



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

EFFECTOS DE LA SOLDADURA ELÉCTRICA CON ELECTRODO REVESTIDO EN
UNA FUNDICIÓN GRIS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

PRESENTA:
MARCO ANTONIO ORTEGA REYES

ASESOR:
Dr. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2015



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: **VOTO APROBATORIO**

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**



Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

"EFECTOS DE LA SOLDADURA ELÉCTRICA CON ELECTRODO REVESTIDO EN UNA FUNDICIÓN GRIS"

Que presenta el pasante: **MARCO ANTONIO ORTEGA REYES**

Con número de cuenta: **30725984-4** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Electricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 08 de junio de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Héctor Enrique Curiel Reyna	
VOCAL	Ing. Enrique Cortés González	
SECRETARIO	M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez	
1er SUPLENTE	M. en I. Humberto Neri Mondragón	
2do SUPLENTE	Ing. Rogelio Xelhuantzi Parada	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.

(Art 127 REP)

HHA/Vc

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

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

Al Maestro en Ingeniería Noé Cortés Guerrero por la ayuda que me brindo en la preparación de las muestras para esta investigación.

Al Maestro en Ingeniería Tomás Rangel Ortiz por ayudarme y orientarme a realizar las pruebas de dureza y metalografía.

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

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. FUNDICIONES	4
1.1 Fundiciones.....	5
1.2 Componentes.....	5
1.3 Efectos de los elementos en las fundiciones.....	6
1.4 Principales propiedades de las fundiciones.....	7
1.5 Clasificación de las fundiciones.....	8
1.5.1 Fundición perlítica.....	11
1.6 Tratamientos térmicos de las fundiciones.....	15
CAPÍTULO 2. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO	18
2.1 Soldadura de arco.....	19
2.2 Procesos y equipos para la soldadura de arco.....	20
2.2.1 Circuito de la soldadura de arco.....	20
2.3 Electrodo para soldadura de arco.....	21
2.3.1 Características del electrodo AWS E-7018.....	22
2.4 Factores que afectan las propiedades del metal de soldadura.....	22
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.1 Preparación de las muestras.....	25

CAPÍTULO 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES	32
4.1 Dureza.....	33
4.2 Metalografía.....	46
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	52
CONCLUSIONES	53
BIBLIOGRAFÍA	54

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.

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

Para la presente investigación se procedió con el desarrollo experimental que consto en la elaboración de 4 probetas de fundición del tipo gris, las cuales se sometieron a un precalentamiento de 350°C y se les realizo un cordón de soldadura con material de aporte de un electrodo revestido 7018; posteriormente se les dio un tratamiento térmico distinto a cada una de las probetas para analizar los efectos en la zona afectada por el calor.

Se les realizo un corte en la sección transversal al cordón de soldadura; una vez elaborada la probeta fue necesario realizarle 76 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.

Del mismo modo se maquinaron 4 probetas para el ensayo de tensión siguiendo el mismo procedimiento, sólo que cada una de éstas probetas estaba conformada por dos piezas que fueron soldadas a tope sobre un bisel de 45° .

Todos los datos obtenidos practicados a las probetas, fueron comparados mediante fotografías, gráficas y tablas; marcando las variables que se consideraron las más importantes y significativas.

TÍTULO DE LA TESIS

“EFECTOS DE LA SOLDADURA ELÉCTRICA CON ELECTRODO REVESTIDO EN UNA FUNDICIÓN GRIS”

OBJETIVO

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

HIPÓTESIS

Siendo una fundición de tipo gris, se espera que sus propiedades estructurales en la zona afectada por el calor sufran variaciones que cambian las propiedades mecánicas del material.

CAPÍTULO

1

“FUNDICIONES”

1.1 Fundiciones.

Las fundiciones, como los aceros, son básicamente aleaciones a base de Hierro con diversos contenidos de Carbono y Silicio, en las cuales el Carbono se encuentra en cantidad superior a la que puede retener la austenita en disolución sólida a temperatura eutéctica (2%).

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 excepcionales llega a 1.5%. Para conseguir ciertas características especiales, se fabrican fundiciones aleadas que, además de los elementos citados, contienen también porcentajes variables de Cobre, Níquel, Cromo, Molibdeno, etc.

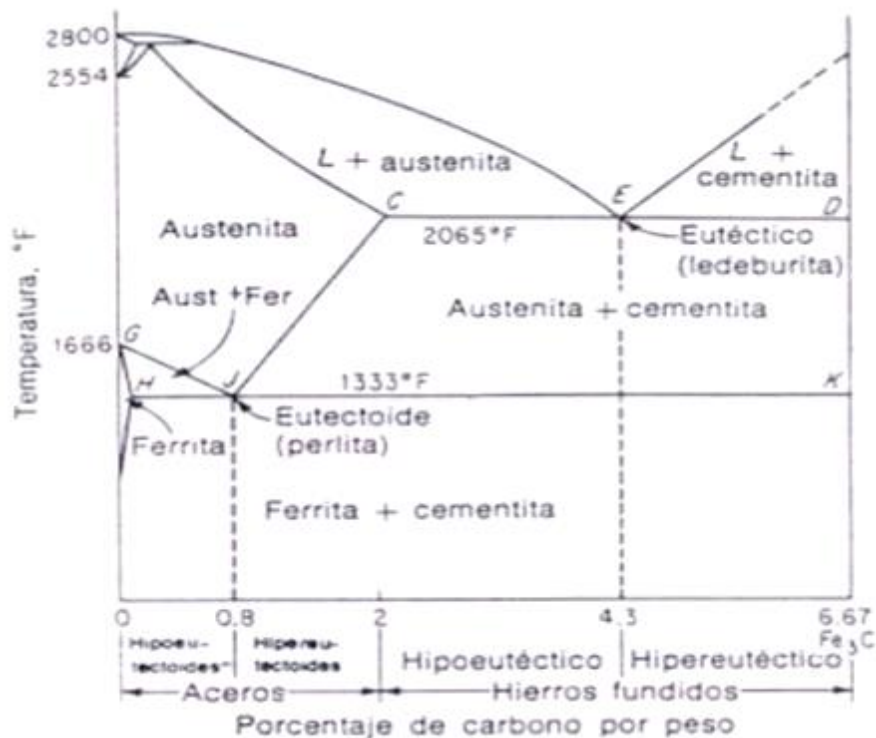


Figura 1. Diagrama de fase metaestable Hierro-Carbono.

1.3 Efectos de los elementos en las fundiciones.

Efectos del Silicio.

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 grafitizador 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.

Efectos del Azufre

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 Fierro para formar Sulfuro de Fierro (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.

Efectos del Manganeso

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.

Efecto del Fósforo

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, en general, 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 en general, 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 frágiles de fundición blanca.



Figura 2. 200X Microestructura de una fundición blanca hipereutética. 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).



Figura 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, perlíticas, etc.



Figura 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 perlítica.

Entre las diversas clases de fundiciones que se fabrican en la actualidad, la fundición perlítica, es una de las de mayor interés industrial y una de las que cada día tiene mayores aplicaciones. La fundición perlítica 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.



Figura 5. Microestructura de una fundición perlítica. 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 perlítica, 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 grafitico. 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, y 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

Composición de algunas piezas de fundición de uso corriente

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.

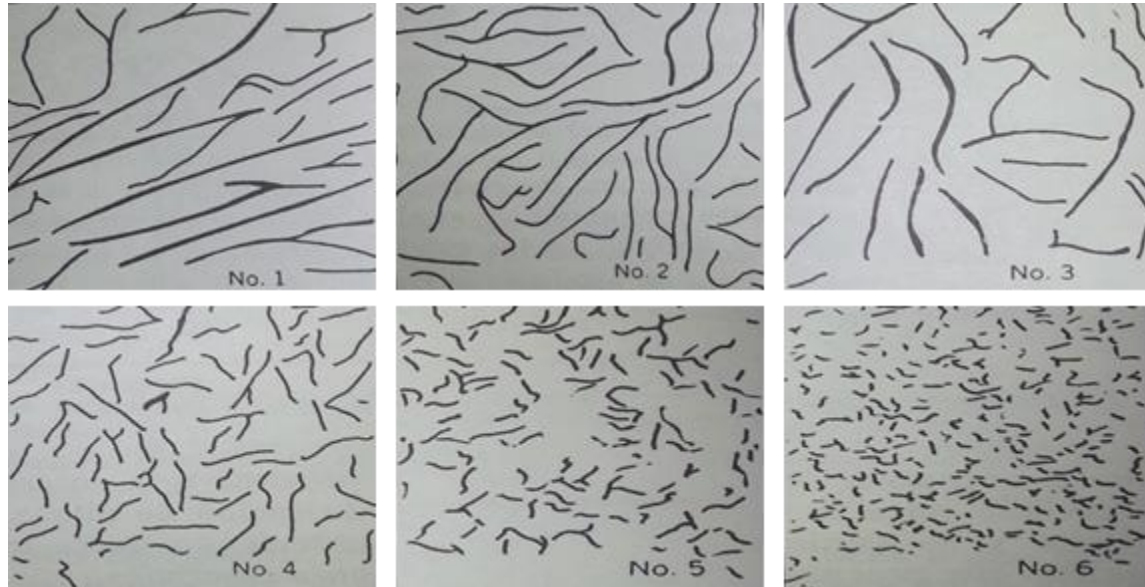


Figura 6. 90X Tamaño de las láminas de grafito normalizados por la A.S.T.M.

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.

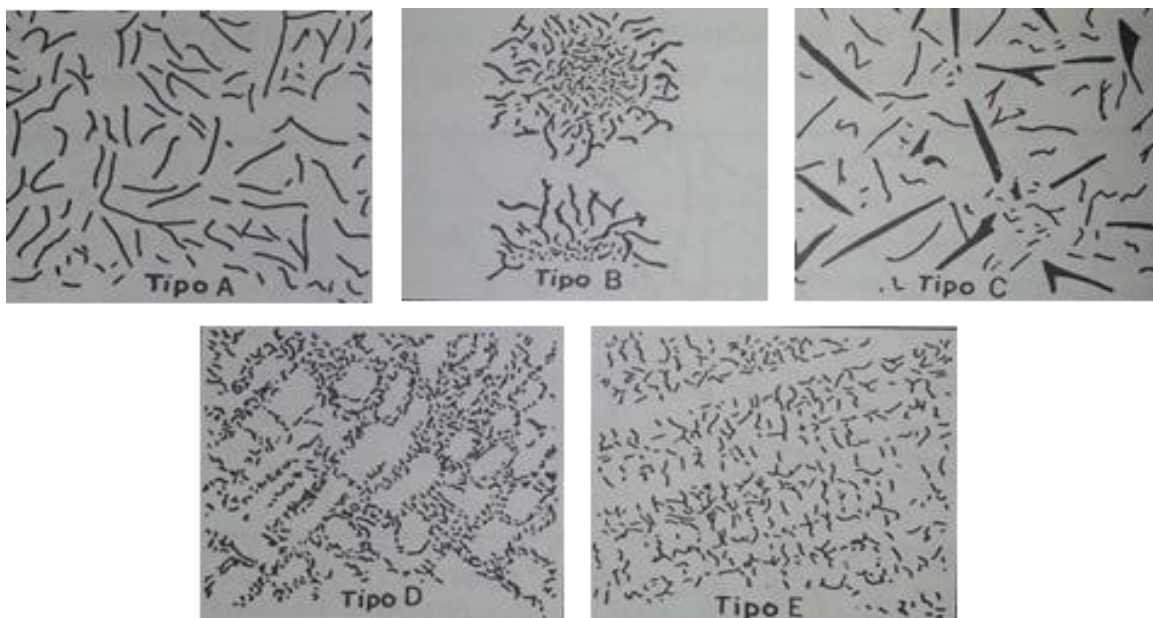


Figura 7. Diferentes clases de grafito que suelen aparecer en las fundiciones (AFA y ASTM).

