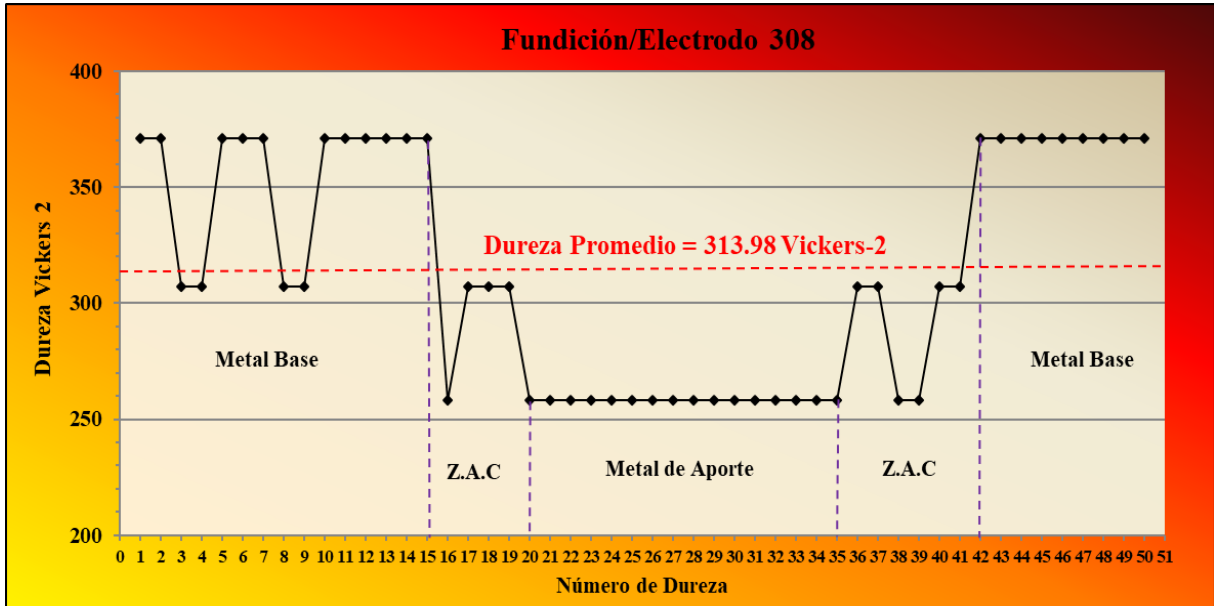


Figura 32. Grafica de dureza con la dureza promedio.

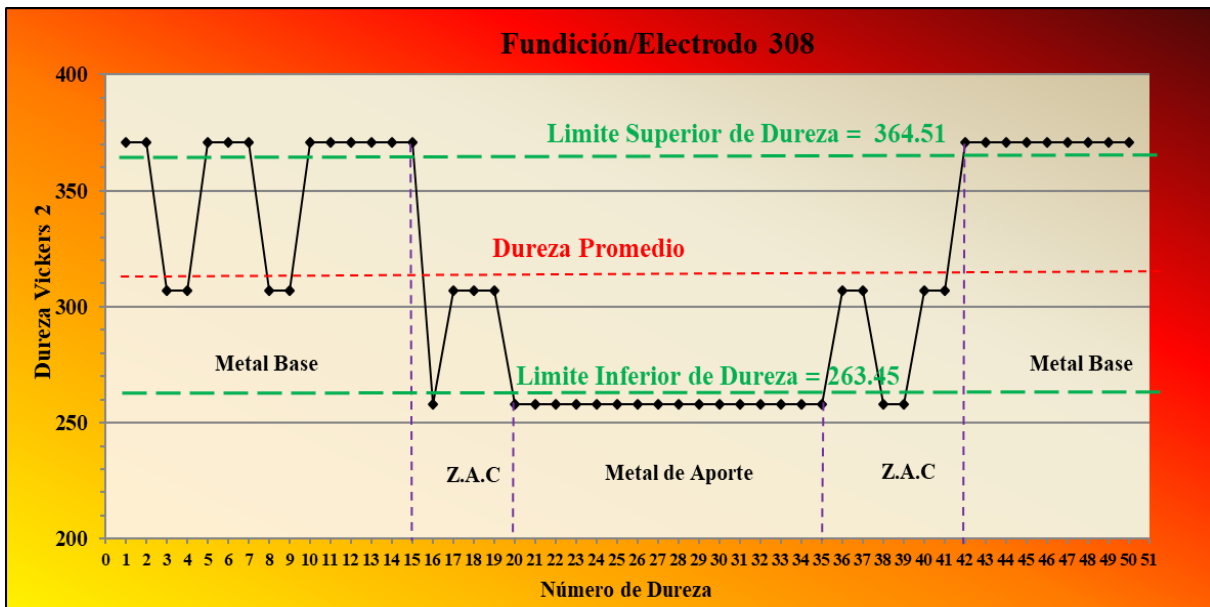


Figura 33. Grafica de dureza con el límite superior e inferior de la dureza en un rango de aceptable.

Los datos recaudados en la probeta de fundición austenítica con un cordón de soldadura de un electrodo 308-16, nos indican que la dureza máxima es de 371 hv esto en el material base y disminuye al entrar a la zona afectada por el calor a 258hv posteriormente en un punto intermedio entre la (zac) y el material de aporte la dureza incrementa alcanzando la dureza promedio 307hv y al entrar en el material de aporte vuelve a caer hasta 258, esto nos indica

que la dureza en la zona afectada por el calor incrementa a su dureza promedio que sería lo más normal pero decrece al entrar en la zona del material de aporte.

Prueba de dureza que se realizó con una escala Vickers y carga de 2 kilogramos, pasando por el material base, zona afectada por el calor (ZAC) y el material de aporte; cuyos resultados fueron los siguientes:

La tabla 4.3 nos muestra los resultados obtenidos en los ensayos de dureza con la probeta de acero inoxidable 304 con un cordón de soldadura de un electrodo revestido de níquel.

