



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

**EFFECTOS EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR EN UNA FUNDICIÓN GRIS  
SOLDADO CON ELECTRODO REVESTIDO 308.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA MECÁNICA ELÉCTRICISTA**

**PRESENTA:**

**BRIANDA PATRICIA LAREDO MALDONADO**

**TUTOR**

**Dr. HECTOR ENRIQUE CURIEL REYNA**

**CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO, 2017**



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 CUAUITTLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa 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 el Trabajo de Tesis

Efectos en la zona afectada por el calor en una fundición grs soldado con electrodo revestido 308

Que presenta la pasante: BRIANDA PATRICIA LAREDO MALDONADO  
Con número de cuenta: 41301371-0 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

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

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 03 de noviembre de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Héctor Enrique Cuñel Reyna	
VOCAL	M. en I. Felipe Urua Del Castillo Rodríguez	
SECRETARIO	M. en I. Jesús García Lira	
1er. SUPLENTE	Dr. Rolando Corrae Montez De Oca	
2do. SUPLENTE	Ing. José Armando González Urbina	

NOTA: los rinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 117).

LMC/atm\*

## **DEDICATORIAS**

Dedico esta tesis a mi mamá Susy y a mi papá Memo por estar siempre a mi lado apoyándome durante toda mi vida y en este proceso de elaboración de mi tesis. Me han demostrado que los sueños se pueden cumplir siendo perseverante y que su amor siempre será incondicional en cualquier circunstancia y que a pesar de la distancia que nos ha separado por cuestiones académicas, su apoyo siempre está presente y gracias a ustedes me he podido levantar de cada fracaso y mantener mi humildad para seguir por el camino del éxito.

A mis hermanas Susan y Melisa por siempre estar apoyándome en todo momento para lograr mis sueños, ustedes son parte esencial de mi vida.

A mi divinidad por permitirme concluir un paso más de esta vida llena de sueños por cumplir.

A la UNAM por cada una de las oportunidades académicas que me otorgó durante mi estancia académica.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi divinidad por permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida profesional.

A mi mamá, por apoyarme en cada momento de éxito y de fracaso, por todo ese amor que me has dado y por motivarme a seguir adelante para cumplir mis sueños.

A mi papá por enseñarme a ser constante y perseverante hasta alcanzar todas las metas en mi vida, por cada consejo que me has dado para ser buena persona.

A mi hermana Susan por darme consejos a diario y estar siempre pendiente de mí.

A mi hermana Melisa por siempre alegrarme la vida y por todo tu cariño.

Al Dr. Enrique Curiel Reyna, asesor de tesis, por su valiosa e invaluable guía y asesoramiento para la elaboración de este trabajo de tesis.

Al Ing. Noe por su apoyo en las actividades realizadas en el laboratorio de manufactura.

A todos mis profesores que de alguna manera me ayudaron a llegar hasta el final de la carrera.

Agradezco infinitamente a la UNAM por cada una de las oportunidades académicas que tuve de estudiar en el extranjero.

# ÍNDICE

## DEDICATORIAS

## AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE .....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
<b>CAPÍTULO 1. FUNDICIONES .....</b>	<b>9</b>
1.1 FUNDICIONES.....	10
<b>1.2 COMPONENTES.....</b>	<b>10</b>
1.3 EFECTOS DE LOS ELEMENTOS EN LAS FUNDICIONES. ....	11
1.4 PRINCIPALES PROPIEDADES DE LAS FUNDICIONES. ....	12
1.5 CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDICIONES. ....	13
1.6 FUNDICIÓN PERLÍTICA.....	15
1.7 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LAS FUNDICIONES. ....	19
<b>CAPÍTULO 2. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO.....</b>	<b>22</b>
2.1 SOLDADURA DE ARCO.....	23
2.2 PROCESOS Y EQUIPOS PARA LA SOLDADURA DE ARCO. ....	24
2.3 CIRCUITO DE LA SOLDADURA DE ARCO.....	24
2.4 ELECTRODOS PARA SOLDADURA DE ARCO.....	25
2.5 FACTORES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES DEL METAL DE SOLDADURA.....	26
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>27</b>
<b>“METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN” .....</b>	<b>27</b>
3.1 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS .....	28
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>36</b>
<b>“RESULTADOS EXPERIMENTALES” .....</b>	<b>36</b>
4.1 PRUEBAS DE DUREZA.....	36
4.2 ESTUDIO METALOGRAFICO.....	38
4.3 PRUEBA DE TENSIÓN .....	54
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>59</b>

## INTRODUCCIÓN

Las fundiciones son aleaciones de fierro, 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 la elaboración de 3 probetas de fundición del tipo gris y de acero inoxidable 304, las cuales se les realizó una soldadura con material de aporte de un acero inoxidable 308; posteriormente se sometieron a un enfriamiento rápido con agua a cada una de las probetas para analizar los efectos en la zona afectada por el calor.

A dos de las 3 probetas se maquinaron y se les hizo una muesca de 45° para someterlas a un ensayo de tensión. Una de las probetas se maquinó para reducir sus dimensiones. Para realizar 101 pruebas de dureza con una distancia entre cada huella de 0.0125" pasando por las zonas de: metal base (fundición gris), material de aporte, zona afectada por el calor (ZAC) y metal base (acero inoxidable) así mismo, se realizó el análisis metalográfico de dicha probeta.

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.



## **OBJETIVO**

Determinar los efectos provocados por la soldadura eléctrica con electrodo revestido de Acero Inoxidable 308 y enfriamiento brusco 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 de los materiales.

# **CAPÍTULO 1**

## **“FUNDICIONES Y ACEROS INOXIDABLES”**

## 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 Fierro-Carbono (Figura.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.

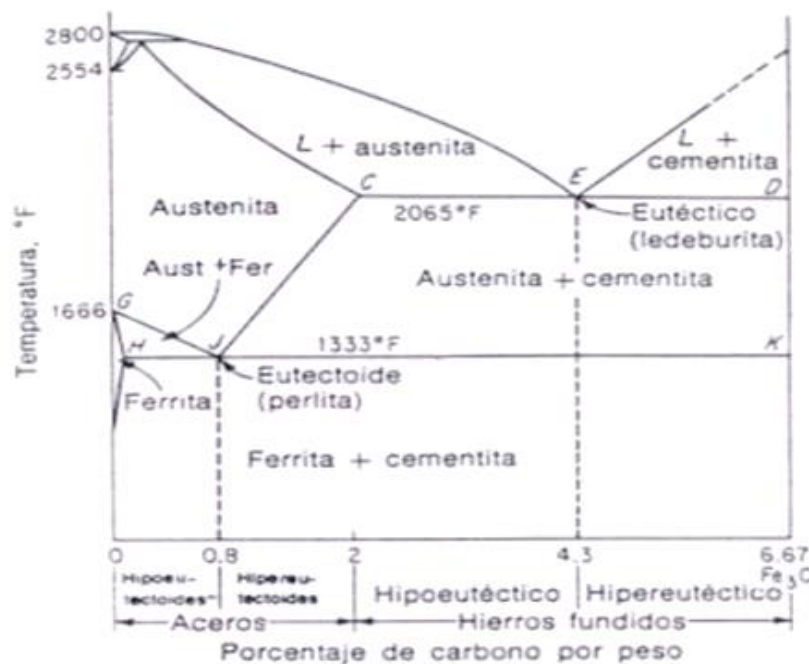


Figura. 1 Diagrama de fase meta estable Fierro-Carbono.

### **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 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.

#### *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<sup>2</sup>) y su resistencia a la tracción (que puede variar de 12 a 90 kg/mm<sup>2</sup>) 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.



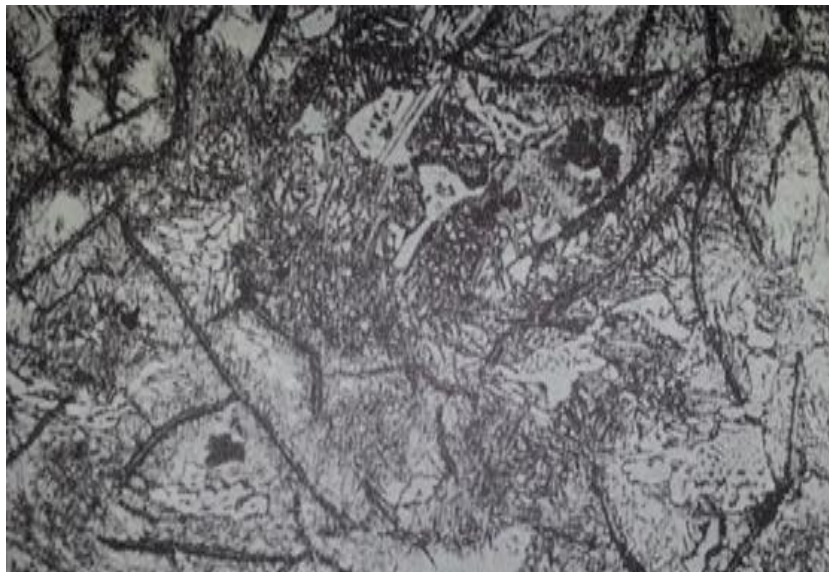
**Figura 2. Microestructura de una fundición blanca hipereutéctica. Se observan importantes masas blancas de Cementita hipereutéctica. También se observan agrupaciones seudoeutéticas Ledeburita que están constituidas por pequeñas partículas negras de perlita sobre un fondo blanco de Cementita.**

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. Fundición gris ferrítica. Láminas de grafito sobre un fondo blanco de cristales de Ferrita. 200X**

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. 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.**

## 1.6 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<sup>2</sup> 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.
- 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.