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 con 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 recocen 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 perlítica 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 (fig. 8). 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.

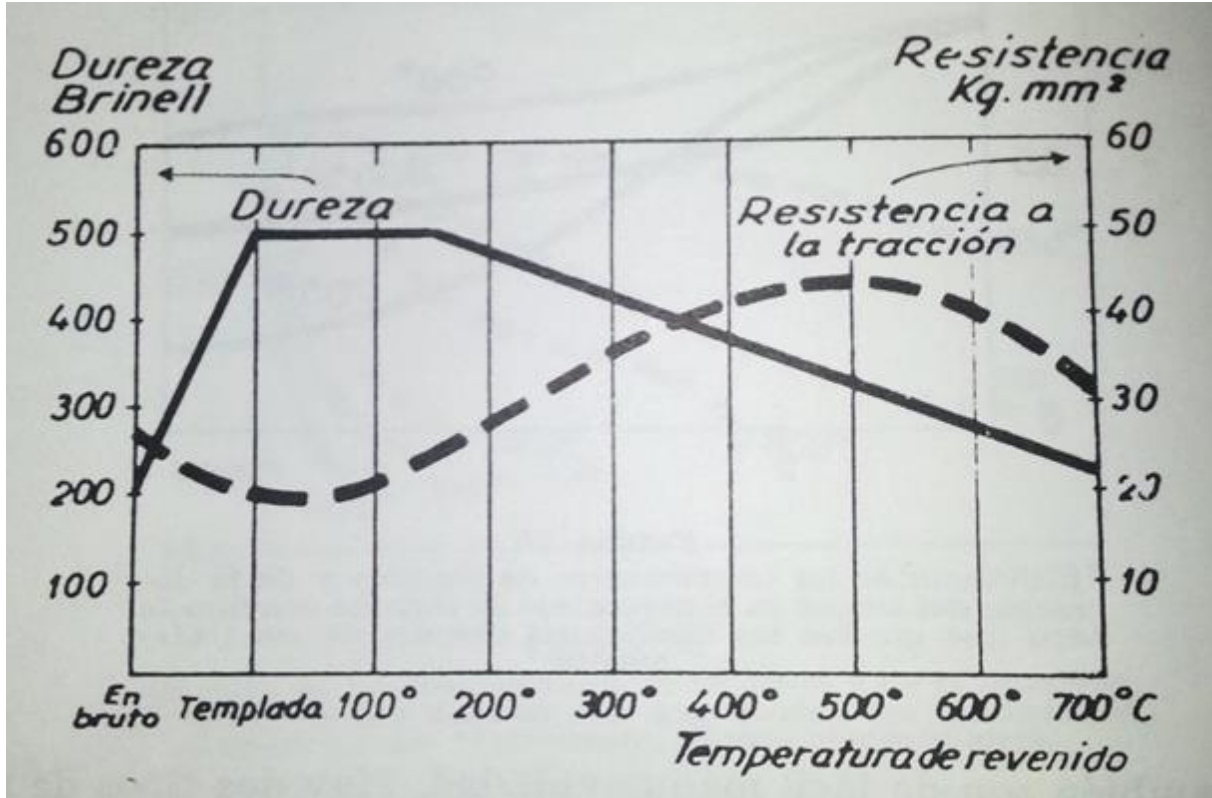


Figura 8. Influencia del temple y revenido en la resistencia a la fricción y en la dureza de las fundiciones grises.

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.

CAPÍTULO

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.

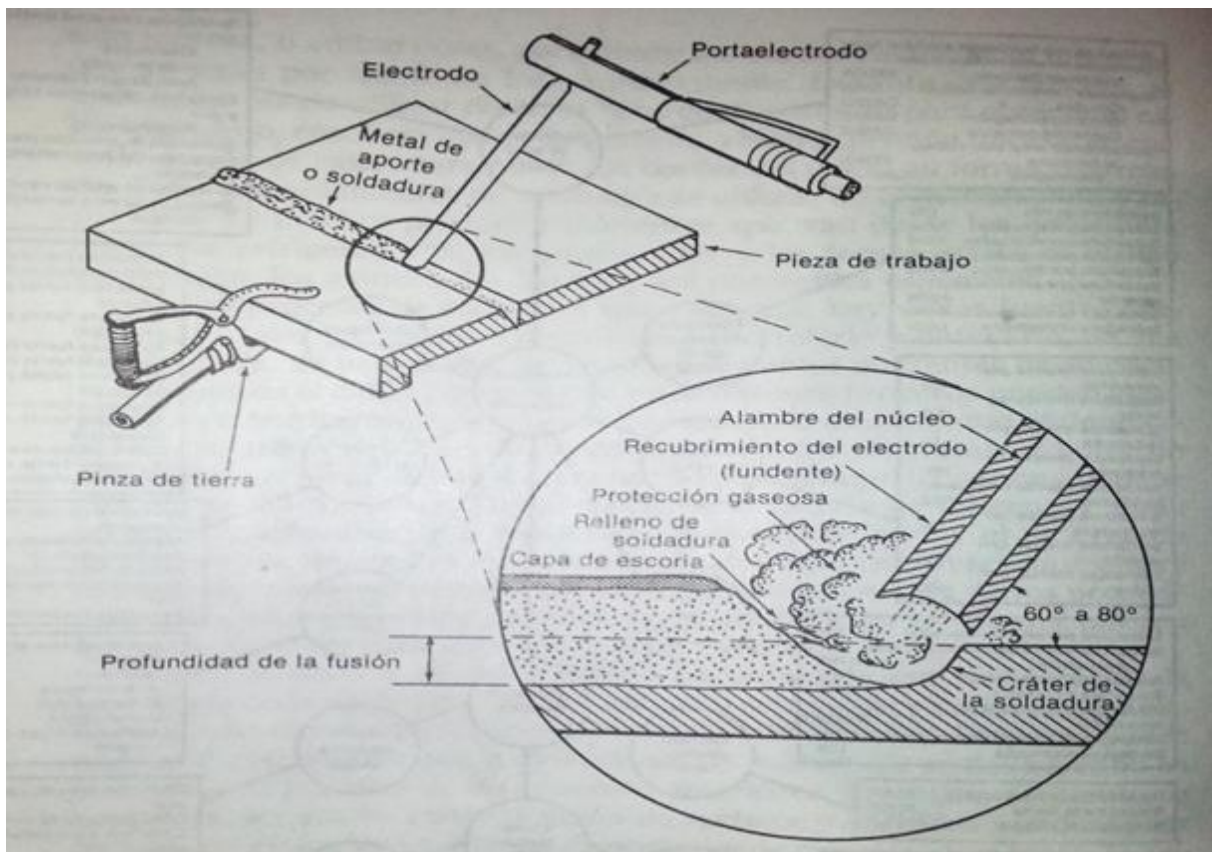


Figura 9. Proceso de soldadura por arco. (Con permiso de la ASM, tomada del Metals Handbook, Volumen 6, Copyright de la American Society for Metals, 1971.)

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 el portaelectrodo 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, desperdiciándose en forma de calor en el cable.

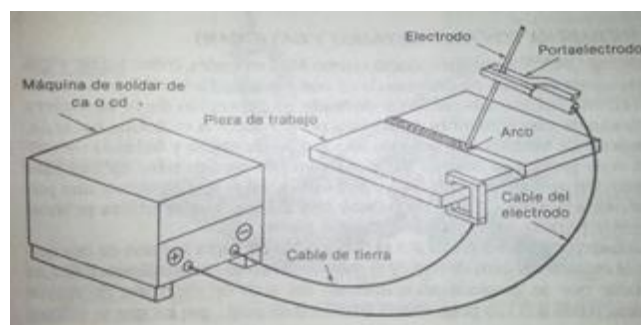


Figura 10. Equipo para realizar soldadura eléctrica.

2.3 Electrodo 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 aísla 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 AWS E-7018

E	70	1	8
Soldadura eléctrica	$70,000 \frac{Lb}{pulg^2}$ Resistencia mínima a la tensión (alivio de esfuerzos)	Todas las posiciones de aplicación	CD Polaridad Invertida
			Escoria de "Bajo Hidrógeno"
			Arco "Medio"
			Penetración "Media" 30 al 50% de polvo de Fierro en recubrimiento

Los electrodos *AWS E-7018* son de diseño de bajo hidrógeno, y tienen un recubrimiento con 30% de Fierro en polvo. Trabajan con CD, polaridad invertida. Tienen todas las características deseables de los electrodos de bajo hidrógeno, los que producen soldaduras sólidas y confiables en aceros difíciles, tales como los de alto contenido de azufre, alto contenido de carbono y bajo contenido de elementos de aleación. Su recubrimiento, ligeramente más grueso y con contenido de Fierro en polvo, los hacen generalmente más fáciles de usar que los otros tipos de bajo hidrógeno. Por estas razones, son los electrodos que más se usan.

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

“METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN”

3.1 Preparación de las muestras.

Para realizar las probetas se utilizó un disco de frenos, procedente de una fundición del tipo gris perlítica. Las probetas fueron sometidas a distintos tratamientos térmicos para analizar los efectos de la soldadura de arco en la zona afectada por el calor (ZAC).

Se les aplicó un pre-calentamiento a 350°C durante 1 hora antes de realizarles el cordón de soldadura, posteriormente se le dio a cada una el tratamiento térmico correspondiente detallado a continuación para su posterior análisis en las pruebas:

- 1) Enfriamiento al aire.
- 2) Enfriamiento en agua.
- 3) Post-calentamiento a 350°C durante 1 hora.
- 4) Post-calentamiento a 450°C durante 1 hora.

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

Se cortó el material en una sierra eléctrica industrial marca JET (fig. 11 y 12), obteniendo piezas pequeñas con doble cara unidas por un panel, más fáciles de trabajar.



Figura 11. Corte del material.



Figura 12. 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. 13).



Figura 13. Corte del material.

A cada una de las piezas obtenidas se les dio un refrentado en una fresadora de marca DIMSA (fig. 14) para obtener caras paralelas.



Figura 14. Refrentado de placa.

Posteriormente a las placas obtenidas se les realizaron cortes en el esmeril (fig. 15) para obtener 4 probetas de $2 \times 1.5 \times \frac{1}{4}$ de pulgada que se utilizaron para las pruebas de dureza.



Figura 15. Corte del material.

Una vez obtenidas las 4 probetas de dimensiones 2 x 1.5 x ¼ de pulgada, iniciamos con el pre-calentamiento a 350°C durante 1 hora en una mufla marca Lindbergh (fig. 16).



Figura 16. Inicio de precalentamiento.

Terminado el pre-calentamiento extrajimos una a una las probetas (fig. 17) para realizar el cordón de soldadura a lo largo de la cara superior de la probeta manteniendo el cordón en la parte central (fig. 18 y fig. 19); finalmente se les aplico el tratamiento térmico ya mencionado a cada una.