HUELLA	HV	D1	HUELLA	HV	D1
1	371	0.10	26	258	0.12
2	371	0.10	27	258	0.12
3	371	0.10	28	258	0.12
4	371	0.10	29	307	0.11
5	371	0.10	30	258	0.12
6	371	0.10	31	258	0.12
7	371	0.10	32	258	0.12
8	371	0.10	33	307	0.11
9	258	0.12	34	307	0.11
10	307	0.11	35	371	0.10
11	258	0.12	36	371	0.10
12	307	0.11	37	371	0.10
13	258	0.12	38	371	0.10
14	258	0.12	39	371	0.10
15	258	0.12	40	371	0.10
16	258	0.12	41	371	0.10
17	219	0.13	42	371	0.10
18	219	0.13	43	371	0.10
19	219	0.13	44	371	0.10
20	219	0.13	45	371	0.10
21	219	0.13	46	371	0.10
22	219	0.13	47	371	0.10
23	219	0.13	48	371	0.10
24	219	0.13	49	371	0.10
25	219	0.13	50	371	0.10

MATERIAL BASE

ZAC

MATERIAL DE APORTE.

Posteriormente se graficaron los resultados de las durezas de 50 ensayos, y se marcaron las diferentes zonas como lo muestra la tabla de las durezas obtenidas.

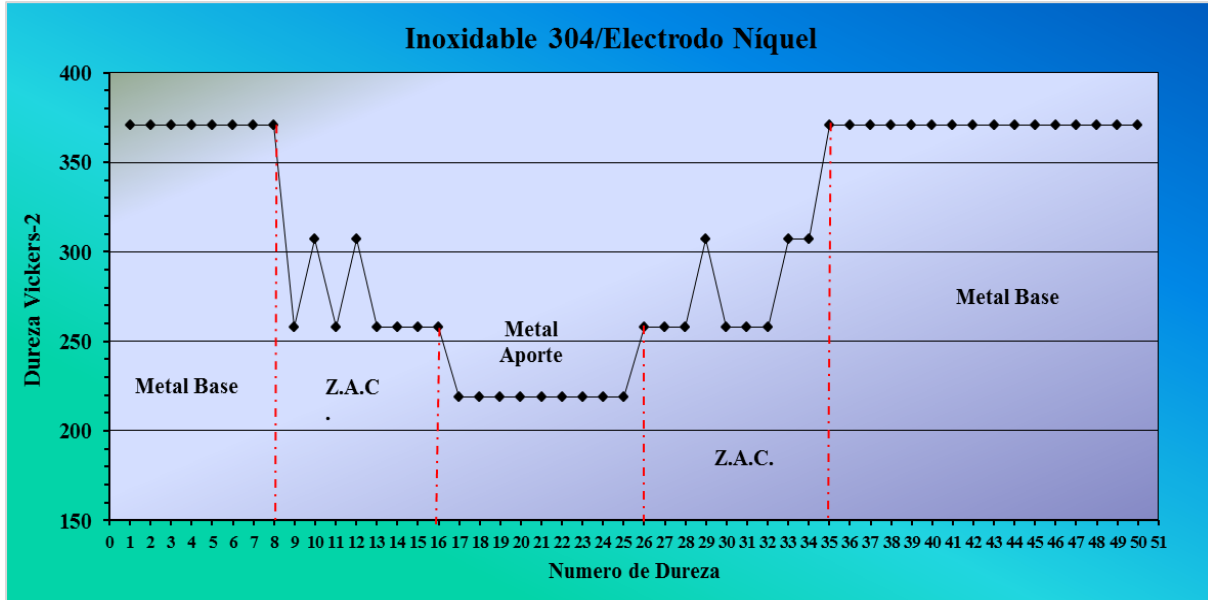


Figura 34. Grafica de dureza del acero inoxidable 304 y el cordón de soldadura con un electrodo de acero inoxidable tipo 308-16 enfriado a temperatura ambiente.

Haciendo uso de la desviación estándar como herramienta estadística, para poder determinar un rango entre las durezas obtenidas en el metal base, zona afectada por el calor y metal de aporte, con relación a la dureza media de la muestra, entre un rango máximo y un mínimo, para poder considerar que las durezas ensayadas, se puedan considerar como confiables de haberse realizado correctamente.

Las gráficas siguientes muestran la dureza promedio, la que se puede considera como la dureza ideal del experimento de la aplicación de la soldadura en la placa de acero inoxidable 304 y el electrodo de níquel.

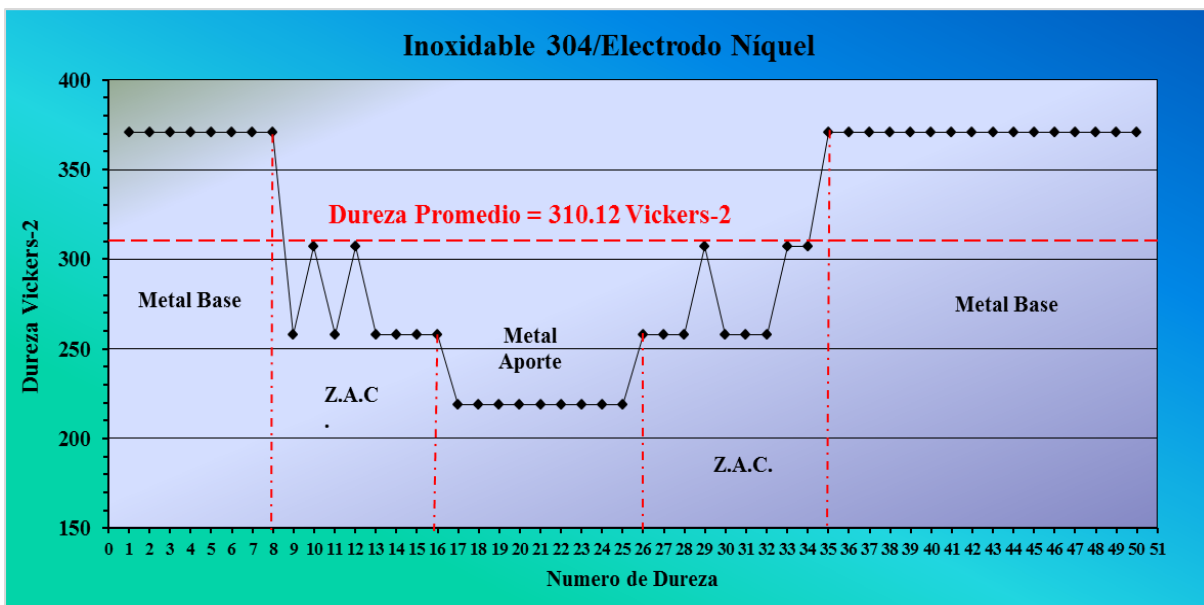


Figura 35. Grafica de dureza con la dureza promedio.