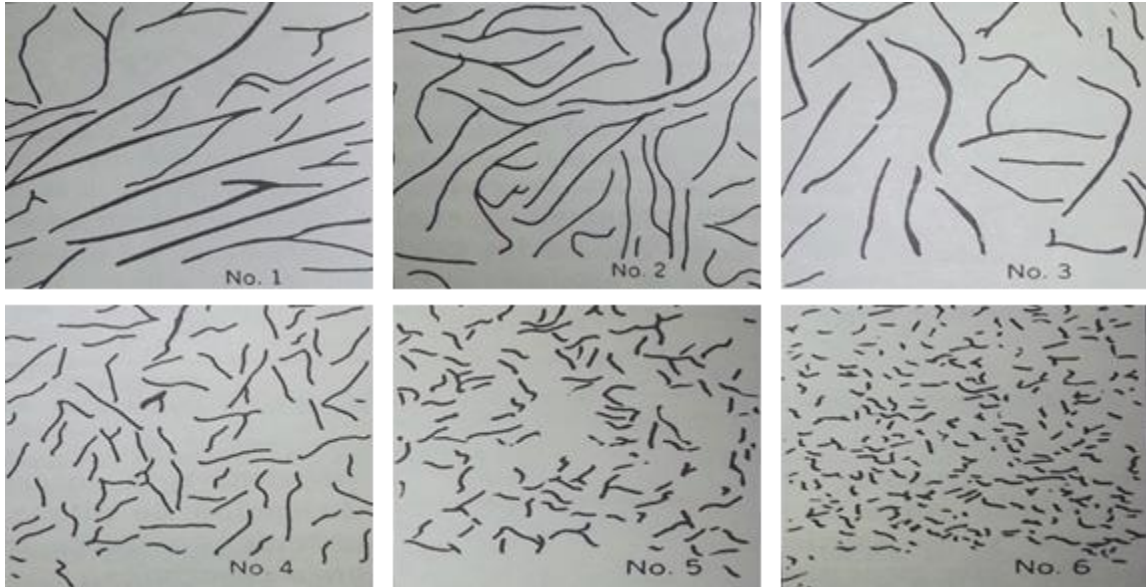
**Tabla 1 Composición de algunas piezas de fundición de uso corriente**

Clase de pieza	Composición en %				
	C	Si	Mn	P	S
Piezas de *Espesor pequeño	3.25	2.25	0.50	0.25	0.10
maquinaria *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

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.

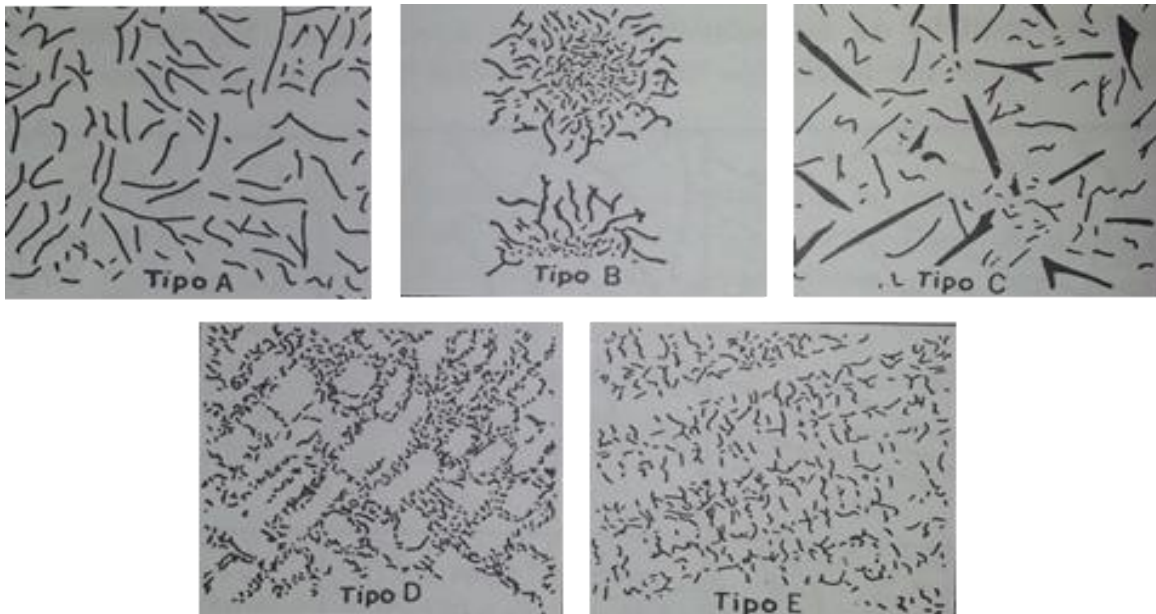
***Tamaño y distribución de las láminas de grafito.***

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



**Figura. 6. Tamaño de las láminas de grafito normalizados por la A.S.T.M. 100X**

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.

## **1.7 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.

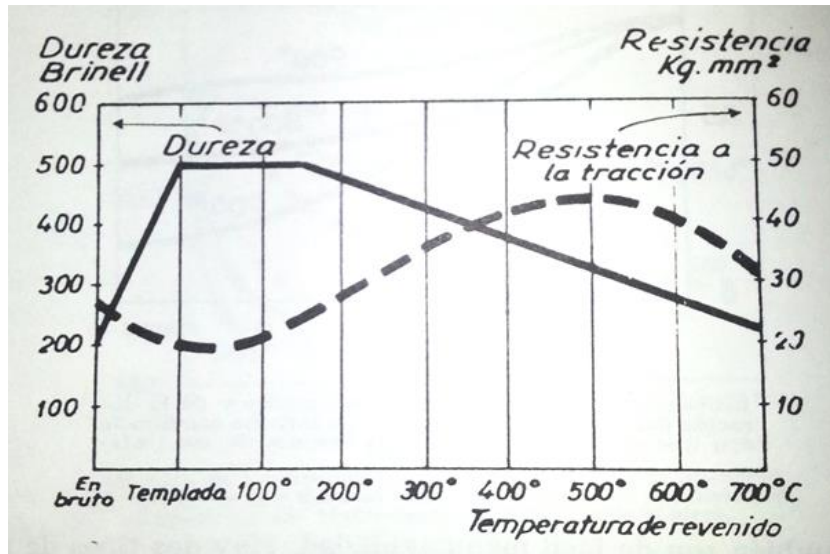
3. De maleabilización.

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 (Figura. 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.**

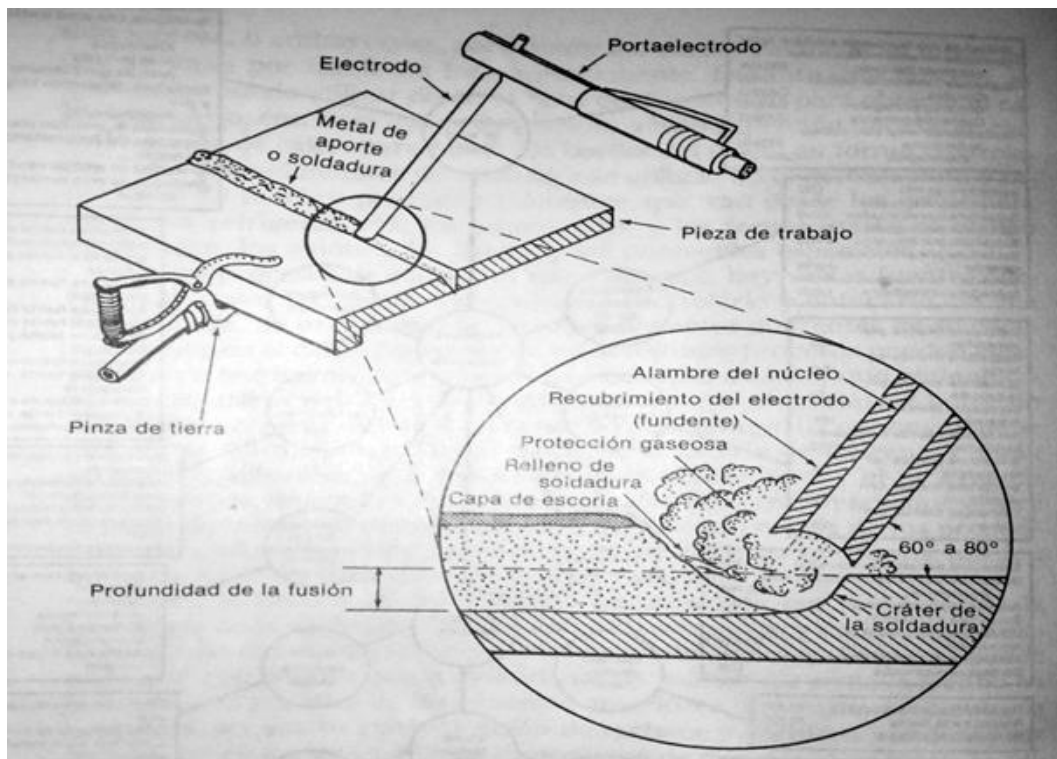
En cierto modo, el efecto es inverso al caso de los aceros. Se observa que con revenidos a temperaturas inferiores a 500°C, aumenta la resistencia a medida que aumenta la temperatura de revenido. En cambio, a partir de este punto, las fundiciones se comportan igual que los aceros y la resistencia disminuye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

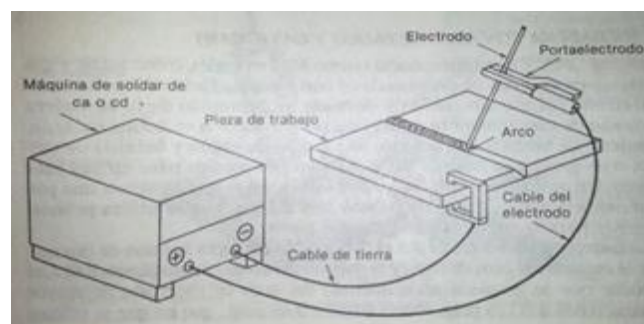
## 2.2 Procesos y equipos para la soldadura de arco.