Figura 17. Extracción de probetas.



Figura 18. Aplicación del cordón.



Figura 19. Probetas soldadas.

Se le 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. 20). Para poder determinar la ZAC fue necesario un pulido acabado espejo; se realizó en la pulidora marca Leco (fig. 21), utilizando el paño y alúmina (Al_2O_3) de 0.3μ .



Figura 20. Desbaste de probeta.



Figura 21. Pulidora marca Leco.

Los estudios de durezas fueron realizados en un durómetro marca Amsler (fig. 22) utilizando una carga de 2 Kg, efectuando 76 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. 23 y 24).



Figura 22. Durómetro marca Amsler.



Figura 23. Ensayo de dureza.



Figura 24. Huella del penetrador.

Para la metalografía se tomaron fotografías con una cámara Sony, realizando tomas de la misma región a diferentes aumentos (fig. 25 y 26).

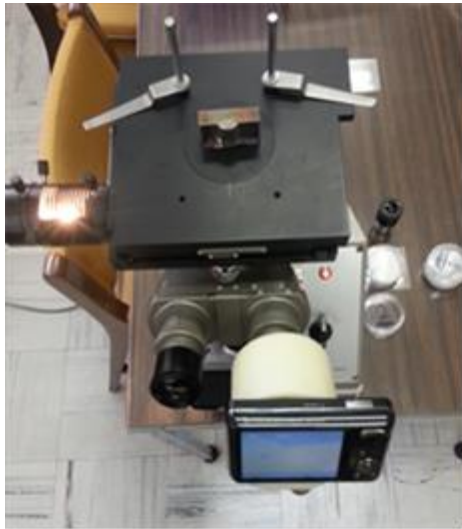


Figura 25. Equipo para metalografía.



Figura 26. Ajuste del lente.

CAPÍTULO

4

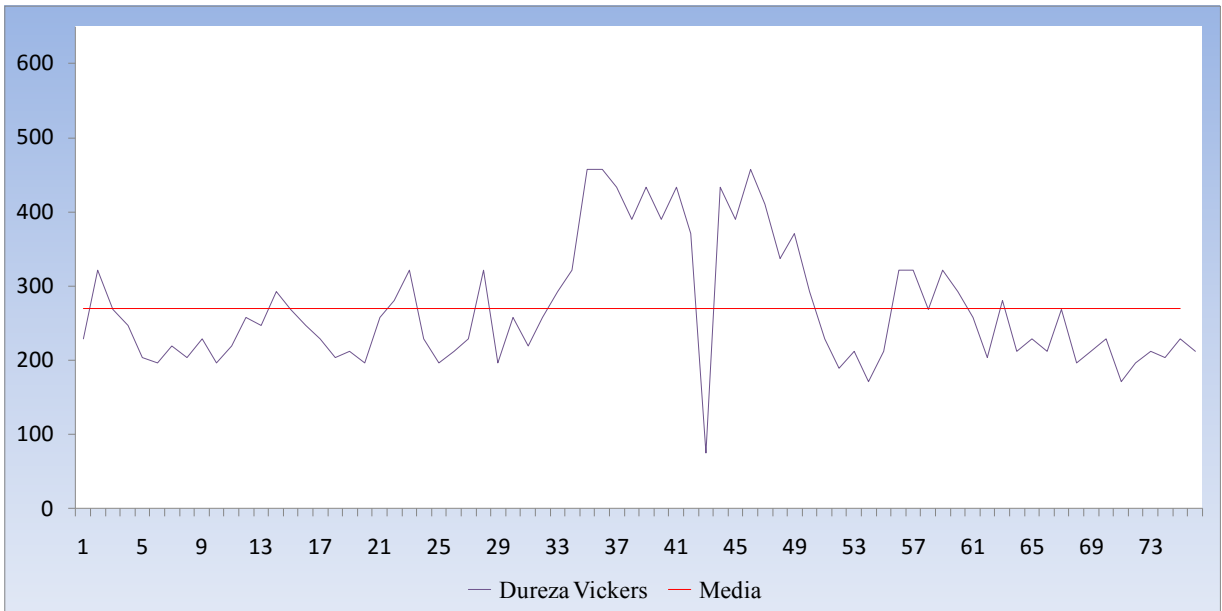
**“RESULTADOS
EXPERIMENTALES”**

4.1 Dureza

Enfriamiento al aire.- Ésta prueba se realizó con una escala de dureza Vickers 2, pasando por el material base, zona afectada por el calor (ZAC) y material de aporte. Los resultados se muestran en la tabla 4.1.

Resultados de dureza (HV) Vickers 2							
Huella	D1	D2	HV	Huella	D1	D2	HV
1	0.125	0.13	228.15	39	0.095	0.09	433.46
2	0.11	0.105	320.93	40	0.095	0.1	390.14
3	0.12	0.115	268.63	41	0.095	0.09	433.46
4	0.12	0.125	247.15	42	0.1	0.1	370.88
5	0.13	0.14	203.50	43	0.225	0.22	74.92
6	0.14	0.135	196.17	44	0.095	0.09	433.46
7	0.13	0.13	219.46	45	0.1	0.095	390.14
8	0.13	0.14	203.50	46	0.09	0.09	457.88
9	0.13	0.125	228.15	47	0.095	0.095	410.95
10	0.135	0.14	196.17	48	0.105	0.105	336.40
11	0.13	0.13	219.46	49	0.1	0.1	370.88
12	0.12	0.12	257.56	50	0.115	0.11	293.04
13	0.12	0.125	247.15	51	0.13	0.125	228.15
14	0.115	0.11	293.04	52	0.14	0.14	189.22
15	0.12	0.115	268.63	53	0.135	0.13	211.25
16	0.125	0.12	247.15	54	0.15	0.145	170.47
17	0.13	0.125	228.15	55	0.13	0.135	211.25
18	0.13	0.14	203.50	56	0.11	0.105	320.93
19	0.13	0.135	211.25	57	0.105	0.11	320.93
20	0.14	0.135	196.17	58	0.115	0.12	268.63
21	0.12	0.12	257.56	59	0.11	0.105	320.93
22	0.12	0.11	280.44	60	0.115	0.11	293.04
23	0.11	0.105	320.93	61	0.12	0.12	257.56
24	0.13	0.125	228.15	62	0.135	0.135	203.50
25	0.14	0.135	196.17	63	0.115	0.115	280.44
26	0.135	0.13	211.25	64	0.13	0.135	211.25
27	0.13	0.125	228.15	65	0.13	0.125	228.15
28	0.105	0.11	320.93	66	0.135	0.13	211.25
29	0.135	0.14	196.17	67	0.115	0.12	268.63
30	0.12	0.12	257.56	68	0.135	0.14	196.17
31	0.13	0.13	219.46	69	0.13	0.135	211.25
32	0.12	0.12	257.56	70	0.125	0.13	228.15
33	0.11	0.115	293.04	71	0.15	0.145	170.47
34	0.105	0.11	320.93	72	0.14	0.135	196.17
35	0.09	0.09	457.88	73	0.13	0.135	211.25
36	0.09	0.09	457.88	74	0.13	0.14	203.50
37	0.095	0.09	433.46	75	0.13	0.125	228.15
38	0.1	0.095	390.14	76	0.13	0.135	211.25

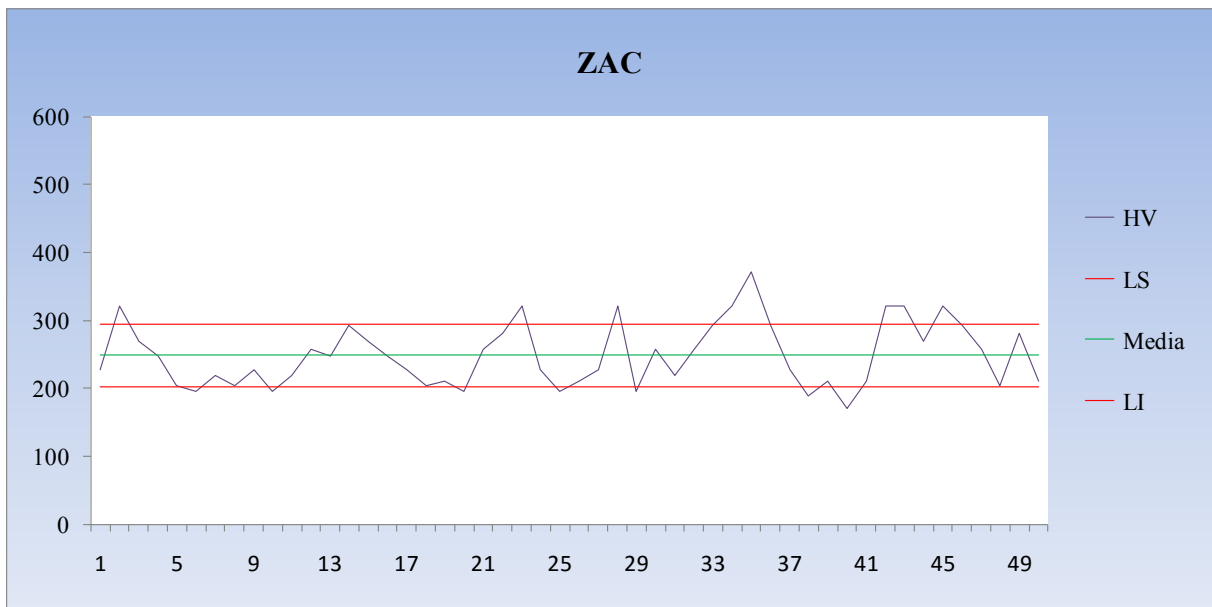
	Material de aporte
	ZAC
	Metal base



	Media
Vickers	269.2

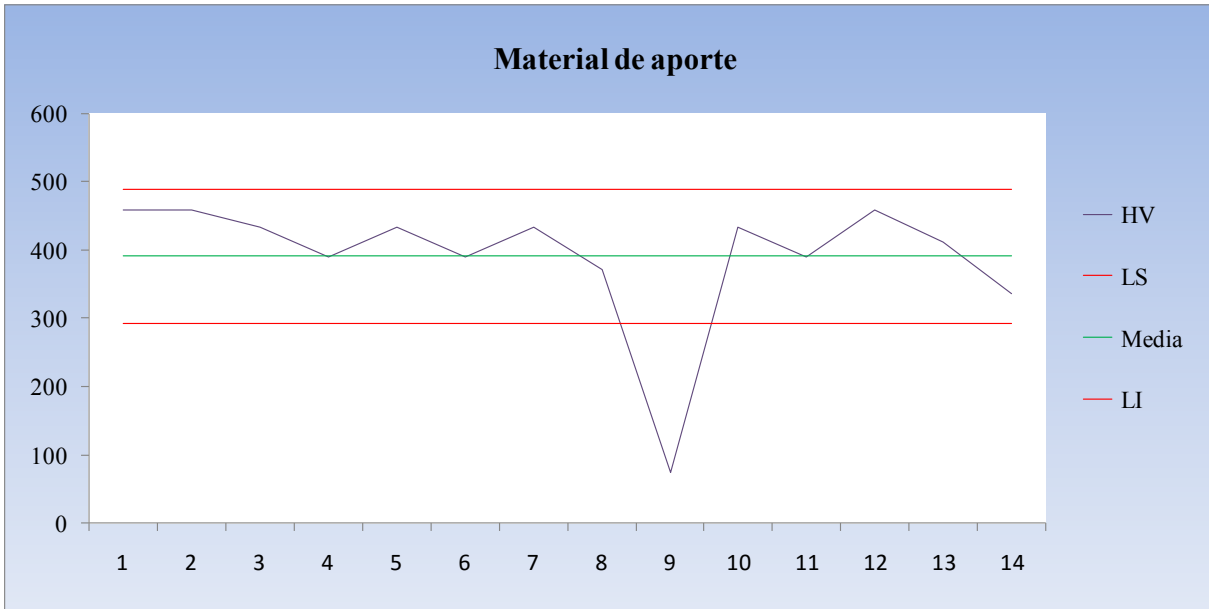
Figura 27. Gráfica de dureza de muestra enfriada al aire.