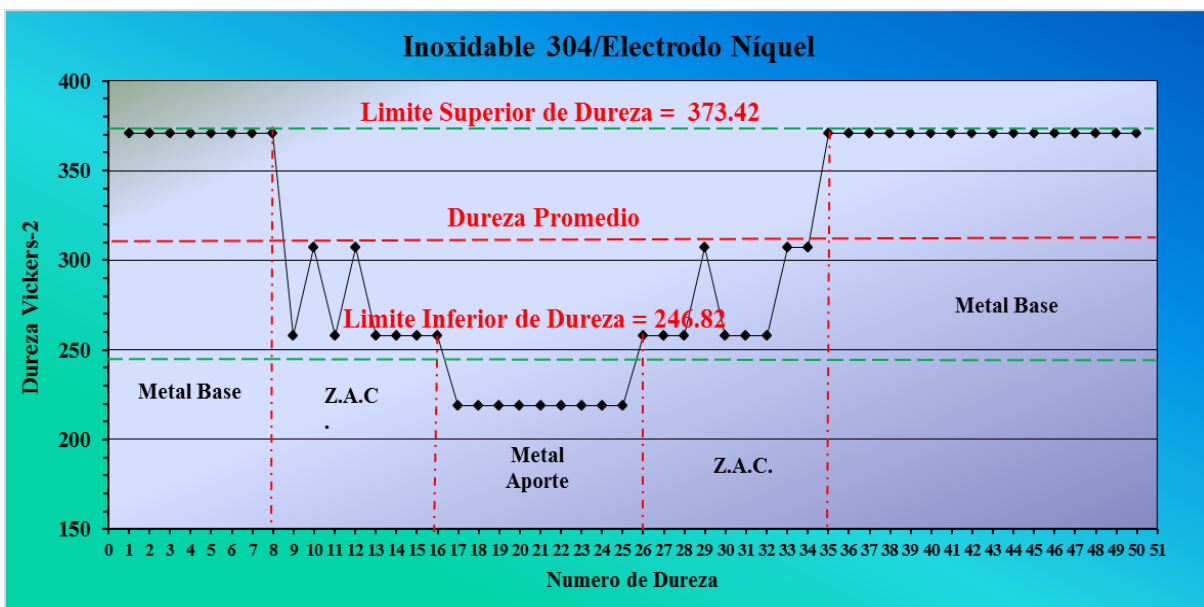


Figura 36. Grafica de dureza con el límite superior e inferior de la dureza en un rango de aceptable.

Los datos obtenidos en las pruebas de dureza en el acero inoxidable 304 y un cordón de soldadura base níquel nos indica que la dureza máxima está en el material base de 371hv, al entrar en la zona afectada por el calor decrece a 258hv, posteriormente en un punto intermedio entre material base y material de aporte la dureza alcanza la dureza promedio esto sin salir de la zona afectada por el calor y se aprecia que en la zona de metal de aporte la dureza cae hasta 219hv hay que tomar en cuenta que la aplicación del cordón de soldadura se aplicó sobre el material base sin ningún tipo de tratamiento térmico y enfriada temperatura ambiente

Prueba de dureza que se realizó con una escala Vickers y carga de 2 kilogramos, pasando por el material base, zona afectada por el calor (ZAC) y el material de aporte; cuyos resultados fueron los siguientes:

La tabla 4.4 muestra, los resultados obtenidos en los ensayos de dureza con la probeta de fundición gris perlítica y un cordón de un electrodo base Níquel.

HUELLA	HV	D1	HUELLA	HV	D1
1	307	0.11	26	258	0.12
2	371	0.10	27	307	0.11
3	371	0.10	28	307	0.11
4	371	0.10	29	258	0.12
5	371	0.10	30	258	0.12
6	307	0.11	31	307	0.11
7	371	0.10	32	307	0.11
8	307	0.11	33	371	0.10
9	307	0.11	34	258	0.12
10	371	0.10	35	371	0.10
11	307	0.11	36	307	0.11
12	307	0.11	37	307	0.11
13	371	0.10	38	371	0.10
14	371	0.10	39	307	0.11
15	258	0.12	40	371	0.10
16	307	0.11	41	371	0.10
17	258	0.12	42	371	0.10
18	307	0.11	43	371	0.10
19	371	0.10	44	371	0.10
20	307	0.11	45	371	0.10
21	258	0.12	46	307	0.11
22	258	0.12	47	371	0.10
23	258	0.12	48	307	0.11
24	258	0.12	49	307	0.11
25	258	0.12	50	307	0.11

MATERIAL BASE
 ZAC
 MATERIAL DE APORTE.

Posteriormente se graficaron los resultados de las durezas de 50 ensayos, y se marcaron las diferentes zonas como lo muestra la tabla de las durezas obtenidas.

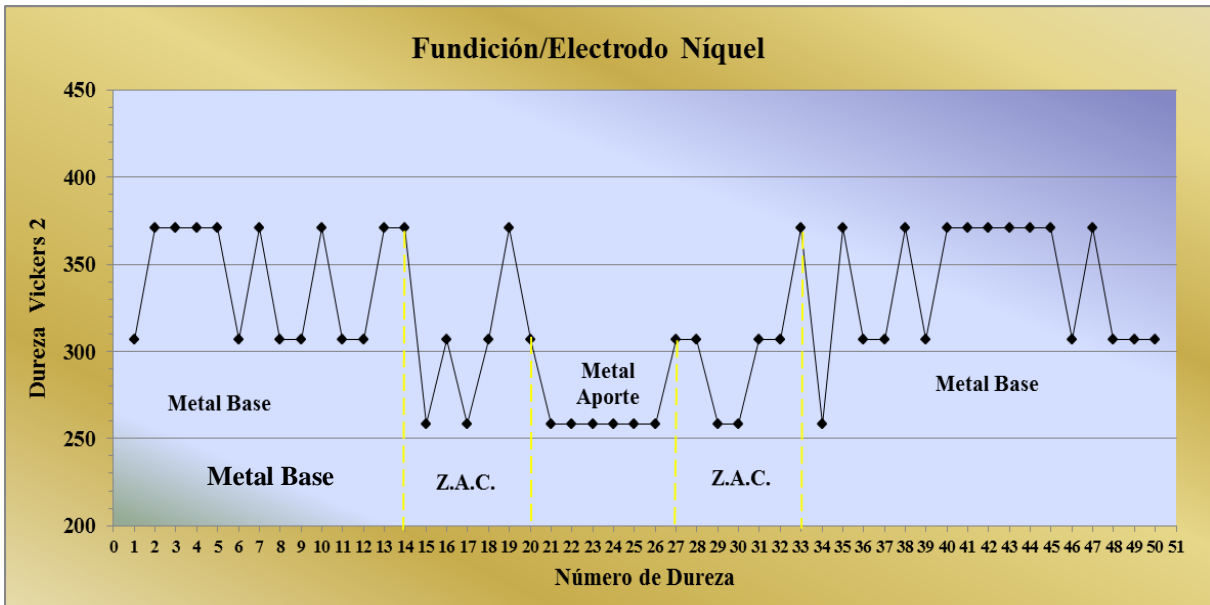


Figura 37. Grafica de dureza de la fundición y un el cordón de soldadura con un electrodo de níquel enfriado a temperatura ambiente.