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.

## 2.3 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. Circuito de Soldadura por Arco**

## **2.4 Electroodos 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, al voltaje de trabajo y controla la posición de aplicación

## **2.5 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 probetas.

Para la obtención de las probetas se utilizó una placa de Fundición Gris y otra placa de Acero Inoxidable, las cuales serán unidas por medio de una soldadura con electrodo de Acero Inoxidable 308. Dichas probetas serán sometidas a pruebas de tensión, pruebas de dureza y estudio metalográfico.

El procedimiento experimental consta de las siguientes etapas:

- Unión de placas con soldadura.

Como primer paso se procedió a colocar las placas de 4.0 mm de espesor en una mesa sobre unas pequeñas bases de metal para que ambas placas estuviesen a la misma altura (figura 11).



**Figura 11. Placas de Fundición Gris y Ac. Inoxidable**

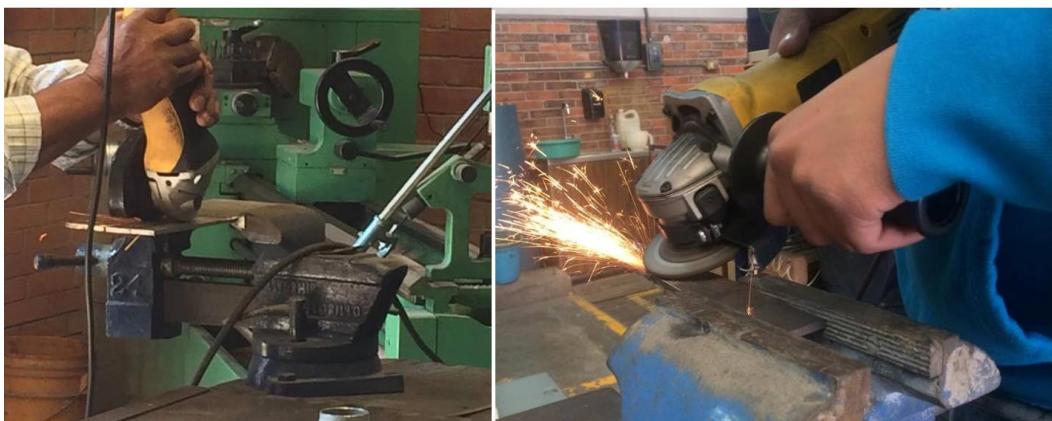
Se realizó la unión de las placas con una soldadura de un electrodo de Acero Inoxidable 308 a 70 amperes.

La placa soldada se sometió a un enfriamiento brusco en agua inmediatamente después de haber terminado el procedimiento de soldadura (Figura. 12).



**Figura 12. Soldadura y enfriamiento brusco de la placa**

La placa ya soldada fue dividida en tres partes utilizando un disco para cortar las tres probetas y con un esmeril se desbaste la zona del material de aporte tal y como se muestra en la figura 13 y 14.



**Figura 13. División y desbaste de placa soldada.**



**Figura 14. Placa dividida en tres probetas**

- Maquinado de las probetas.

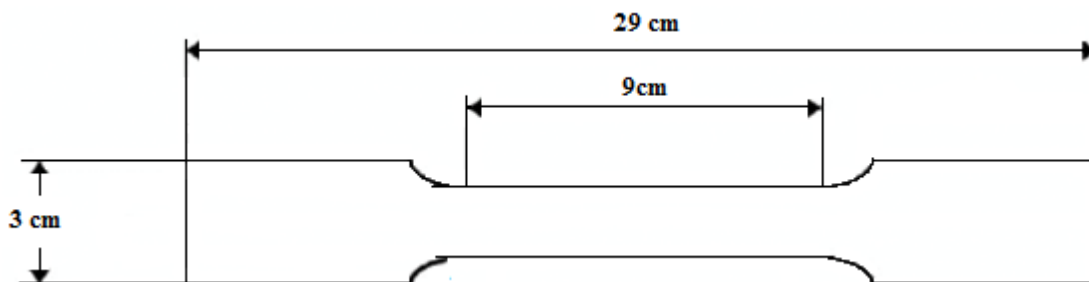
Se utilizó una fresadora convencional con la cual se desbastó cada una de las probetas con el objetivo de dejarlas sin alguna deformación para poder proceder con los demás pasos de experimentación.



**Figura 15. Maquinado con Fresadora Convencional**

Durante el proceso de maquinado en la fresadora, una de las probetas se quebró por lo que se decidió utilizarla para las pruebas de dureza y el estudio metalográfico.

Las dos probetas restantes siguieron su proceso de maquinado hasta darles la forma adecuada para la prueba de tensión (figura 16). La muesca se hizo en el área del metal Fundición Gris.



**Figura 16. Geometría de las probetas**

- Prueba de Dureza.

Para esta etapa de experimentación se utilizó la probeta que se fracturó, dicha probeta fue cortada para obtener una pequeña muestra, la cual se colocó en resina para unir la pieza (figura 17). Posteriormente fue retirada del recipiente y se desbastó con unas lijas de número 100, 200, y 400, con el fin de que estuviese más lisa para realizar las pruebas de dureza.

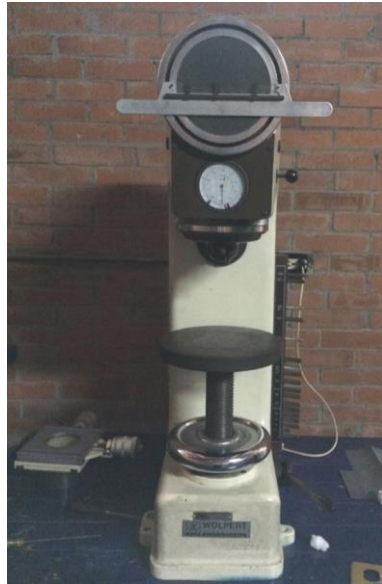


**Figura 17. Unión de probeta con resina**

Las pruebas de dureza se realizaron con un durómetro Vickers de la marca Amsler, y un penetrador de punta de diamante, utilizando una carga de 2 kg y una separación de 0.0125 pulgadas entre cada prueba.

Se hicieron un total de 101 pruebas de dureza, comenzando por el metal base Fundición Gris, Zona afectada por el calor ZAC, material de aporte, ZAC y metal base Acero Inoxidable 304.





**Figura 18. Durómetro Amsler**

- Estudio Metalográfico.

Para realizar este estudio se utilizó la probeta a la cual se le hicieron las pruebas de dureza, en esta etapa la probeta se sometió a un desbaste con lijas 180, 220, 320, 500, 800 y 1000 en una pulidora marca DAP-U, para darle un acabado espejo se utilizó paño y Alúmina, ( $Al_2O_3$ ) y se atacó químicamente con Nital para visualizar definitivamente la estructura en el microscopio.



**Figura 19. Desbaste de probeta**



**Figura 10. Probeta con acabado espejo**

Para hacer el estudio metalográfico se utilizó un microscopio (figura 21) y una cámara digital para realizar las capturas de las zonas importantes a estudiar, se utilizaron aumentos de 50x, 100x, 200x, 400x, 600x y 800x.



**Figura 11. Microscopio para Estudio Metalográfico.**

- Ensayo de Tensión.

Para realizar este ensayo se obtuvieron las medidas de espesor y anchura de las probetas utilizando un Vernier Digital.



**Figura 12. Máquina Universal de Ensayos Instron**

Se utilizó una Máquina Universal de Ensayos Instron 600DX, se procedió a ingresar las dimensiones obtenidas en el programa de la máquina.

Se colocó la probeta en la máquina y esperamos un tiempo determinado para que la probeta llegara a su punto de ruptura tal y como se muestra en la siguiente figura 23.



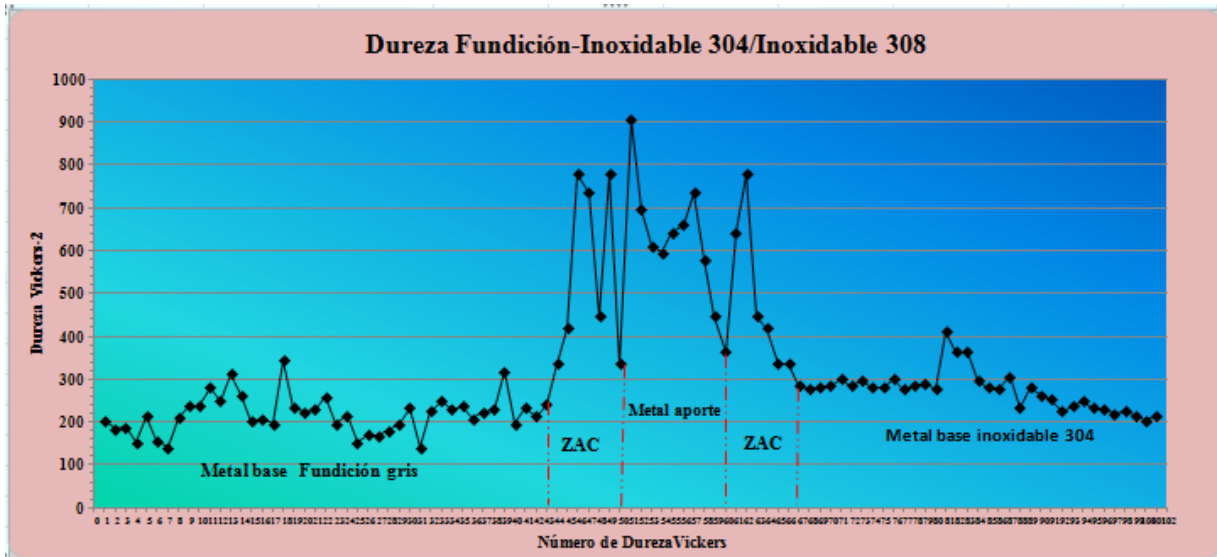
**Figura 13. Probeta sometida a ensayo de tensión.**

# **CAPÍTULO 4**

## **“RESULTADOS EXPERIMENTALES”**

### **4.1 Pruebas de Dureza.**

El ensayo de dureza se realizó con una escala Vickers 2, pasando por el material base Fundición Gris, zona afectada por el calor (ZAC), el material de aporte, y el metal base Acero Inoxidable 304; cuyos resultados se muestran en la siguiente gráfica:



**Gráfica 1. Dureza Fundición-Inoxidable 304/ Inoxidable 308.**

En la gráfica 1 se puede observar un cambio significativo en la dureza en ambas zonas afectadas por el calor y principalmente en el área de material de aporte. La dureza de los metales base se muestra dentro de un rango 202 de dureza Vickers. Es evidente que el cambio en la dureza de los metales base es muy distinto a la dureza que se presenta en las Zonas Afectadas por el Calor en ambas partes.