Se realizó un análisis utilizando la desviación estándar como herramienta estadística, para poder determinar un rango en relación a la media de los resultados respecto a las zonas.



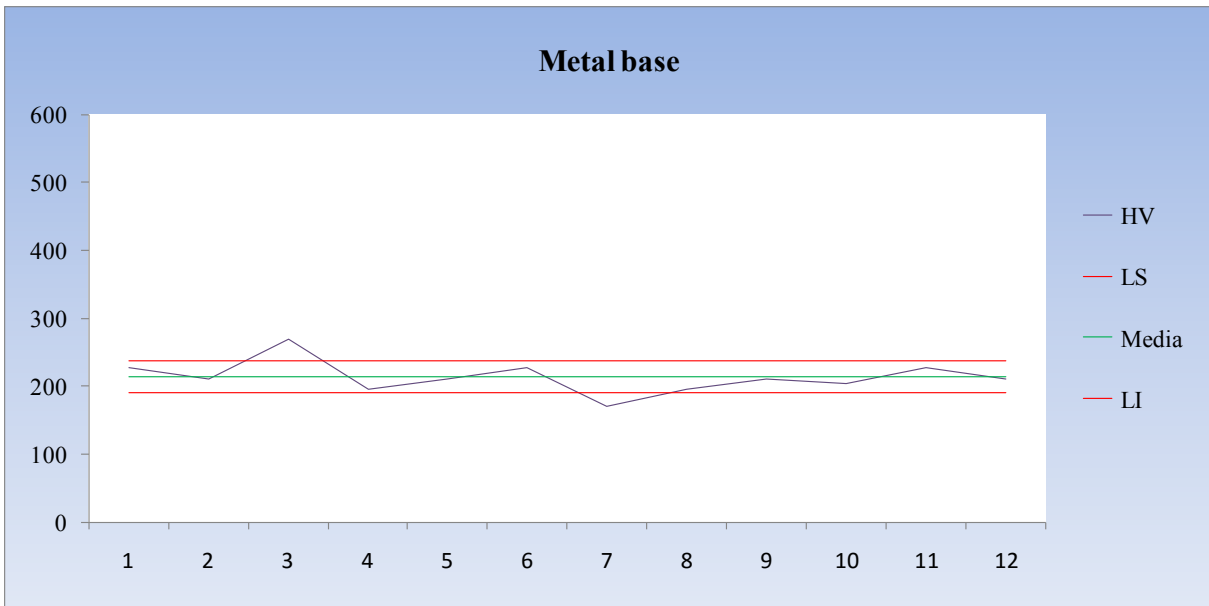
	LI	Media	LS
Vickers	201.82	248.47	295.13

Figura 28. Gráfica de dureza en la ZAC de muestra enfriada al aire.



	LI	Media	LS
Vickers	293	390.79	488.58

Figura 29. Gráfica de dureza en material de aporte de muestra enfriada al aire.



	LI	Media	LS
Vickers	189.85	213.7	237.55

Figura 30. Gráfica de dureza en metal base de muestra enfriada al aire.

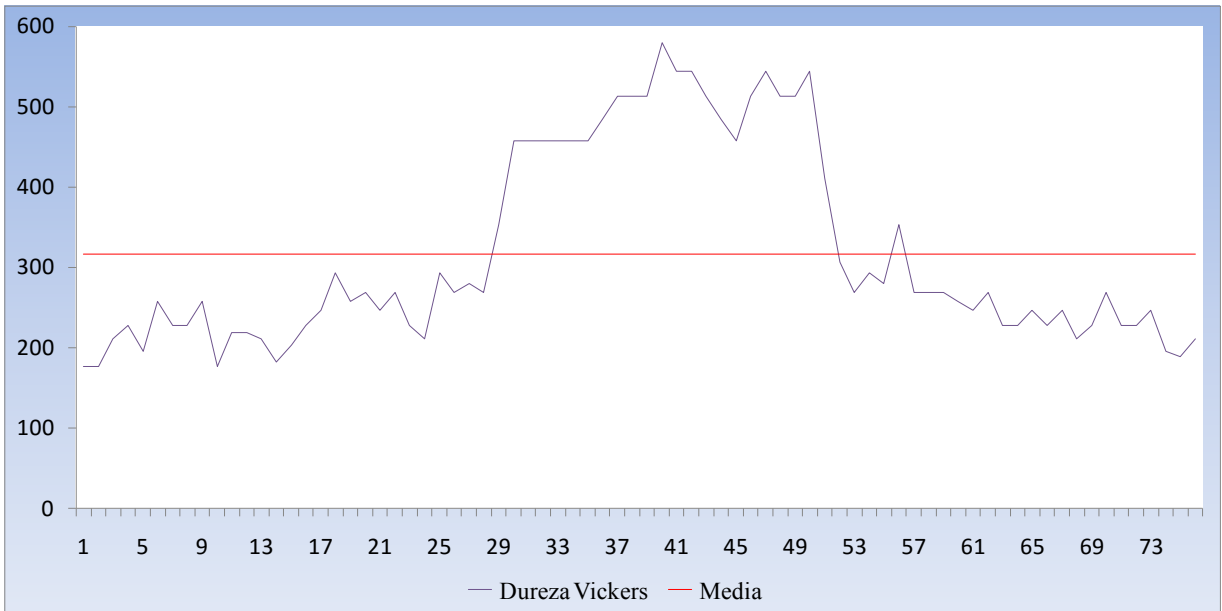
Enfriamiento en agua.- Esta prueba se realizó con una escala de dureza Vickers 2, pasando por el material base, zona afectada por el calor (ZAC) y material de aporte. Los resultados se muestran en la tabla 4.2.

Resultados de dureza (HV) Vickers 2						
Huella	D1	D2	HV	Huella	D1	D2
1	0.15	0.14	176.40	39	0.085	0.085
2	0.14	0.15	176.40	40	0.08	0.08
3	0.13	0.135	211.25	41	0.085	0.08
4	0.125	0.13	228.15	42	0.085	0.08
5	0.14	0.135	196.17	43	0.085	0.085
6	0.12	0.12	257.56	44	0.085	0.09
7	0.13	0.125	228.15	45	0.09	0.09
8	0.125	0.13	228.15	46	0.085	0.085
9	0.12	0.12	257.56	47	0.08	0.085
10	0.15	0.14	176.40	48	0.085	0.085
11	0.13	0.13	219.46	49	0.085	0.085
12	0.13	0.13	219.46	50	0.085	0.08
13	0.13	0.135	211.25	51	0.095	0.095
14	0.14	0.145	182.64	52	0.11	0.11
15	0.13	0.14	203.50	53	0.12	0.115
16	0.13	0.125	228.15	54	0.115	0.11
17	0.12	0.125	247.15	55	0.115	0.115
18	0.115	0.11	293.04	56	0.105	0.1
19	0.12	0.12	257.56	57	0.115	0.12
20	0.115	0.12	268.63	58	0.115	0.12
21	0.12	0.125	247.15	59	0.12	0.115
22	0.115	0.12	268.63	60	0.12	0.12
23	0.13	0.125	228.15	61	0.125	0.12
24	0.13	0.135	211.25	62	0.12	0.115
25	0.115	0.11	293.04	63	0.13	0.125
26	0.115	0.12	268.63	64	0.13	0.125
27	0.115	0.115	280.44	65	0.12	0.125
28	0.115	0.12	268.63	66	0.13	0.125
29	0.1	0.105	353.01	67	0.12	0.125
30	0.09	0.09	457.88	68	0.135	0.13
31	0.09	0.09	457.88	69	0.13	0.125
32	0.09	0.09	457.88	70	0.12	0.115
33	0.09	0.09	457.88	71	0.13	0.125
34	0.09	0.09	457.88	72	0.13	0.125
35	0.09	0.09	457.88	73	0.12	0.125
36	0.085	0.09	484.41	74	0.14	0.135
37	0.085	0.085	513.33	75	0.14	0.14
38	0.085	0.085	513.33	76	0.13	0.135