Haciendo uso de la desviación estándar como herramienta estadística, para poder determinar un rango entre las durezas obtenidas en el metal base, zona afectada por el calor y metal de aporte, con relación a la dureza media de la muestra, entre un rango máximo y un mínimo, para poder considerar que las durezas ensayadas, se puedan considerar como confiables de haberse realizado correctamente.

Las gráficas siguientes muestran la dureza promedio, la que se puede considera como la dureza ideal del experimento de la aplicación de la soldadura en la placa de fundición gris y la del electrodo de níquel.

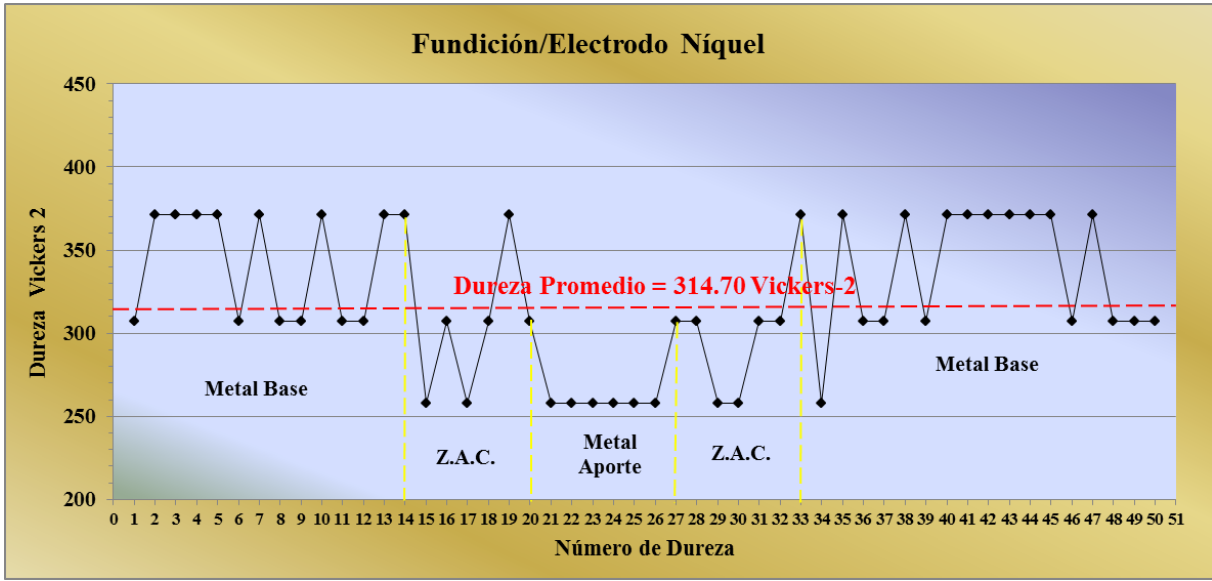


Figura 38. Grafica de dureza con la dureza promedio.

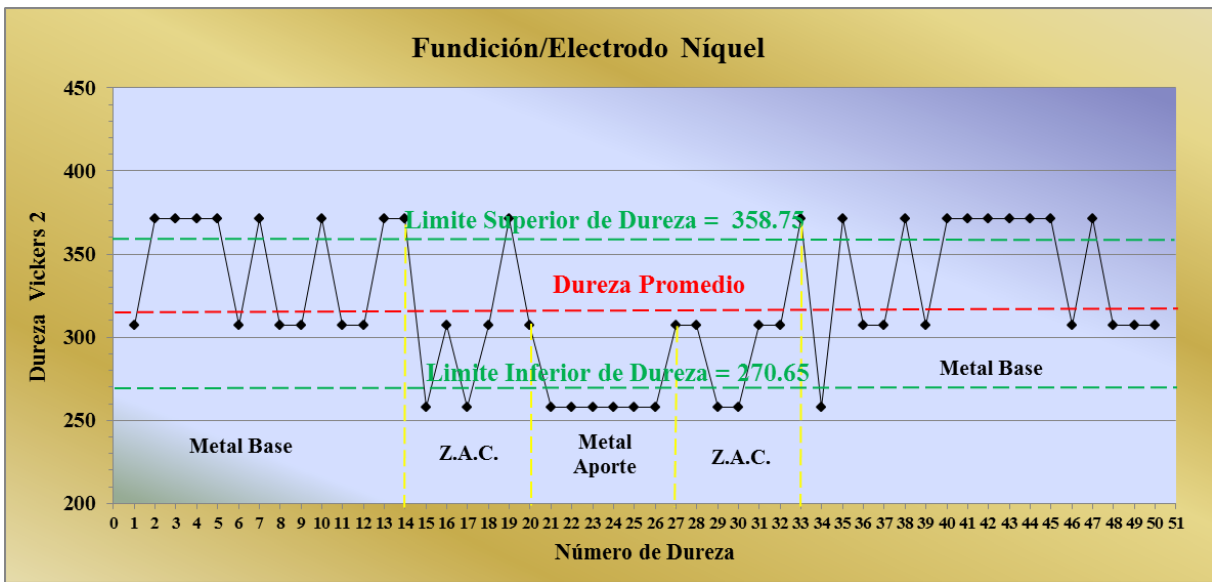


Figura 39. Grafica de dureza con el límite superior e inferior de la dureza en un rango de aceptable.

Los datos obtenidos en las pruebas de dureza de la probeta de fundición gris con un cordón de soldadura de un electrodo base níquel, nos indican que la dureza máxima es de 307hv esto en el material base posteriormente cae a 258hv conforme entra en la zona afectada por el calor presentando picos de dureza de hasta 371hv en los límites de material de aporte y zona afectada por el calor y decreciendo al entrar a la zona del material de aporte por debajo del límite inferior de dureza alcanzando 258hv en este caso es notorio que la dureza aumento a comparación de la probeta de acero 304 en los límites tanto en el (caz) y metal base.