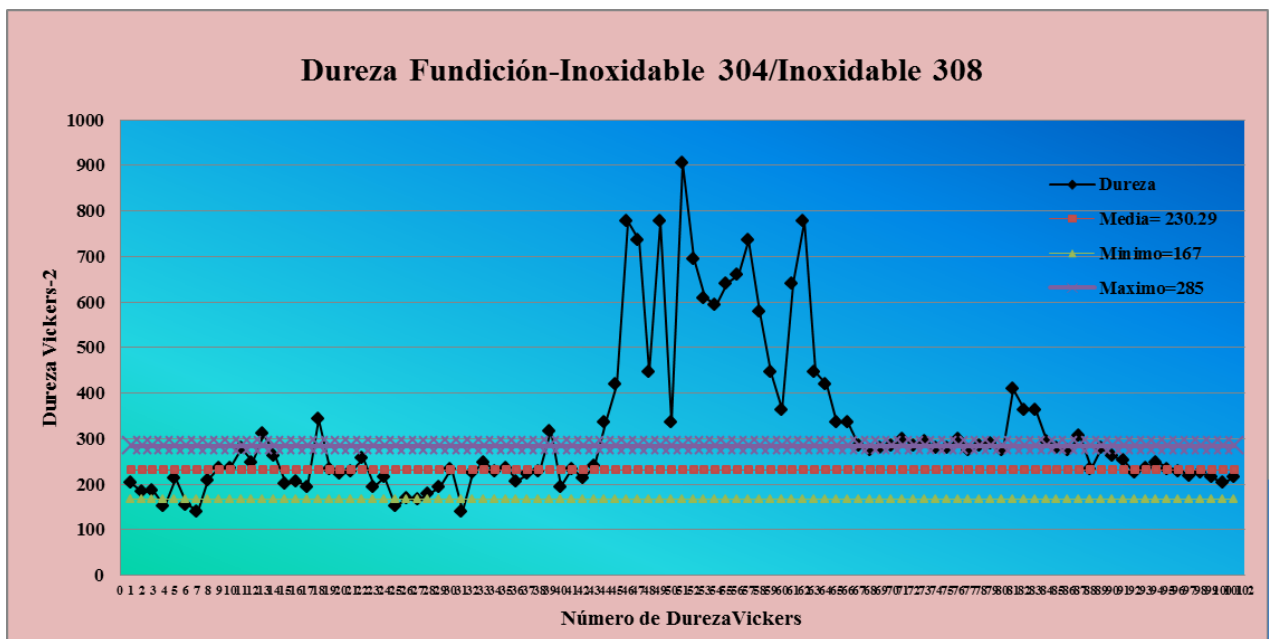
De las 101 lecturas realizadas en el durómetro, se obtuvo un análisis estadístico para poder obtener los valores máximos y mínimos de dureza y la media que representa un valor de dureza ideal de la probeta. Estos datos de la media y valores máximos y mínimos se han representado en las siguiente tabla 2.

**Tabla 2 Análisis Estadístico de Dureza Vickers**

Análisis estadístico	
Datos	Valor
Media	230.29
Error típico	4.55

Mediana	230
Moda	237
Desviación estándar	30.19
Varianza de la muestra	911.46
Curtosis	-0.366
Coefficiente de asimetría	0.0083
Rango	118
Mínimo	167
Máximo	285

En la gráfica 2 se representa con una línea roja el valor medio de las durezas, este valor de acuerdo al análisis estadístico es de 230.29 de dureza Vickers, este valor representa la dureza ideal del material estudiado.

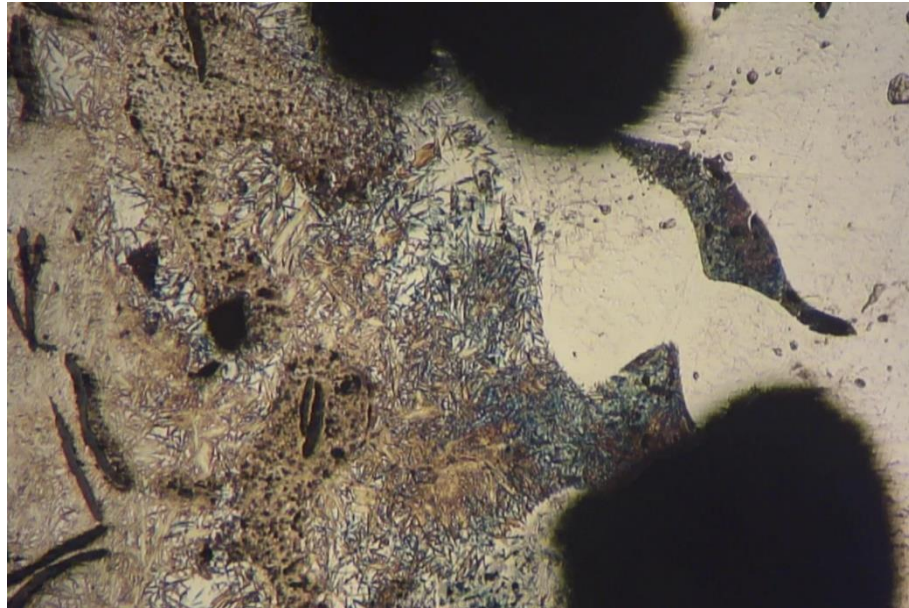


**Gráfica 2. Representación de la media como dureza ideal.**

## 4.2 Estudio Metalográfico.

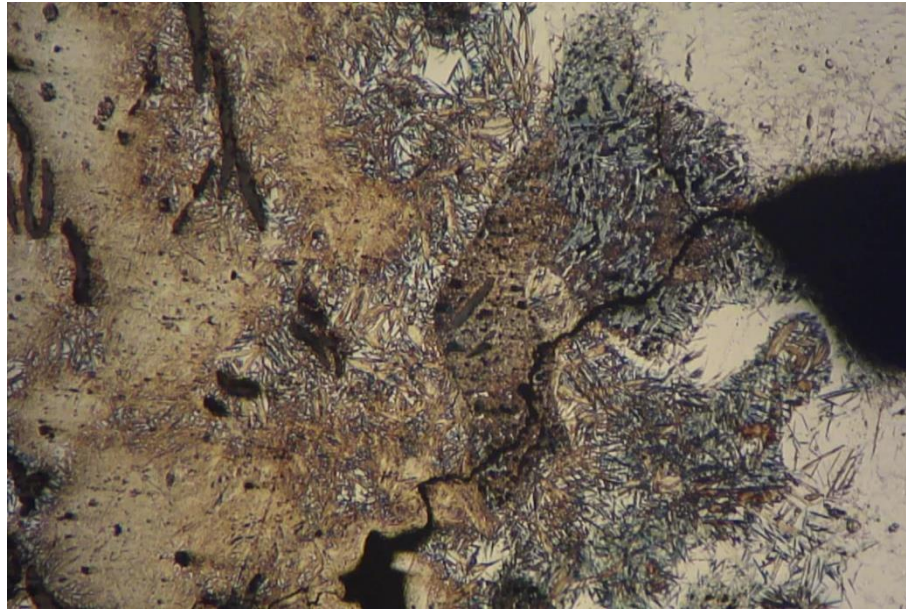
Al realizar la metalografía de la Zona Afectada por el Calor (ZAC) de la fundición gris de la soldadura de metales disimiles, se observaron cambios significativos en la estructura de la fundición gris en la ZAC.

Las fotografías de 50X mostraron que la presencia de la estructura de martensita es común y dominante en esta zona, la figura 24 se observan pequeños desprendimientos de la fundición gris en el material de aporte en forma de islas, además cerca de la línea de fusión la presencia de martensita es notoria y abundante, también hay la presencia de grandes nódulos de grafito, así como láminas de grafito. La figura 25 presenta características semejantes a la figura 25, su aportación es la presencia de una fisura que va de un nódulo de grafito a otro.