Material de aporte

ZAC

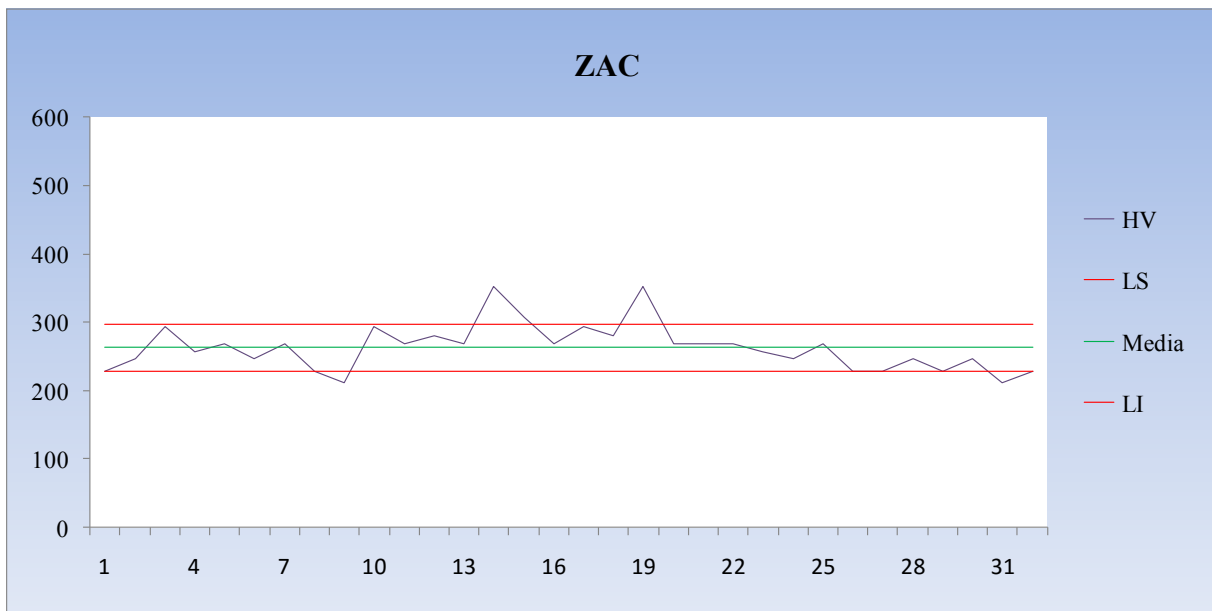
Material base



	Media
Vickers	316.99

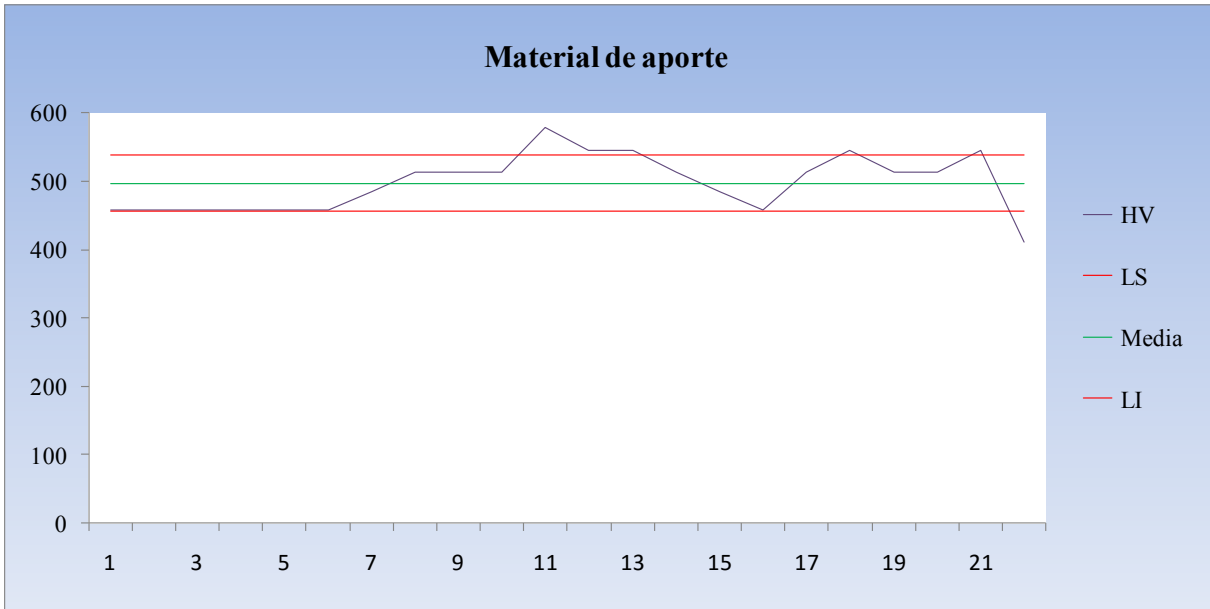
Figura 31. Gráfica de dureza de muestra enfriada en agua.

Se realizó un análisis utilizando la desviación estándar como herramienta estadística, para poder determinar un rango en relación a la media de los resultados respecto a las zonas.



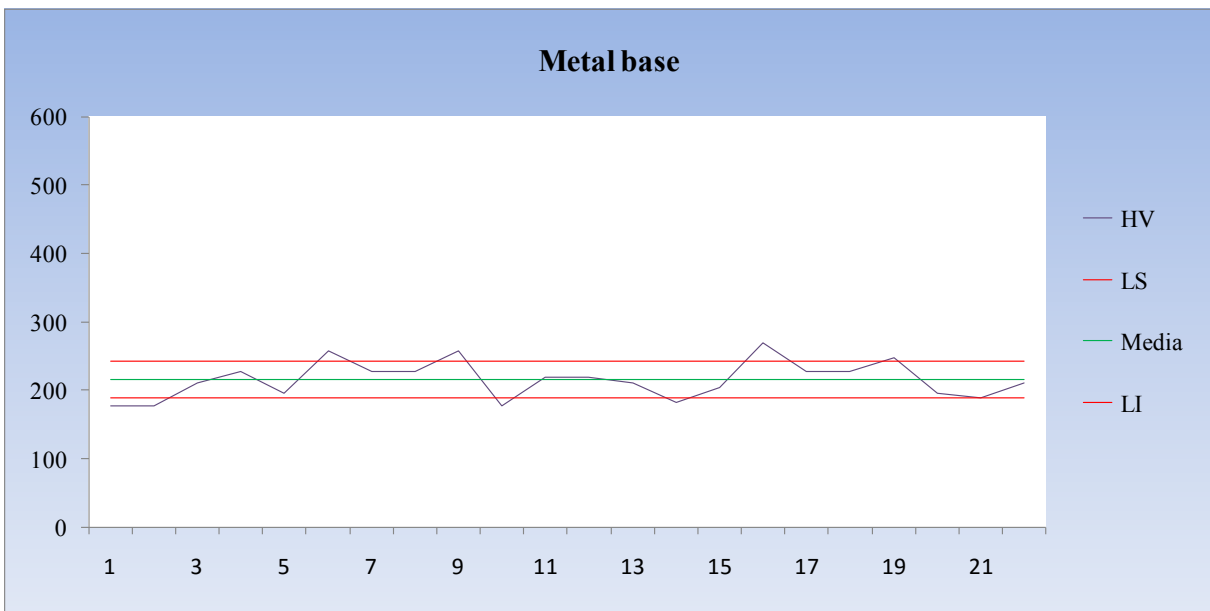
	LI	Media	LS
Vickers	228.97	262.89	296.8

Figura 32. Gráfica de dureza en la ZAC de muestra enfriada en agua.



	LI	Media	LS
Vickers	455.58	497.15	538.72

Figura 33. Gráfica de dureza en material de aporte de muestra enfriada en agua.



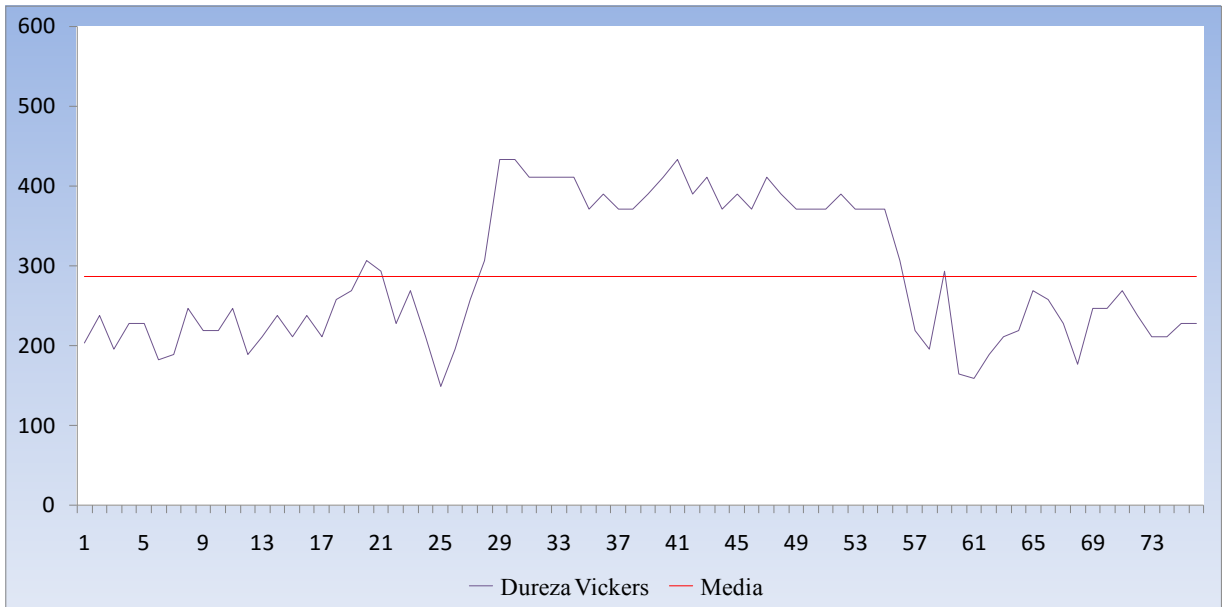
	LI	Media	LS
Vickers	188.35	215.51	242.67

Figura 34. Gráfica de dureza en metal base de muestra enfriada en agua.

Post calentamiento a 350°C.- Ésta prueba se realizó con una escala de dureza Vickers 2, pasando por el material base, zona afectada por el calor (ZAC) y material de aporte. Los resultados se muestran en la tabla 4.3.

Resultados de dureza (HV) Vickers 2							
Huella	D1	D2	HV	Huella	D1	D2	HV
1	0.13	0.14	203.50	39	0.1	0.095	390.14
2	0.125	0.125	237.36	40	0.095	0.095	410.95
3	0.14	0.135	196.17	41	0.095	0.09	433.46
4	0.125	0.13	228.15	42	0.095	0.1	390.14
5	0.125	0.13	228.15	43	0.095	0.095	410.95
6	0.14	0.145	182.64	44	0.1	0.1	370.88
7	0.14	0.14	189.22	45	0.095	0.1	390.14
8	0.125	0.12	247.15	46	0.1	0.1	370.88
9	0.13	0.13	219.46	47	0.095	0.095	410.95
10	0.13	0.13	219.46	48	0.1	0.095	390.14
11	0.12	0.125	247.15	49	0.1	0.1	370.88
12	0.14	0.14	189.22	50	0.1	0.1	370.88
13	0.13	0.135	211.25	51	0.1	0.1	370.88
14	0.125	0.125	237.36	52	0.095	0.1	390.14
15	0.13	0.135	211.25	53	0.1	0.1	370.88
16	0.125	0.125	237.36	54	0.1	0.1	370.88
17	0.13	0.135	211.25	55	0.1	0.1	370.88
18	0.12	0.12	257.56	56	0.11	0.11	306.51
19	0.115	0.12	268.63	57	0.13	0.13	219.46
20	0.11	0.11	306.51	58	0.14	0.135	196.17
21	0.115	0.11	293.04	59	0.11	0.115	293.04
22	0.13	0.125	228.15	60	0.15	0.15	164.84
23	0.115	0.12	268.63	61	0.15	0.155	159.48
24	0.13	0.135	211.25	62	0.14	0.14	189.22
25	0.16	0.155	149.51	63	0.13	0.135	211.25
26	0.14	0.135	196.17	64	0.13	0.13	219.46
27	0.12	0.12	257.56	65	0.12	0.115	268.63
28	0.11	0.11	306.51	66	0.12	0.12	257.56
29	0.095	0.09	433.46	67	0.125	0.13	228.15
30	0.09	0.095	433.46	68	0.15	0.14	176.40
31	0.095	0.095	410.95	69	0.12	0.125	247.15
32	0.095	0.095	410.95	70	0.12	0.125	247.15
33	0.095	0.095	410.95	71	0.115	0.12	268.63
34	0.095	0.095	410.95	72	0.125	0.125	237.36
35	0.1	0.1	370.88	73	0.135	0.13	211.25
36	0.1	0.095	390.14	74	0.13	0.135	211.25
37	0.1	0.1	370.88	75	0.125	0.13	228.15
38	0.1	0.1	370.88	76	0.125	0.13	228.15