4.1 METALOGRAFIA.

Probeta de acero inoxidable 304 con electrodo 308-16 enfriada a temperatura ambiente, las imágenes que se muestran a continuación fueron tomadas con aumentos de 50X, 100X, 400X y 600X las cuales se puede ver en las figuras 40, 41, 42 y 43 respectivamente.

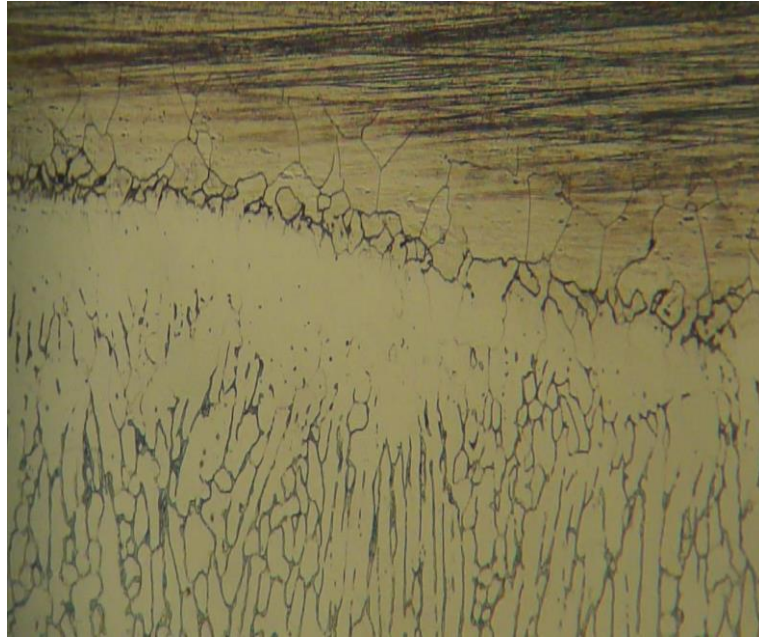


Figura 40. Fotografía tomada con un lente de 50x.

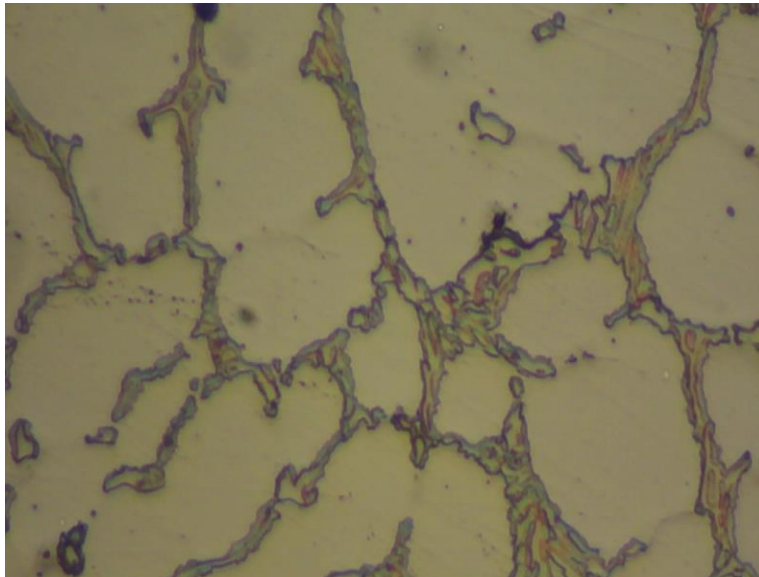


Figura 41. Fotografía tomada con un lente de 100x.

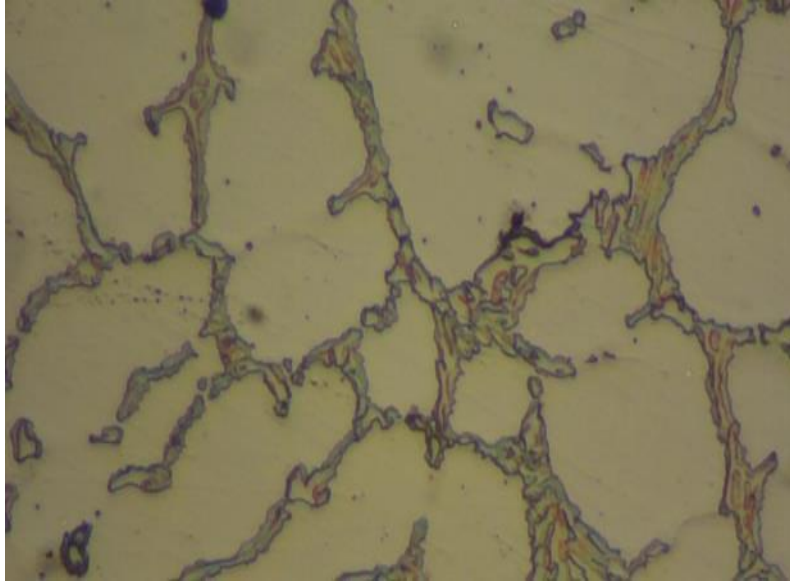


Figura 42. Fotografía tomada con un lente de 400x.

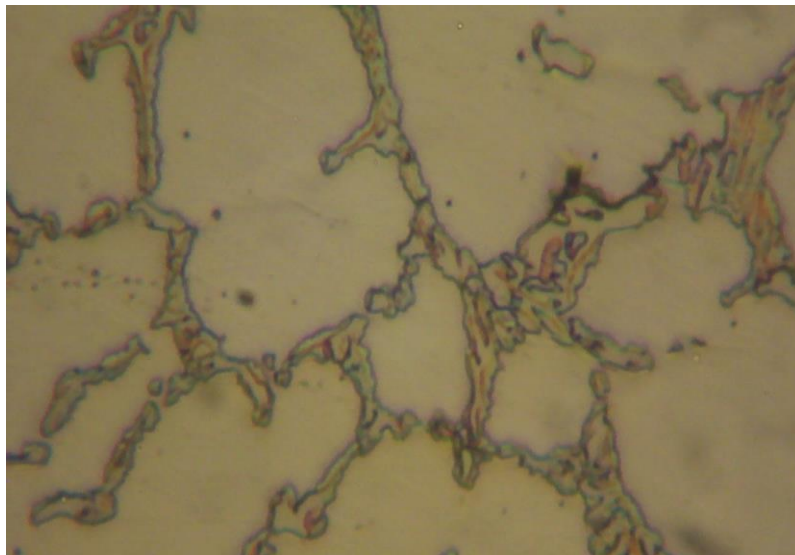


Figura 43. Fotografía tomada con un lente de 600x.