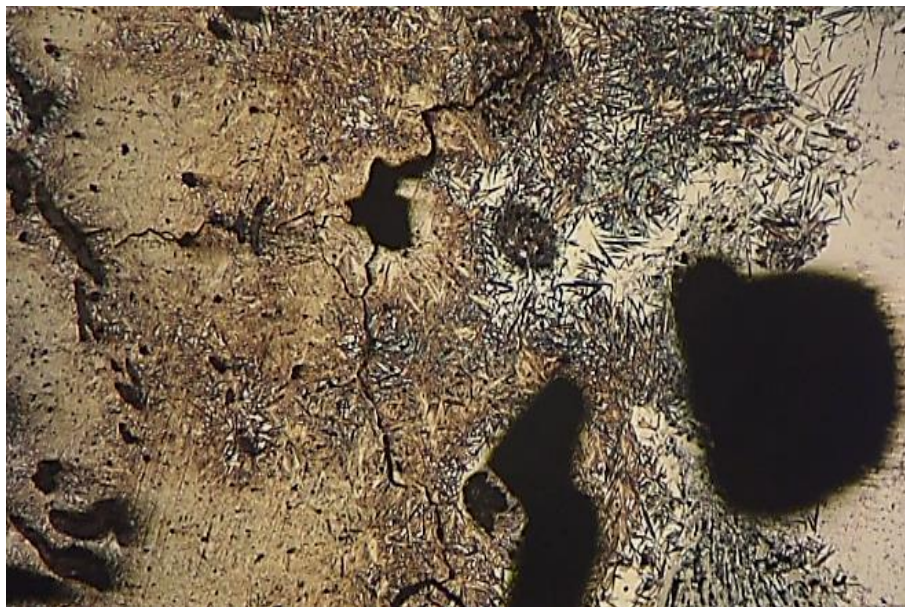
**Figura 24. Zona afectada por el calor en la fundición gris a un aumento de 50X**





**Figura 25. Presencia de una fisura en a un aumento de 50X.**

Las figuras 26, 27 y 28 son diferentes lugares de la ZAC y la línea de fusión de la fundición gris, y su patrón es el mismo la presencia de martensita, nódulos de grafito grandes y pequeños, así como muy pequeños nódulos de grafito y lo más significativo la presencia de fisuras que corren de grafito a grafito, atravesando la zona de la presencia de la martensita.



**Figura 26. Línea de fusión y zona afectada por el calor a un aumento de 50X.**

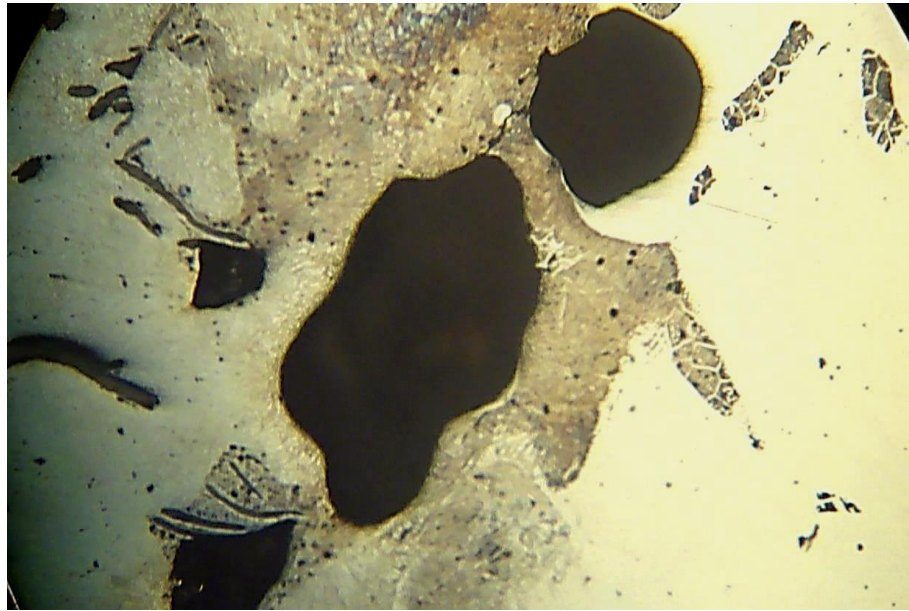


**Figura 27. Línea de fusión y zona afectada por el calor a un aumento de 50X.**

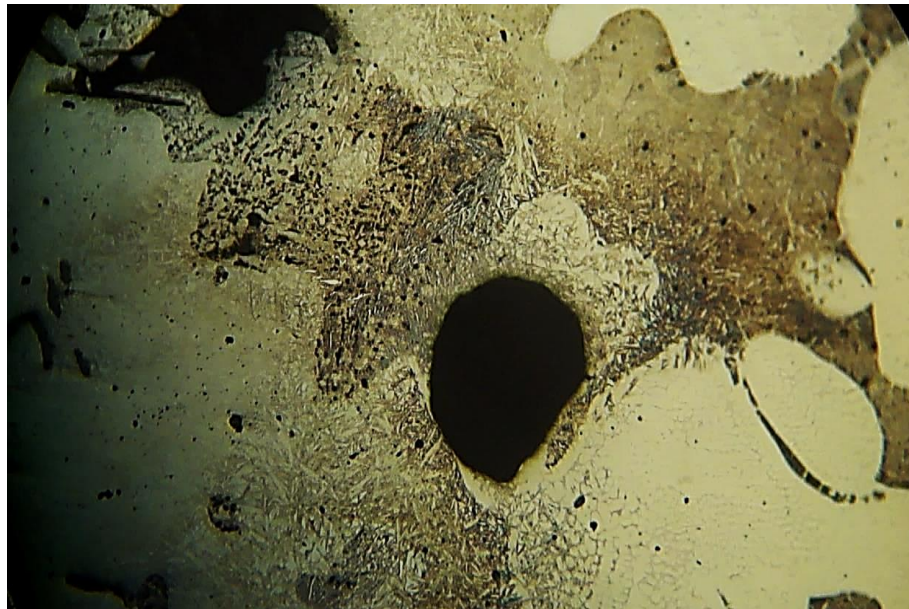


**Figura 28. Línea de fusión y zona afectada por el calor a un aumento de 50X.**

Las figuras 29 y 30 a un aumento de 100X, muestran dos nódulos grandes de grafito en la línea de fusión y uno de ellos en el material de aporte, ambas fotografías muestran islas de fundición, la figura 29 en el material de aporte y ambas fotografías presenta un proceso de separación de partes de la fundición al material de aporte.

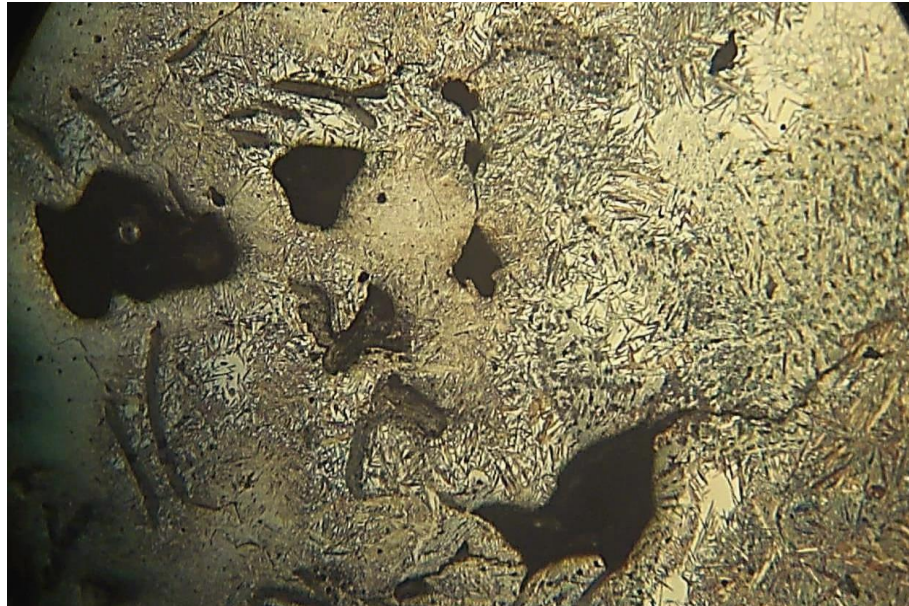


**Figura 29. Nódulos grandes de grafito a un aumento de 100X**

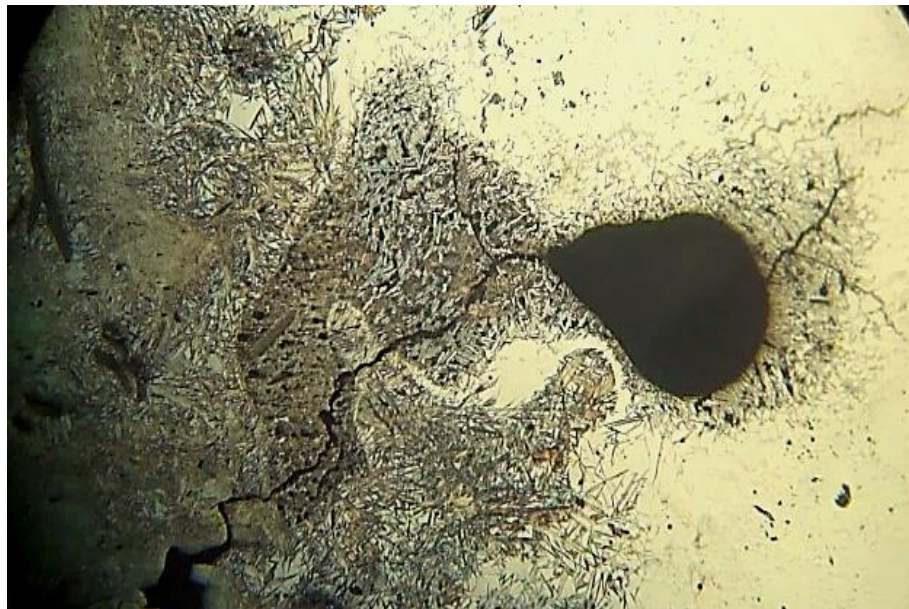


**Figura 30. Nódulos grandes de grafito a un aumento de 100X**

La figura 31 muestra diferentes tipos de morfologías del grafito en la ZAC, así como fisuras entre los grafitos, todo en una matriz martensítica. La figura 32 muestra la línea de fusión con un nódulo de grafito en una matriz tenue de martensita y existe una conexión con otro grafito por una fisura, pero también existen fisuras que corren hacia el material de aporte.