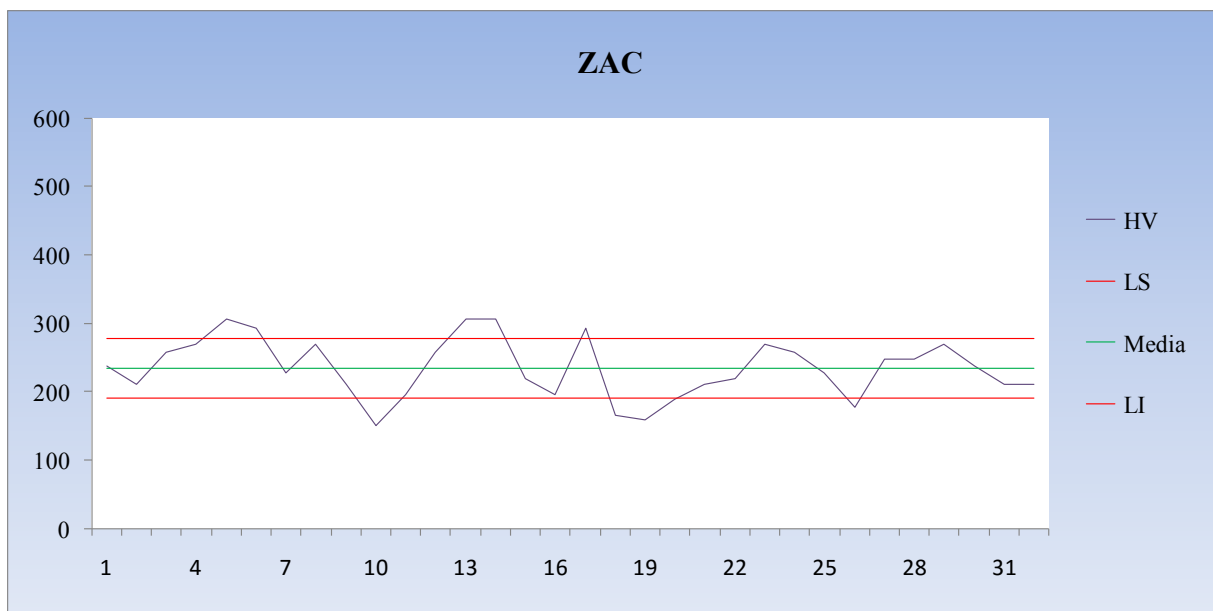
 Material de aporte
 ZAC
 Metal base



	Media
Vickers	286.93

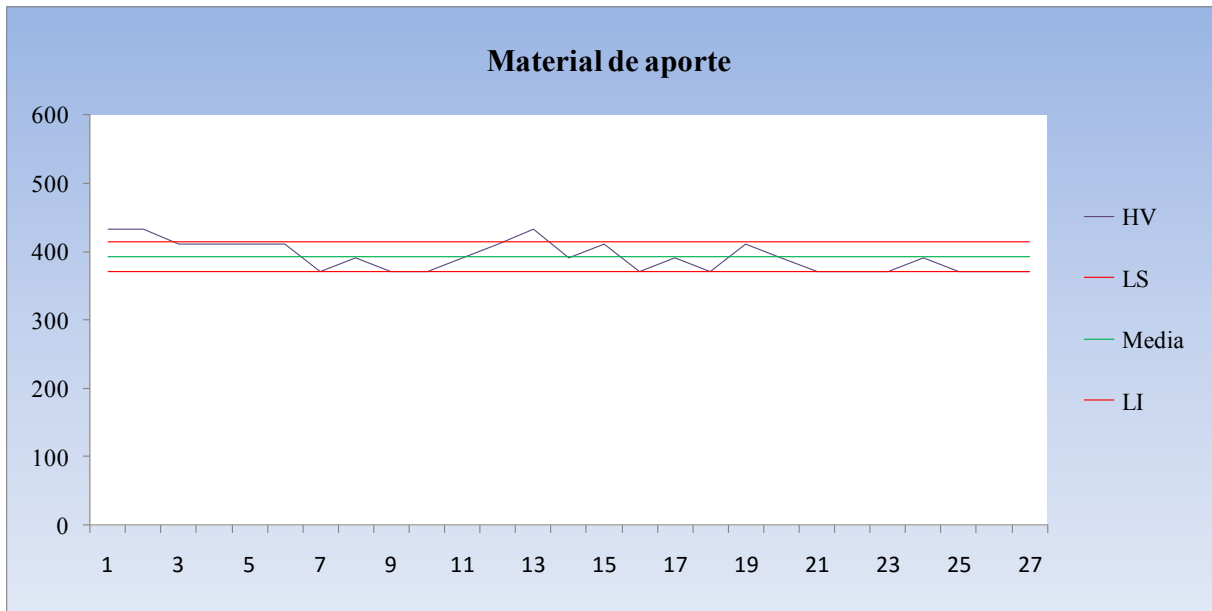
Figura 35. Gráfica de dureza de muestra con post calentamiento a 350°C.

Se realizó un análisis utilizando la desviación estándar como herramienta estadística, para poder determinar un rango en relación a la media de los resultados respecto a las zonas.



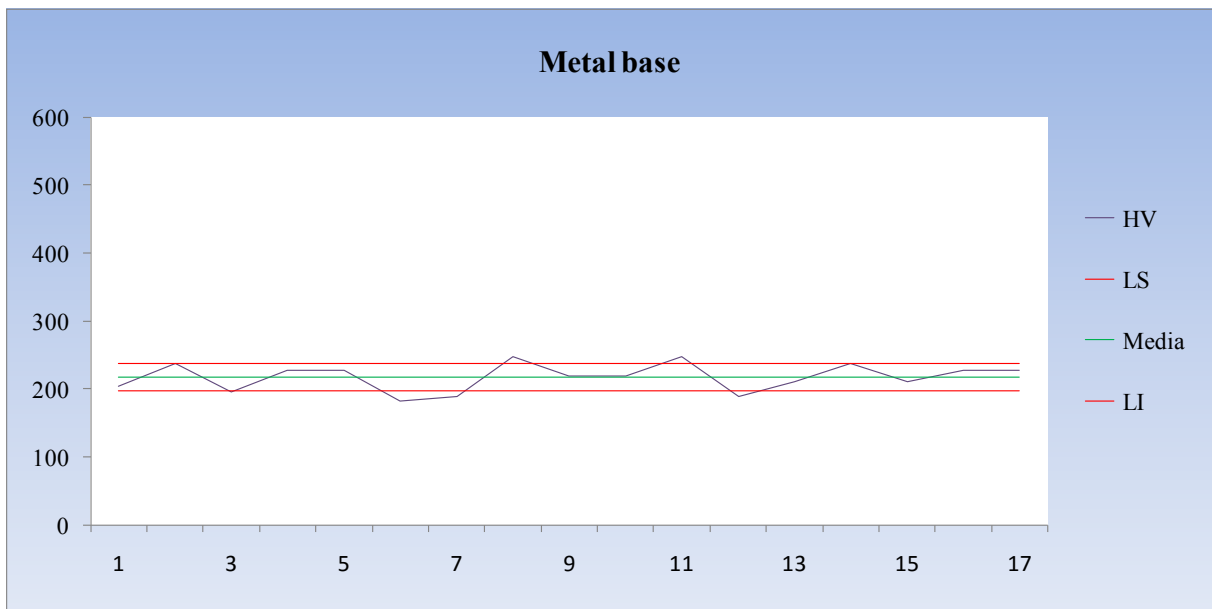
	LI	Media	LS
Vickers	191.16	234.53	277.9

Figura 36. Gráfica de dureza en la ZAC de muestra con post calentamiento a 350°C.



	LI	Media	LS
Vickers	370.5	392.5	414.51

Figura 37. Gráfica de dureza en material de aporte de muestra con post calentamiento a 350°C.



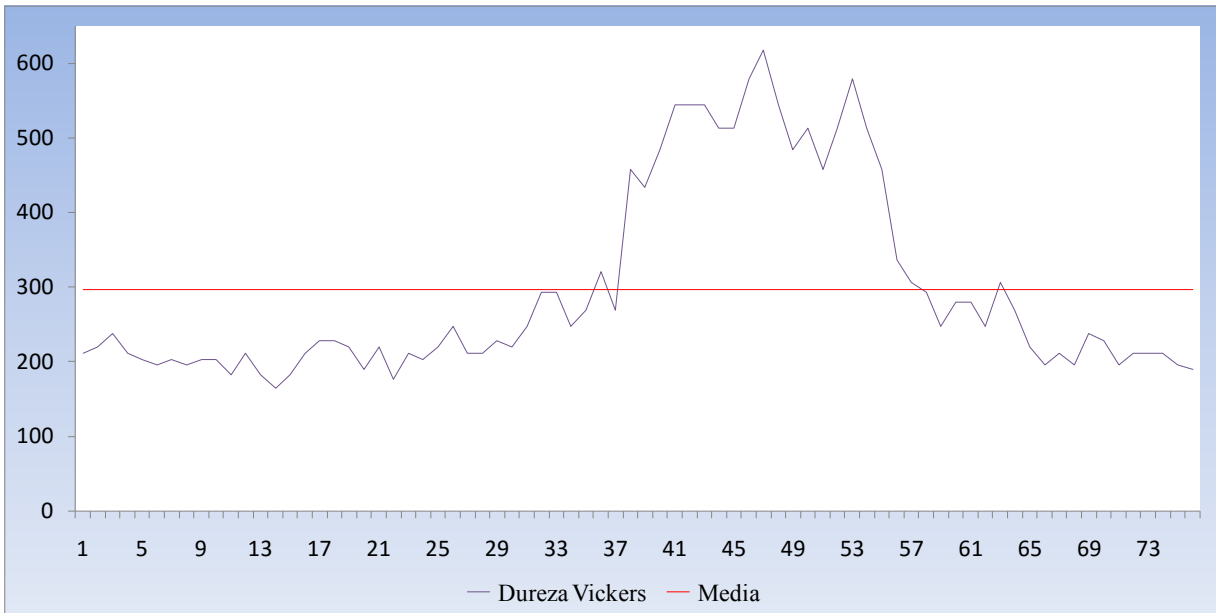
	LI	Media	LS
Vickers	197.64	217.87	238.1

Figura 38. Gráfica de dureza en metal base de muestra con post calentamiento a 350°C.

Post calentamiento a 450°C.- Ésta prueba se realizó con una escala de dureza Vickers 2, pasando por el material base, zona afectada por el calor (ZAC) y material de aporte. Los resultados se muestran en la tabla 4.4.