Las fotografías tomadas de esta muestra, se observó en la zona de mezcla, la formación de cristales de austenita en forma de dendritas, las cuales se pueden considerar que están formados principalmente del material de aporte el acero 308, y estos, están rodeados por otros cristales pequeños de austenita también, pero formados del acero base 304.

Probeta de fundición gris con electrodo 308-16, enfriada a temperatura ambiente, las imágenes que se muestran a continuación fueron tomadas con aumentos de 50X, 100X, 400X y 600X se pueden ver en las figuras 44, 45, 46 y 47.

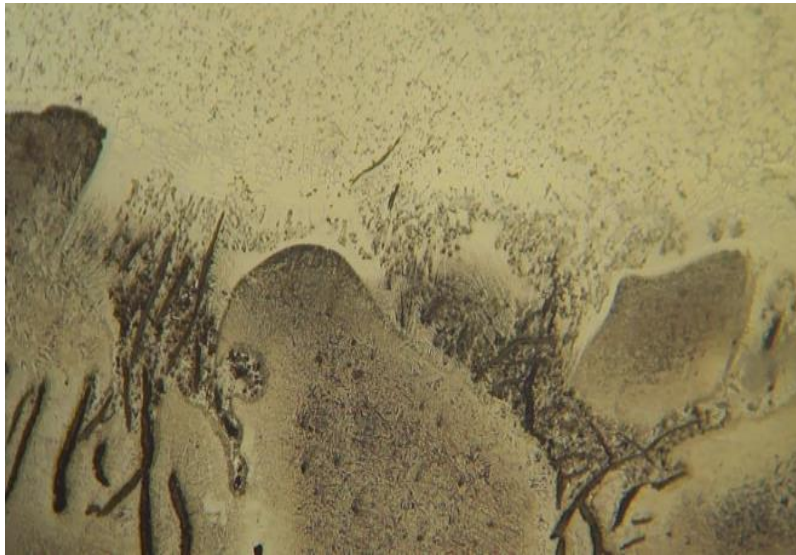


Figura 44. Fotografía tomada con un lente de 50X.

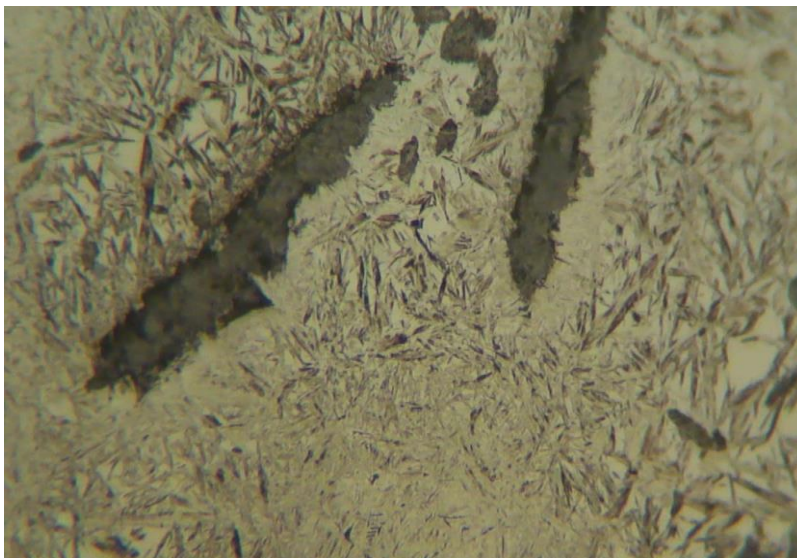


Figura 45. Fotografía tomada con un lente de 100X.

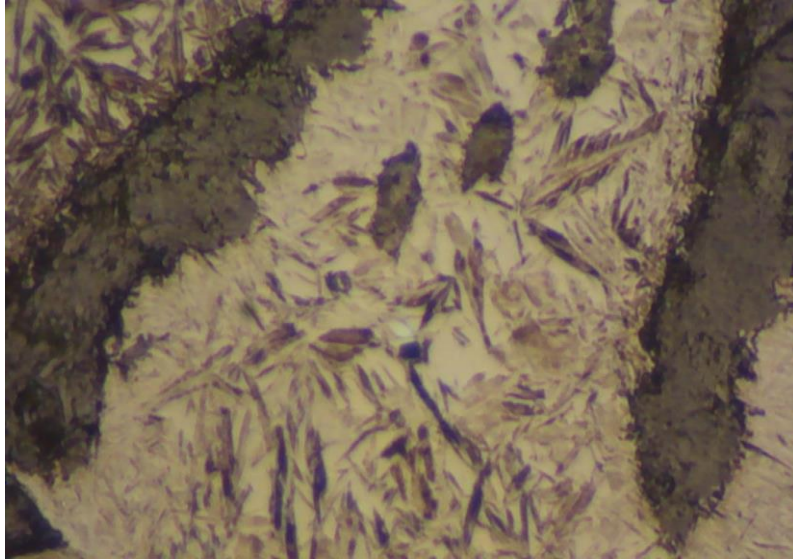


Figura 46. Fotografía tomada con un lente de 400X.

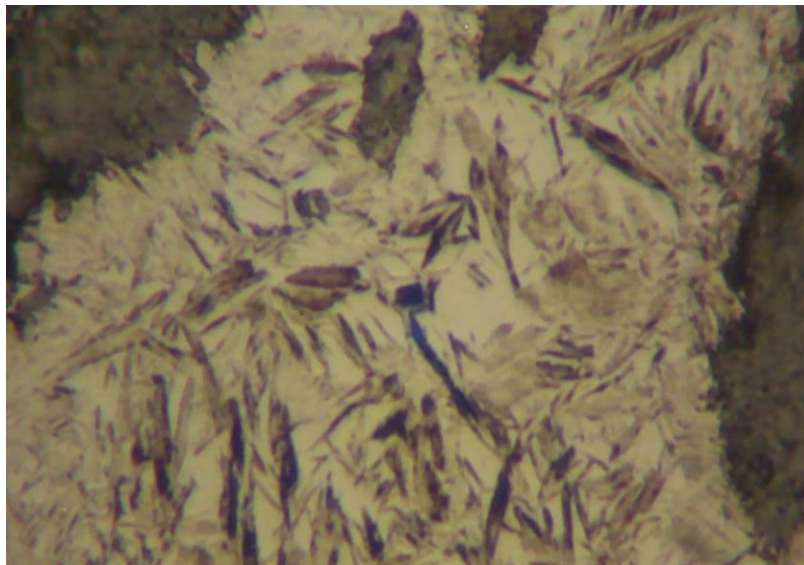


Figura 47. Fotografía tomada con un lente de 600X.