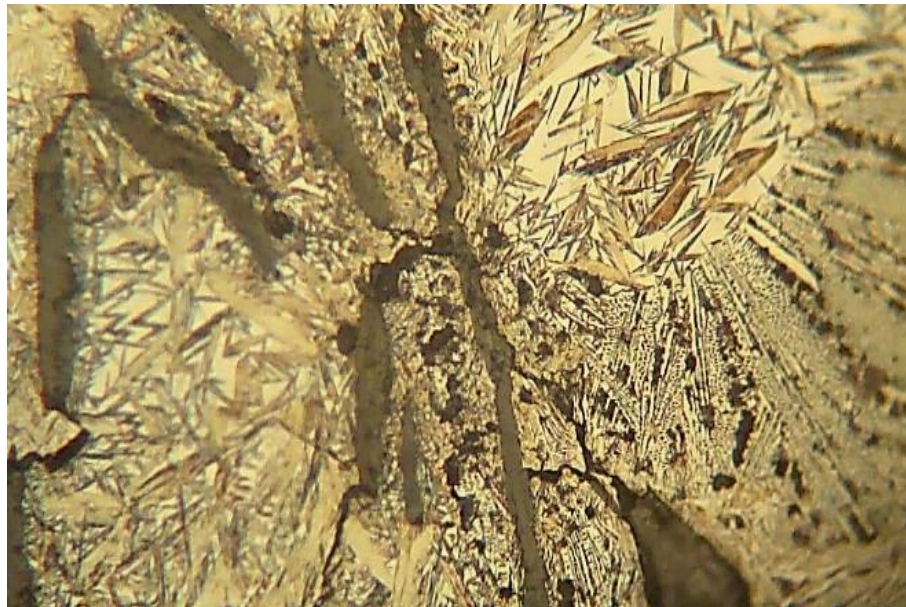
**Figura 31. Morfologías del grafito en la ZAC a un aumento de 100X**



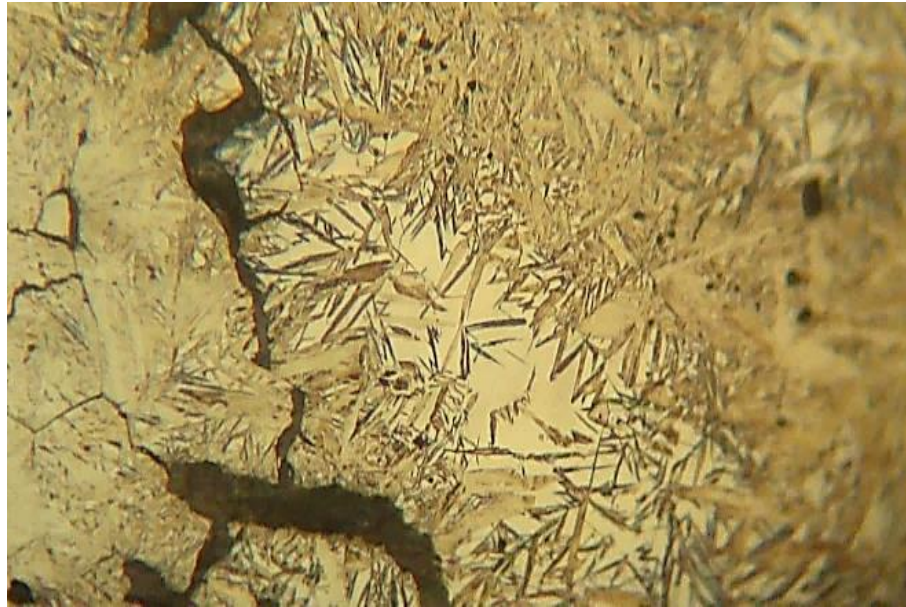
**Figura 32. Línea de grafito a un aumento de 100X.**

La figura 33 a 400X presenta láminas de grafito y un grafito masivo, fisuras pequeñas, lo significativo, es que se pueden observar dos granos de austenita con su proceso de transformación martensítica, también una zona de la presencia de ledeburita, que es el eutéctico del diagrama Fe-C, con pequeños nódulos de grafito.

La figura 34, muestra varias fisuras y microfisuras así como un cristal de austenita con el proceso de martensitización y muy escasos nódulos de grafito.



**Figura 33. Láminas de grafito a un aumento de 400X**



**Figura 34. Cristal de austenita a un aumento de 400X.**

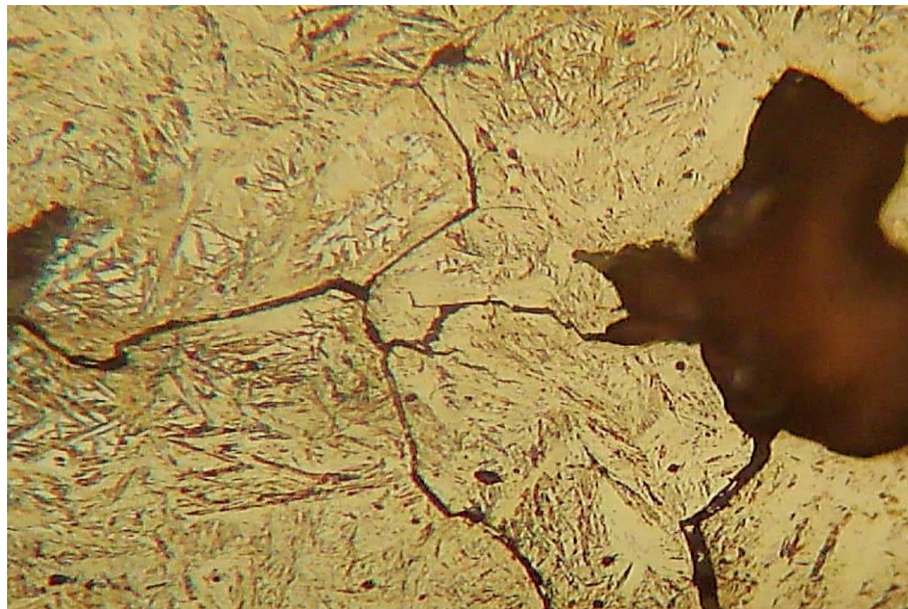
La figura 35 muestra tres cristales diferentes uno con una estructura de perlitas finas y nódulos de grafito, otro es de una austenita con proceso de transformación martensítica y un tercero totalmente martensitizado, con una grieta que en su interior hay grafito y pequeños carburos.



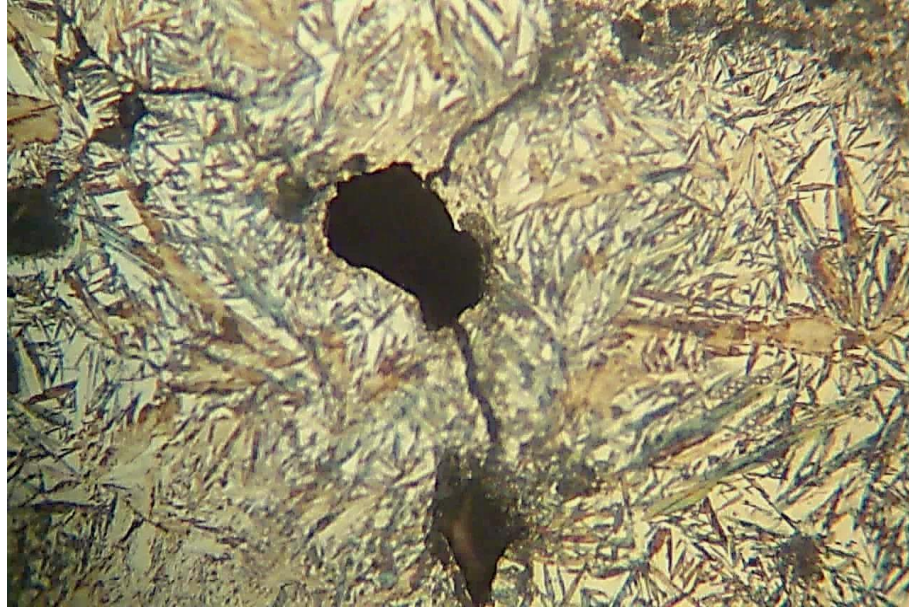
**Figura 35. Presencia de tres cristales y grieta con grafito en su interior a un aumento de 400X.**

La figura 36 presenta un estrellamiento del material ya que son varias microgrietas, que caminan por varios caminos y dan la impresión que parte de los grafitos masivos, todo en una matriz martensítica.

La figura 37 muestra varias grietas que corren de diferentes tipos de grafitos, ya que unos son nódulos, otros son masivos y por último son pequeños nódulos, pero da la impresión que son los puntos que pueden comunicar a las fisuras y microgrietas.