Resultados de dureza (HV) Vickers 2							
Huella	D1	D2	HV	Huella	D1	D2	HV
1	0.13	0.135	211.25	39	0.09	0.095	433.46
2	0.13	0.13	219.46	40	0.09	0.085	484.41
3	0.125	0.125	237.36	41	0.08	0.085	544.91
4	0.135	0.13	211.25	42	0.08	0.085	544.91
5	0.135	0.135	203.50	43	0.08	0.085	544.91
6	0.135	0.14	196.17	44	0.085	0.085	513.33
7	0.135	0.135	203.50	45	0.085	0.085	513.33
8	0.14	0.135	196.17	46	0.08	0.08	579.50
9	0.135	0.135	203.50	47	0.08	0.075	617.49
10	0.135	0.135	203.50	48	0.08	0.085	544.91
11	0.145	0.14	182.64	49	0.09	0.085	484.41
12	0.135	0.13	211.25	50	0.085	0.085	513.33
13	0.145	0.14	182.64	51	0.09	0.09	457.88
14	0.15	0.15	164.84	52	0.085	0.085	513.33
15	0.145	0.14	182.64	53	0.08	0.08	579.50
16	0.135	0.13	211.25	54	0.085	0.085	513.33
17	0.13	0.125	228.15	55	0.09	0.09	457.88
18	0.13	0.125	228.15	56	0.105	0.105	336.40
19	0.13	0.13	219.46	57	0.11	0.11	306.51
20	0.14	0.14	189.22	58	0.11	0.115	293.04
21	0.13	0.13	219.46	59	0.12	0.125	247.15
22	0.145	0.145	176.40	60	0.115	0.115	280.44
23	0.135	0.13	211.25	61	0.115	0.115	280.44
24	0.135	0.135	203.50	62	0.12	0.125	247.15
25	0.13	0.13	219.46	63	0.11	0.11	306.51
26	0.12	0.125	247.15	64	0.115	0.12	268.63
27	0.135	0.13	211.25	65	0.13	0.13	219.46
28	0.13	0.135	211.25	66	0.135	0.14	196.17
29	0.13	0.125	228.15	67	0.135	0.13	211.25
30	0.13	0.13	219.46	68	0.135	0.14	196.17
31	0.12	0.125	247.15	69	0.125	0.125	237.36
32	0.11	0.115	293.04	70	0.125	0.13	228.15
33	0.11	0.115	293.04	71	0.14	0.135	196.17
34	0.12	0.125	247.15	72	0.135	0.13	211.25
35	0.115	0.12	268.63	73	0.13	0.135	211.25
36	0.105	0.11	320.93	74	0.13	0.135	211.25
37	0.12	0.115	268.63	75	0.14	0.135	196.17
38	0.09	0.09	457.88	76	0.14	0.14	189.22

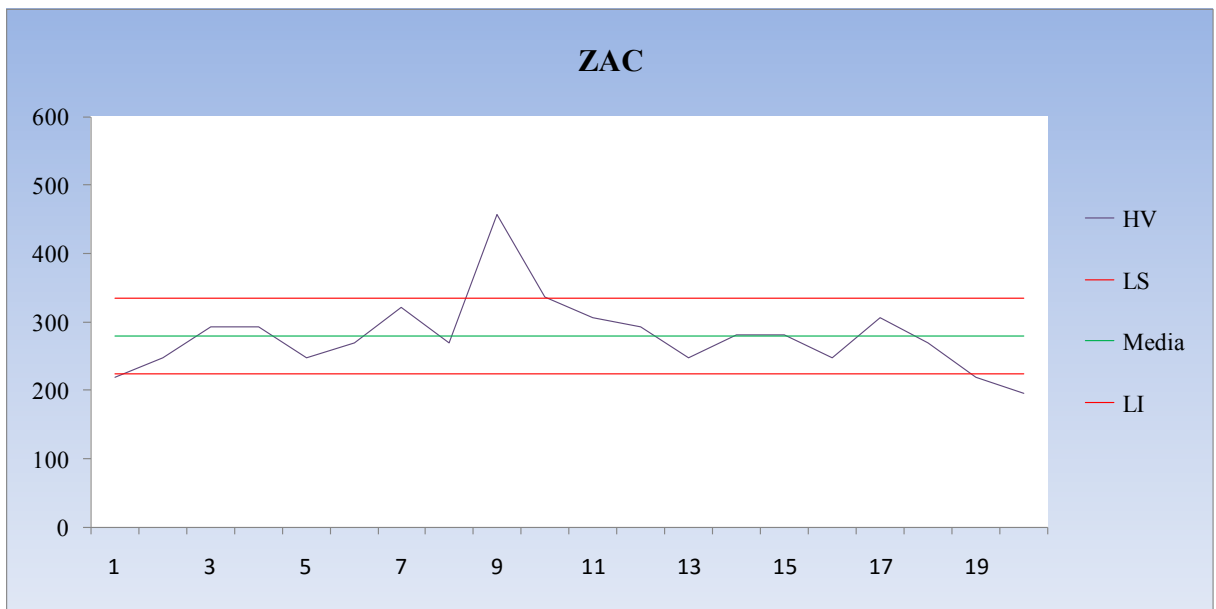
	Material de aporte
	ZAC
	Metal base



	Media
Vickers	296.59

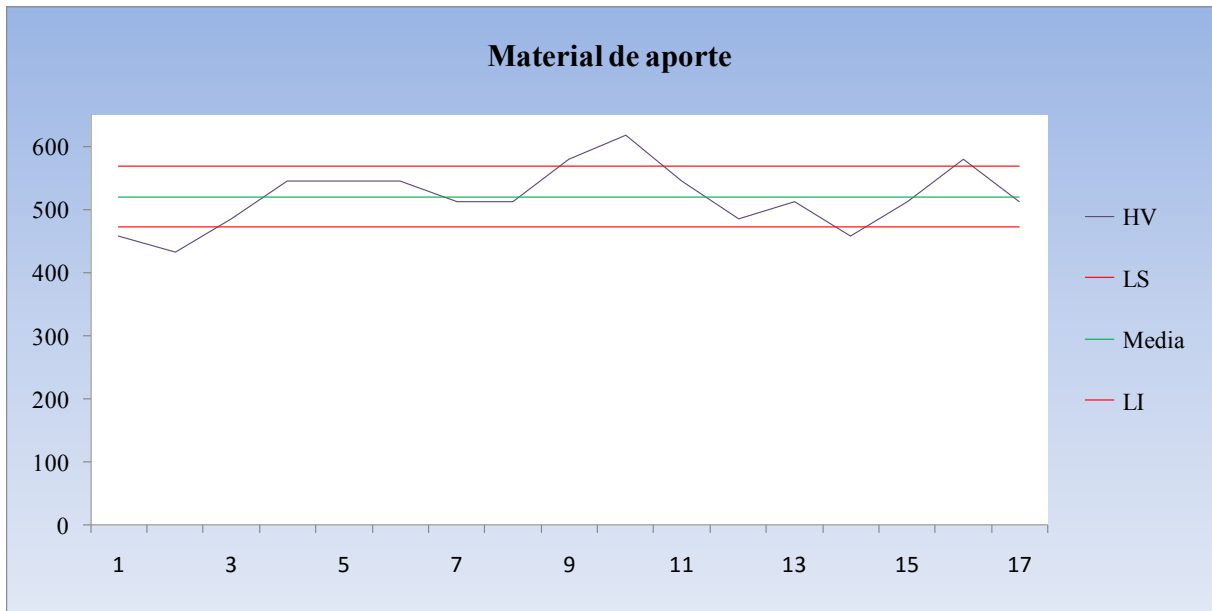
Figura 39. Gráfica de dureza de muestra con post calentamiento a 450°C.

Se realizó un análisis utilizando la desviación estándar como herramienta estadística, para poder determinar un rango en relación a la media de los resultados respecto a las zonas.



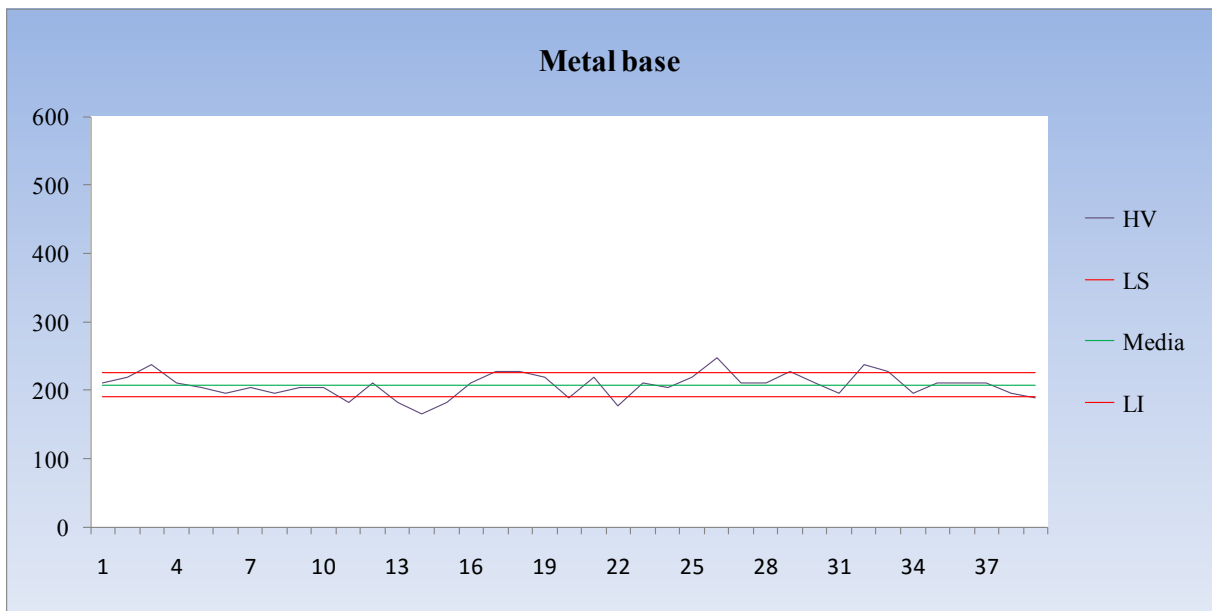
	LI	Media	LS
Vickers	224.89	279.89	334.89

Figura 40. Gráfica de dureza en la ZAC de muestra con post calentamiento a 450°C.



	LI	Media	LS
Vickers	471.94	520.05	568.16

Figura 41. Gráfica de dureza en material de aporte de muestra con post calentamiento a 450°C.



	LI	Media	LS
Vickers	190.11	207.74	225.38

Figura 42. Gráfica de dureza en metal base de muestra con post calentamiento a 450°C.

La dureza promedio de cada una de las zonas de los diferentes tratamientos postsoldadura de los procedimientos realizados se presenta en la siguiente tabla.

MUESTRA	METAL BASE	ZONA AFECTADA POR EL CALOR	MATERIAL DE APORTE
Enfriada Aire	213.70 HV	248.47 HV	390.79 HV
Enfriada Agua	215.51 HV	262.89 HV	497.15 HV
Post. A 350°C	217.87 HV	234.53 HV	392.50 HV
Post. A 450°C	207.74 HV	279.89 HV	520.05 HV

4.2 Metalografía

Enfriamiento al aire.- En las fotografías que se tomaron a 50X, 100X y 400X de la muestra que se enfrió al aire se puede ver que en la fotografía 43 existe una gran diferencia entre las tres zonas que se formaron por el fenómeno de la soldadura, la más relevante es al ZAC ya que en ella se aprecia un cambio drástico de la presencia del Grafito.



Figura 43. Muestra enfriada al aire a 50X.

En la fotografía 44, se observa en la ZAC la presencia de carburos y poca presencia del grafito, ya que se ven pequeñas hojuelas del mismo.



Figura 44. Muestra enfriada al aire a 100X.

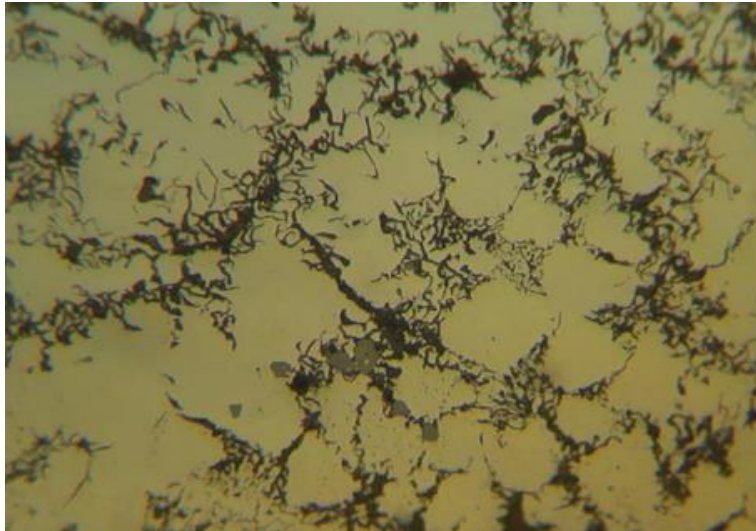


Figura 45. Muestra enfriada al aire a 400X.