Las fotografías tomadas de esta muestra, se observó en la zona de mezcla, en la cual se ve la presencia de martensita fina y también grafito, en una base de austenita que es formada por el material de aporte del inoxidable 308-16.

Probeta de acero inoxidable 304 con electrodo de níquel, enfriada a temperatura ambiente las imágenes que se muestran a continuación fueron tomadas con lentes de 50X, 100X, 400X y 600X se pueden ver en las figuras 48, 49, 50 y 51.



Figura. 48. Fotografía tomada con un lente de 50x.



Figura 49. Fotografía tomada con un lente de 100X.



Figura 50. Fotografía tomada con un lente de 400X.

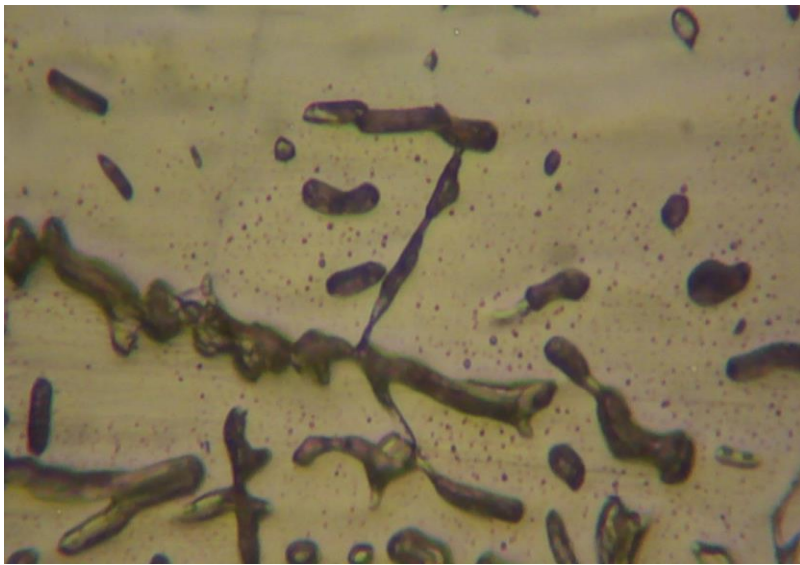


Figura 51. Fotografía tomada con un lente de 600X.

En la zona de mezcla en esta muestra, se formó prácticamente dos fases, una formada por el material de aporte o sea del níquel y otra en que se puede pensar en una aleación de níquel con el acero inoxidable 304, esa aleación que se forma se puede pensar que puede ser un inconel ya que esta aleación es níquel con elemento base y el cromo como aleante principal.

Probeta de fundición gris con electrodo de níquel, enfriada a temperatura ambiente las imágenes que se muestran a continuación fueron tomadas con lentes de 50X, 100X, 400X y 600X se puede ver en las figuras 52, 53, 54 y 55.



Figura 52. Fotografía tomada con un lente 50X.



Figura 53. Fotografía tomada con un lente 100X.

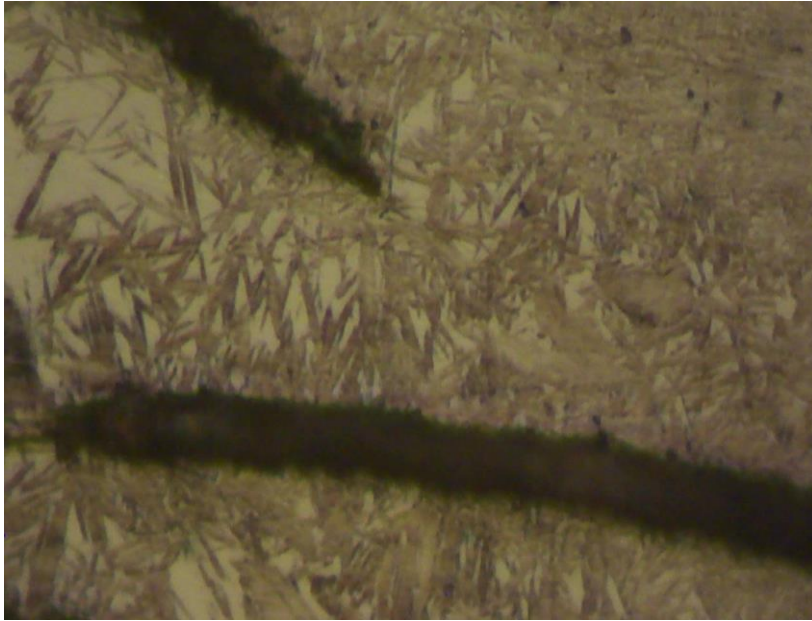


Figura 54. Fotografía tomada con un lente 400X.

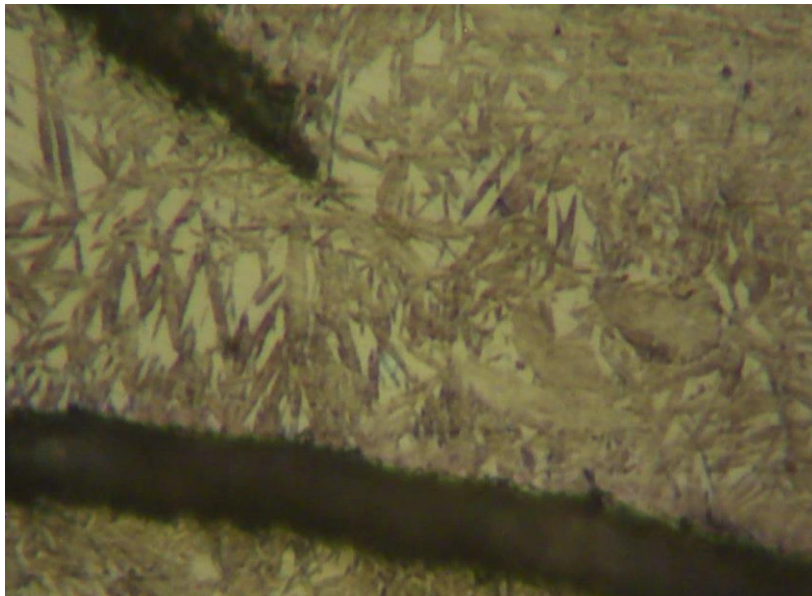


Figura 55. Fotografía tomada con un lente 600X.