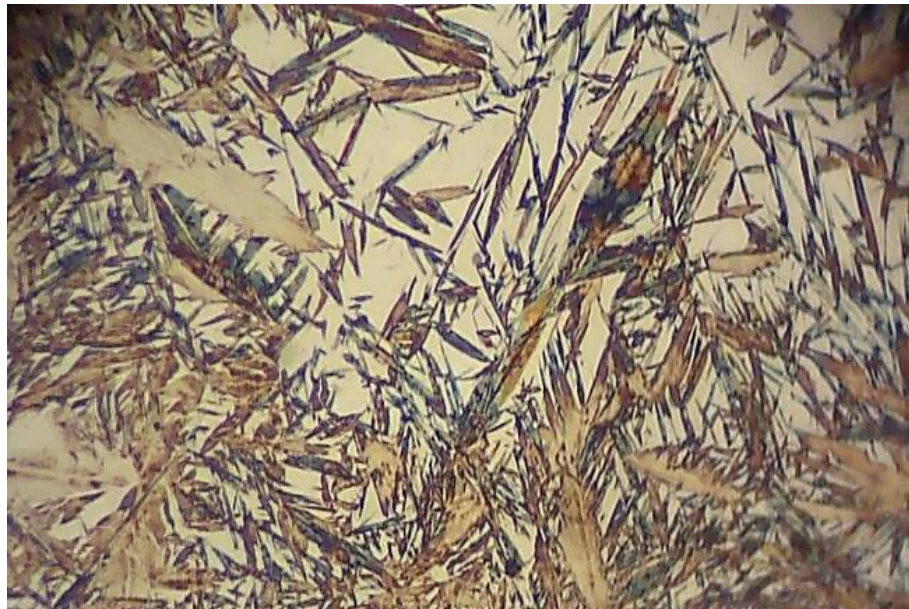


**Figura 36. Presencia de estrellamiento del material a un aumento de 400X.**



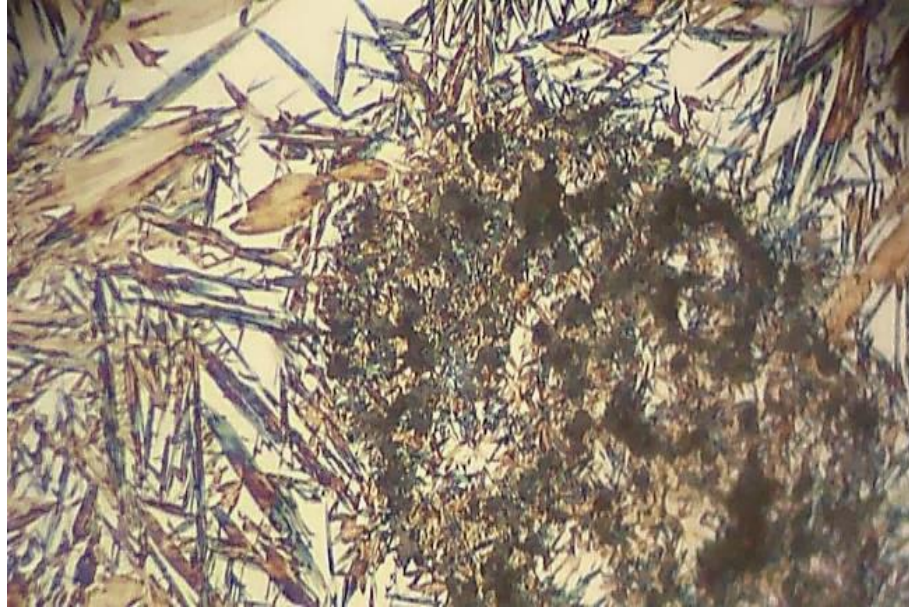
**Figura 37. Presencia de grietas que corren de diferentes tipos de grafitos a un aumento de 400X.**

Las figuras 38 y 39 a 600X, presentan una matriz martensítica, sin embargo la figura 38 muestra los diferentes tamaños de agujas de Martensita típicas de las aleaciones Fe-C, que se formaron. La figura 39 muestra una zona de perlitas finas con pequeños nódulos de grafito y la presencia de carburos muy posiblemente de carburo de Hierro (cementita)



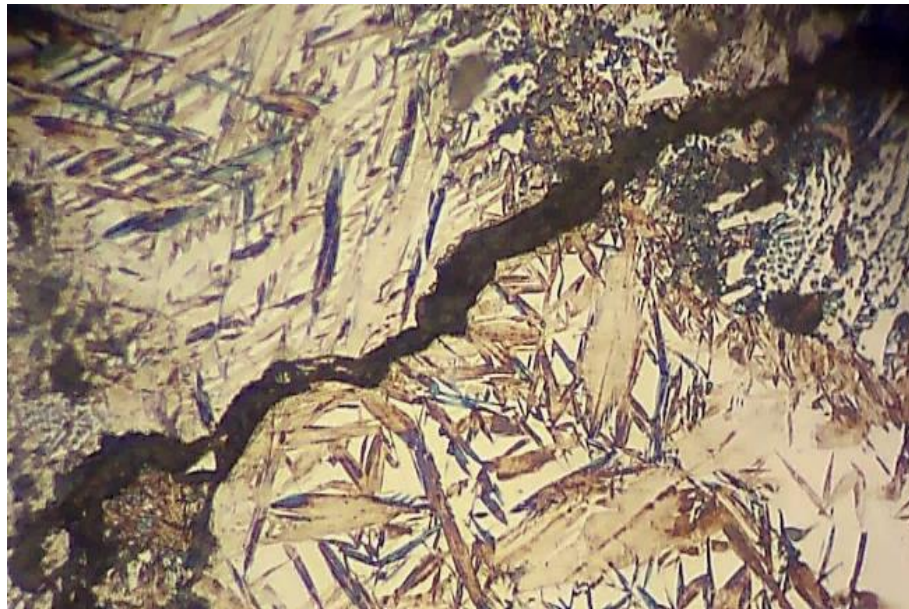
**Figura 38. Diferentes tamaños de agujas de martensita a un aumento de 600X.**



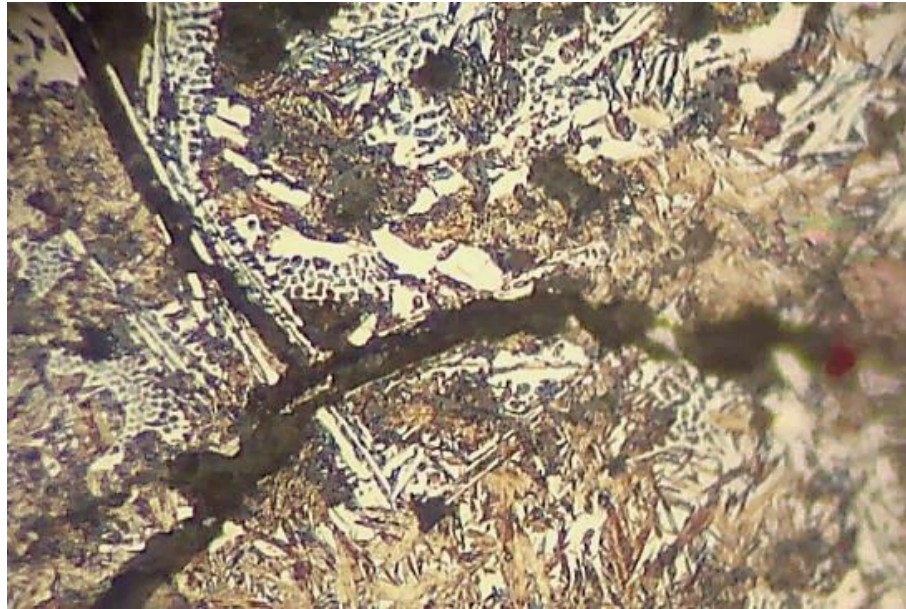


**Figura 39. Zona de perlitas finas con pequeños nódulos de grafito a un aumento de 600X.**

Las figuras 40 y 41 muestran con más claridad grietas con la presencia de carburos y grafito en su camino, sin embargo el detalle significativo que presentan zonas características por su morfología y distribución de la presencia de ledeburita o sea el eutéctico del diagrama Fe-C