En la fotografía 45 se aprecia en la ZAC la presencia de un grafito totalmente degradado, que según la norma ASTM es del tipo 6E, que son hojuelas finas y pequeñas, acompañadas con carburos globulizados.

Enfriamiento en agua.- En las fotografías que se tomaron a 50X, 100X y 400X de la muestra que se enfrió al agua se puede ver que en la fotografía 46 existe una diferencia entre las tres zonas que se formaron por el fenómeno de la soldadura, la más relevante es al ZAC ya que en ella se aprecia un cambio drástico de la presencia del Grafito.



Figura 46. Muestra enfriada en agua a 50X.

En la fotografía 47, se observa en la ZAC la presencia de carburos y poca presencia del grafito, ya que se ven pequeñas hojuelas del mismo

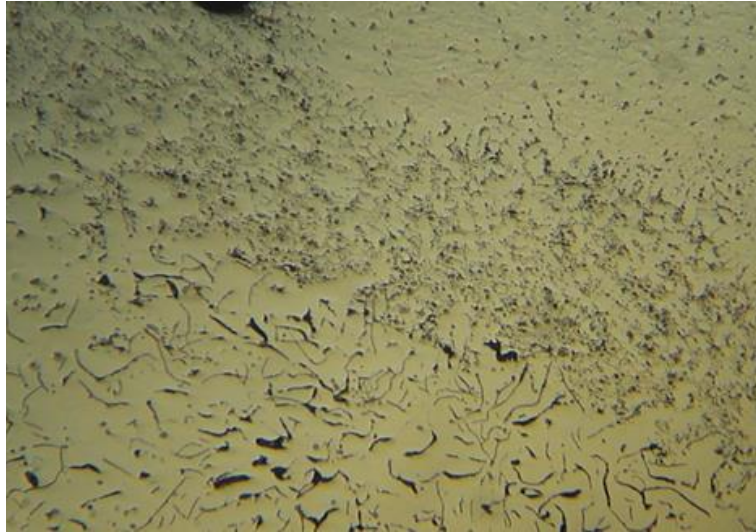


Figura 47. Muestra enfriada en agua a 100X.

En la fotografía 48 se aprecia en la ZAC la presencia de un grafito totalmente degradado y escaso, que según la norma ASTM es del tipo 6E, que son hojuelas finas y pequeñas, acompañadas con carburos globulizados.



Figura 48. Muestra enfriada en agua a 400X.

Post calentamiento a 350°C.- En las fotografías que se tomaron a 50X, 100X y 400X de la muestra que se post calentó a 350°C se puede ver que en la fotografía 49 existe una diferencia entre las tres zonas que se formaron por el fenómeno de la soldadura, la más relevante es al ZAC ya que en ella se aprecia un cambio drástico de la presencia del Grafito.



Figura 49. Muestra con post calentamiento a 350°C a 50X.

En la fotografía 50, se observa en la ZAC la presencia de carburos y presencia del grafito en forma fina, ya que se ven pequeñas hojuelas del mismo



Figura 50. Muestra con post calentamiento a 350°C a 100X.

En la fotografía 51 se aprecia en la ZAC la presencia de un grafito degradado, que según la norma ASTM es del tipo 6E, que son hojuelas finas y pequeñas, acompañadas con carburos globulizados



Figura 51. Muestra con post calentamiento a 350°C a 400X.

Post calentamiento a 450°C.- En las fotografías que se tomaron a 50X, 100X y 400X de la muestra que se post calentó a 450°C se puede ver que en la fotografía 52 existe una diferencia entre las tres zonas que se formaron por el fenómeno de la soldadura, la más relevante es al ZAC ya que en ella se aprecia un cambio drástico de la presencia del Grafito.

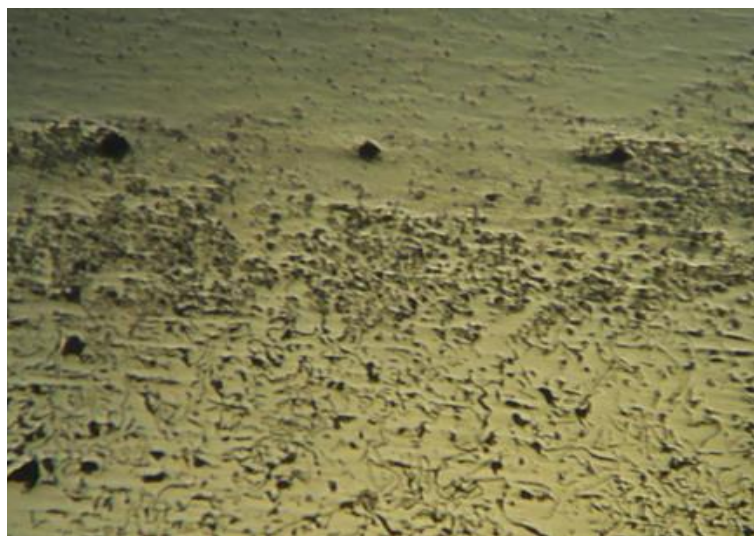


Figura 52. Muestra con un post calentamiento a 450°C a 50X.

En la fotografía 53, se observa en la ZAC la presencia de carburos y presencia del grafito en forma fina, ya que se ven pequeñas hojuelas del mismo.

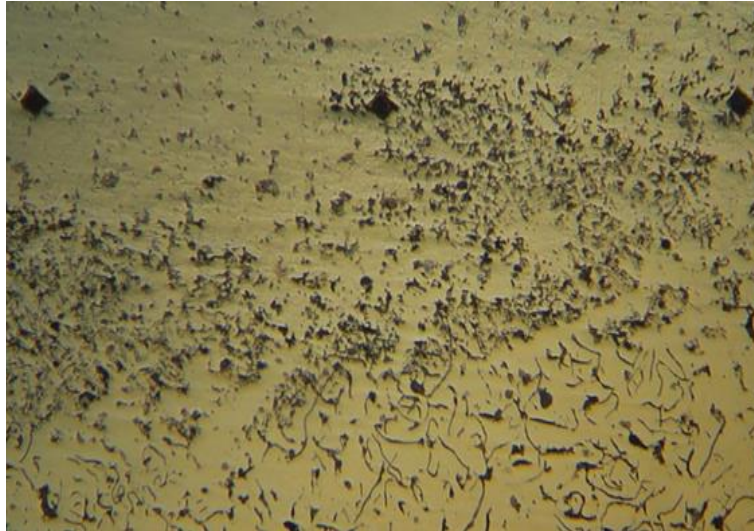


Figura 53. Muestra con un post calentamiento a 450°C a 100X.

En la fotografía 54 se aprecia en la ZAC la presencia de un grafito pequeño pero abundante, que según la norma ASTM es del tipo 6E, que son hojuelas finas y pequeñas, acompañadas con carburos globulizados



Figura 54. Muestra con un post calentamiento a 450°C a 400X.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Ensayo de Dureza Vickers.

Tomado como base las durezas medias obtenidos en cada una de las zonas, de las muestras soldadas con diferentes medios de enfriamiento que van desde lo que se puede considera un recocido por los tratamientos postsoldadura hasta un Temple en agua, podemos observar que existen diferencias significativas principalmente en la ZAC, así como en el metal base, sin embargo, en el metal base se puede decir que no sufre cambios apreciables que ha pensar que también es afectada por los tratamientos postsoldadura.

- La Media del Metal base de los 4 ensayos fue de 213.71 HV, y se puede apreciar que la dureza más alta obtenida de los procedimientos de soldadura fue 0.84% mayor de la dureza media; y el más bajo fue de 3.07% menor de la dureza media.
- La Media de la Zona Afectada por el Calor de los 4 ensayos fue de 256.44 HV, y se puede apreciar que la dureza más alta obtenida de los procedimientos de soldadura fue 9.14% mayor de la dureza media; y el más bajo fue de 8.54% menor de la dureza media.
- La Media del Material de Aporte de los 4 ensayos fue de 450.12 HV, y se puede apreciar que la dureza más alta obtenida de los procedimientos de soldadura fue 15.53% mayor de la dureza media; y el más bajo fue de 13.18% menor de la dureza media.

De las tres zonas, la zona de la ZAC y la del Material de aporte sufre cambios significativos en su dureza y que ambas son superiores en 16.66% y 52.52% del Material Base respectivamente.

Metalografía

La observación metalográfica de las estructuras de las muestras de los 4 procedimientos de soldadura de la fundición Gris, se encontró, que la estructura que más sufrió cambios significativos fue el Carbono libre que se presenta en forma de Grafito, ya que en la muestra enfriada en agua prácticamente desaparece en la Zona Afectada por el Calor, ya que aparece en forma escasa y la presencia de carburos. En la muestra enfriada al aire en la ZAC es muy semejante a la enfriada en agua, solo con un pequeño cambió del grafito que es una mayor presencia de él, pero es pequeño en forma de arañas.

Sin embargo las muestras que fueron postenfriadas en los procedimientos de soldadura a 350°C y 450°C; el grafito presentó en la ZAC de su forma original que son hojuelas, una destrucción total de su morfología original, el cual se puede clasificar como un grafito del tipo E del número 6, o sea sí tiene un cambio muy sustancial con respecto al grafito original que se podía clasificar en A del número 3. Hay que hacer notar también que la ZAC de la fundición es de un tamaño pequeño en todas las muestras.

CONCLUSIONES

Del trabajo experimental se puede concluir que:

- 1.- La propiedad de la dureza sí tiene un gran significado en la ZAC de la fundición.
- 2.- La forma de enfriar la fundición afecta significativamente a la dureza en la ZAC.
- 3.- El metal base o sea la fundición gris no se altera por el fenómeno térmico.
- 4.- La estructura del grafito sufre grandes variaciones dependiendo del procedimiento de la soldadura.
- 5.- Entre más rápido se enfría el cambio es más drástico.
- 6.- Aunque el enfriamiento se haga lento el grafito cambia radicalmente y por consiguiente se puede pensar que las propiedades mecánicas de la fundición cambiarán.

BIBLIOGRAFÍA

1. “Metal Handbook”, Vol. 7, 8va Ed., pp. 112 y 113.
2. Apraiz Barreiro, José. “Fundiciones”, 2da ed., Madrid, Editorial Dossat, S.A. 1963.
3. Horwitz, Henry. “Soldadura: aplicaciones y práctica”, Editorial Alfaomega, 1997.
4. Malishev, A; Nicolaiev, G. & Shuvalov, Y. “Tecnología de los metales”, Moscú, Editorial Mir Moscú, 1979.
5. Wilson, R., “Metallurgy and heat treatment of tool steels”.
6. Grong, O & Matlock, David K., “Microstructural development in mild and low alloy steel weld metals”, international 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.