En la zona de mezcla en esta muestra, se formó prácticamente dos fases, una de martensita y otra de grafito, la martensita está concentrada alrededor del grafito, La transformación martensítica es de una presencia extraordinaria. La base debe ser níquel.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Dureza

Los ensayos de dureza en los metales base, con la aplicación del electrodo de acero inoxidable 304, se comportaron en forma semejante, esto quiere decir, que las variaciones del acero inoxidable se pueden considerar ligeras, ya que, se parte de una estructura austenítica deformada por el trabajo en frío que tienen de origen, por lo que se puede considerar como homogéneo; sin embargo, la fundición tiene más variaciones, que se pueden explicar por su tipo de estructura que es perlítica en una matriz de ferrita.

Las zonas afectadas por el calor obtenidas con la aplicación de electrodo de acero inoxidable tipo 308-16, se obtuvieron entre los metales base diferencias poco significativas, ya que las durezas que presentaron tienen una elevación de 70%, sin embargo, la zona afectada por el calor en el acero inoxidable 304 es más amplia.

La dureza promedio en ambos casos es parecida ya que sus diferencias no son significativas, sin embargo, las durezas que se pueden considerar como confiables según la desviación estándar, entre la fundición gris perlítica y el electrodo de acero inoxidable 308 se salen de la zona de confiabilidad, no así las durezas de acero inoxidable 304

Los ensayos de dureza en los metales base, con la aplicación del electrodo de níquel, con la aplicación del electrodo de níquel, se comportaron en forma diferente, esto quiere decir, que las variaciones del acero inoxidable se pueden considerar homogéneas, ya que, se parte de una estructura austenítica deformada por el trabajo en frío que tienen de origen, sin embargo, la fundición tiene más variaciones, que se pueden explicar por su tipo de estructura que es perlítica en una matriz de ferrita.

Las zonas afectadas por el calor obtenidas con la aplicación de electrodo de níquel, se obtuvieron entre los metales base variaciones diferentes, ya que las durezas que presentaron en el acero inoxidable son semejantes, sin embargo, en la fundición presenta variaciones significativas.

Hay que hacer notar, que el material de aporte es significativamente menos duro que el acero inoxidable 304 y la fundición gris perlítica.

Metalografía

Aplicación de soldadura con acero inoxidable tipo 308-16:

En la zona de mezcla del material base inoxidable 304, es la parte más interesante de esta aplicación, ya que la formación de cristales de austenita en forma de dendritas, son del material de aporte del acero 308, y estos están rodeados por otros cristales pequeños de austenita también, pero de acero inoxidable 304

Las fotografías tomadas del material base de la fundición perlítica de esta muestra, se observó en la zona de mezcla, en la cual se ve la presencia de martensita fina y también grafito, en una base de austenita que es formada por el material de aporte del inoxidable 308-16, o sea, se presenta la presencia de la reacción martensítica.

Aplicación de soldadura con níquel:

En la zona de mezcla del material base inoxidable 304, existe la formación de dos fases, una níquel y otra probablemente de níquel con cromo del acero inoxidable 304, esa aleación que se forma se puede pensar que puede ser Inconel principalmente.

Las fotografías tomadas del material base de la fundición perlítica de esta muestra, son sorprendentes, por la presencia de martensita en forma masiva, alrededor del grafito y de un tamaño muy homogéneo.

Conclusiones.

En general la estructura metalúrgica de los materiales base, tiene una influencia significativa en cuanto a la homogeneidad de la dureza en el material base; ya que el acero inoxidable 304, posee una estructura austenítica deformada en frío en su totalidad, mientras que la fundición gris perlítica tiene una de perlita en una matriz de ferrita con hojuelas de grafito.

La dureza en la zona afectada por el calor y zona de mezcla, varían significativamente con respecto la dureza de los metales base.

Y la dureza de los materiales de aporte son significativamente más bajas que las del metal base y zona afectada.

Los cambios metalúrgicos que se suceden en zona afectada por el calor, zona de dilución o sea cerca de la línea de fusión, son altamente significativos por la formación de otras estructuras diferentes a las de los metales base, por la alta probabilidad de la formación de otras aleaciones por el fenómeno de fusión y solidificación, esto es posible por los diferentes elementos químicos que intervienen entre el material de aporte y los materiales base.

Bibliografía.

1. "Metal Handbook" vol. 7 8va edición.,
2. Apraiz Barreiro José "fundiciones" 2da Ed, Madrid, Editorial Dossat.
3. Horwitz Henry. "Soldadura aplicaciones y practica" Editorial Alfa omega 1997.
4. Malishev A: Nicolaiv, G. & Shuvalov, y "Tecnología de los metales" Moscú Editorial
5. Wilson, R, "Metallurgy and heat treatment of tool steels"
6. Grong, O & mattock, David K., "Microstructural devolpment in mild and low alloy steel weld metals" internationals metals reviews, vol. 31 No. 1,1986.
7. Grossman, M.A y E.C. Bain "Principios de tratamientos térmicos" American society for metals, Metals Park Ohio. Editorial blume, 1964.
8. Apraiz Barreiro, José "Tratamientos Térmicos de los aceros "8va ed., Madrid Editorial Dossat, s.a. 1981.
9. "Ciencia e Ingeniería de los Materiales: estructura y propiedades" J. A. Pero- Sanz Elorz, Editorial: Dossat 2000, (2000).
10. "Ciencia e Ingeniería de los Materiales." W. F. SMITH, Editorial: McGraw-Hill, (2007).
11. "Procesos de la industria para materiales metálicos" Julián Rodríguez Montes, Lucas Castro Martinez, Juan Carlos del Real Romero, (2da edición), Edit. Visión Net, Madrid 2006
- 12.- Autor: Cecilia Bembibre Sitio: Definición ABC Fecha: agosto. 2010 URL: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/acero.php>
- 13.- Guiachino, J. Weeks, W. (2007) "TECNICAS Y PRACTICAS DE LA SOLDADURA" Editorial Reverte (2da edición) España Barcelona.
- 14.- Ostwald, P. (1984) "PROCESOS DE MANUFACTURA". Editorial Continental 6ta Edición.

ASIGNATURAS RELACIONADAS CON EL TEMA.

1. Metalurgia mecánica.
2. Conformado de materiales.
3. Tecnología de materiales.