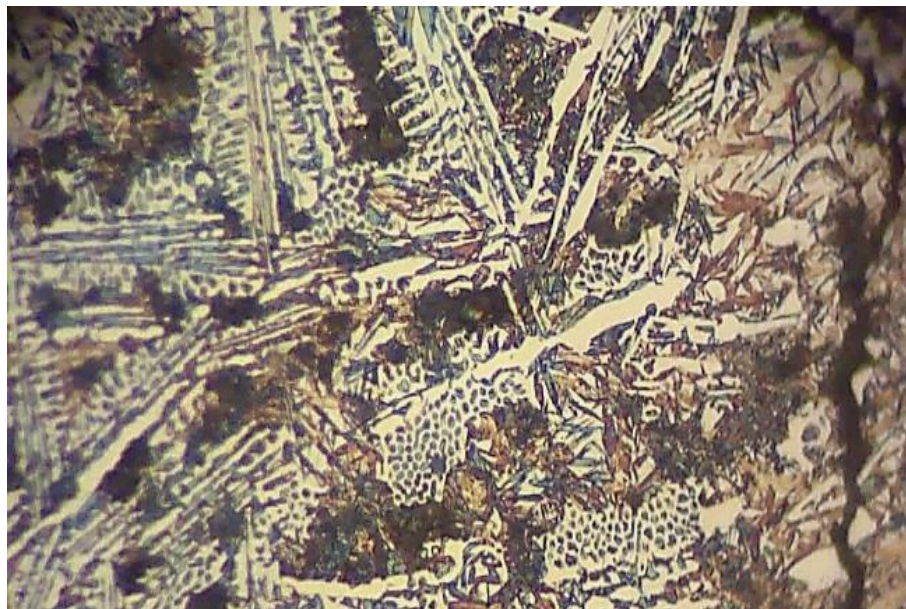


**Figura 40. Grietas con presencia de carburos a un aumento de 600X.**



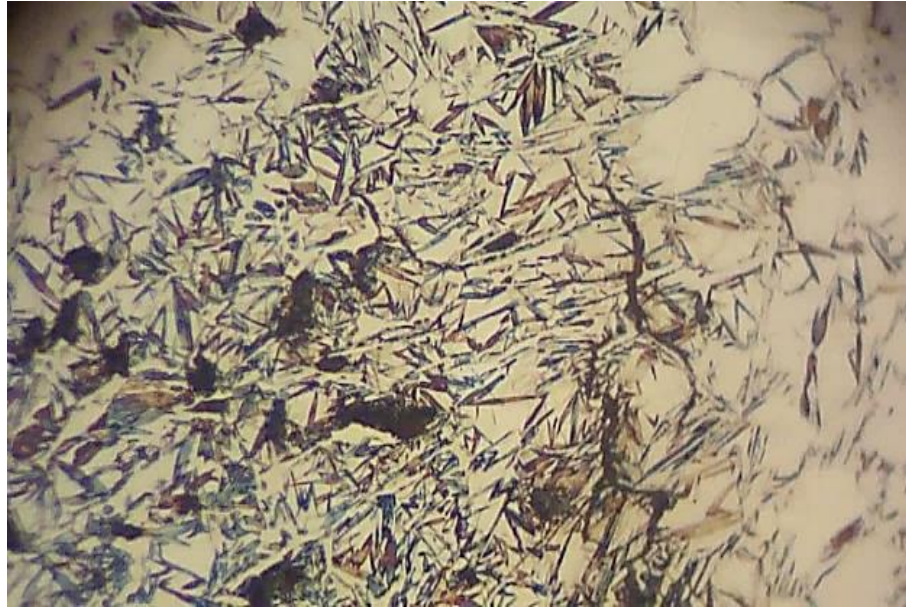
**Figura 41. Grietas con presencia de carburos a un aumento de 600X.**

La figura 42 confirma la presencia de ledeburita con gran cantidad de cementita, con zonas de perlitas finas y pequeños nódulos de grafito, con una grieta al lado de esta zona.



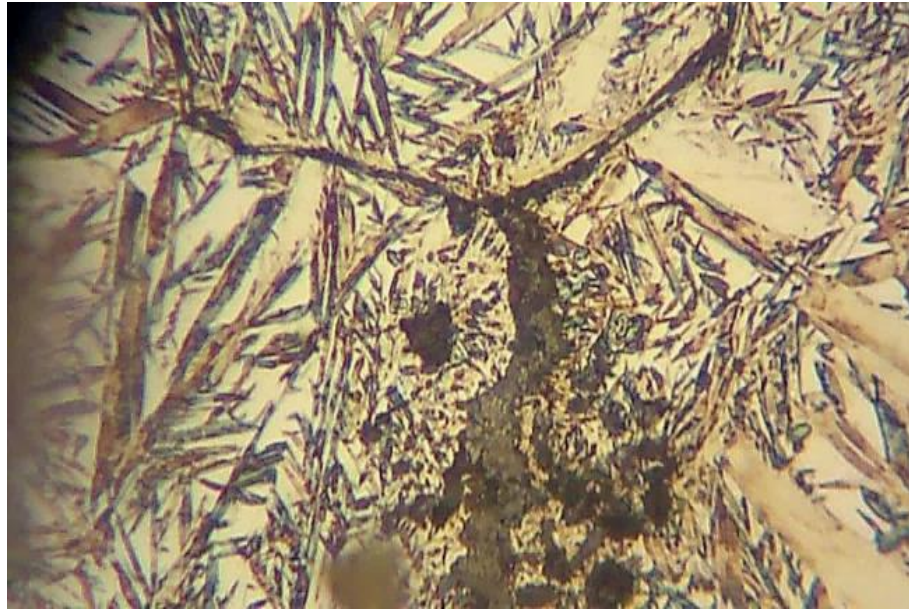
**Figura 42. Presencia de ledeburita a un aumento de 600X**

La figura 43 es la presencia de martensita exactamente en la línea de fusión, con grafitos de diferentes morfologías, del lado derecha se ve el material de aporte por la presencia de dendritas.

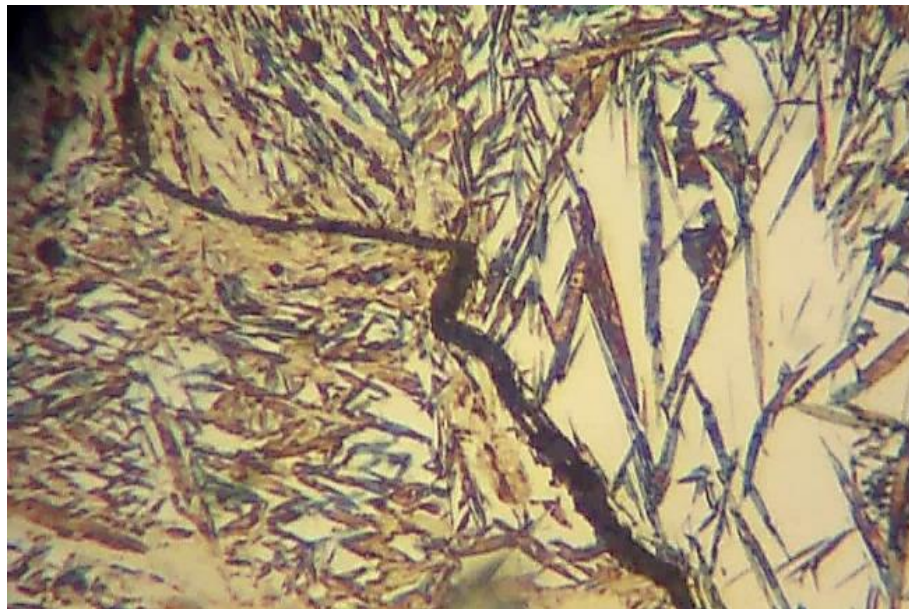


**Figura 43. Presencia de martensita en la línea de fusión a un aumento de 600X.**

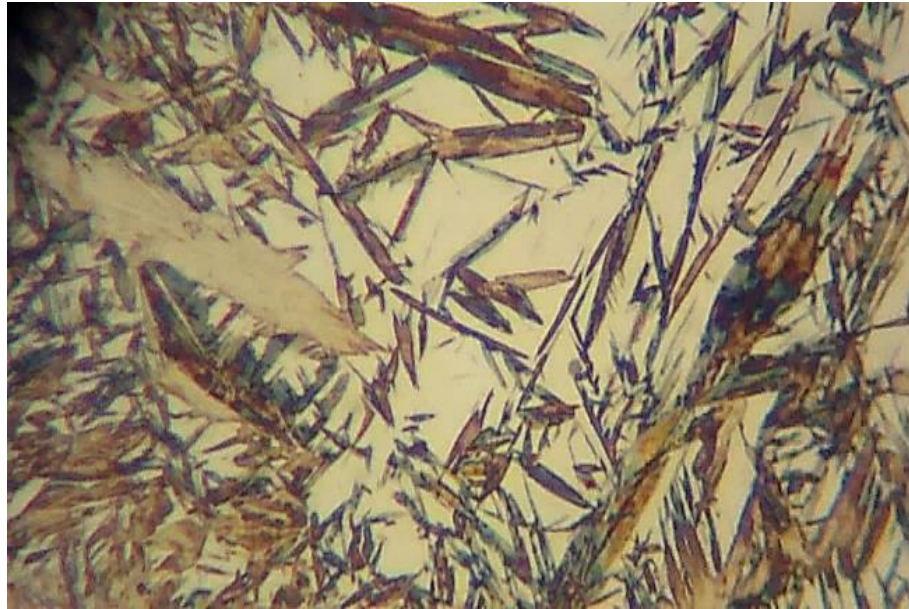
Las figuras 44, 45, 46, 47 y 48 de 800X , son la evidencia con más definición de las diferentes estructuras que se presentaron en la ZAC de la fundición gris, soldada como material disímil, donde se ven las diferentes tipos de agujas de martensita, las fisuras y micro fisuras corriendo entre los grafitos presentes con carburos en su interior, la presencia de ledeburita con cristales de cementita, cristales de austenita con la transformación de Martensita en su interior y grafitos de diferentes tamaños y formas.



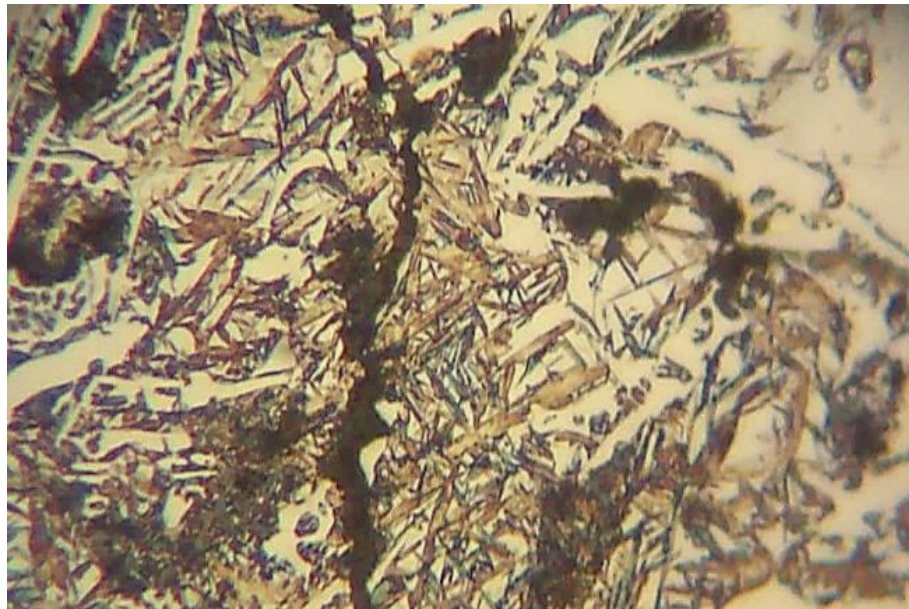
**Figura 44. Estructuras en la ZAC de la fundición gris a un aumento de 800X.**



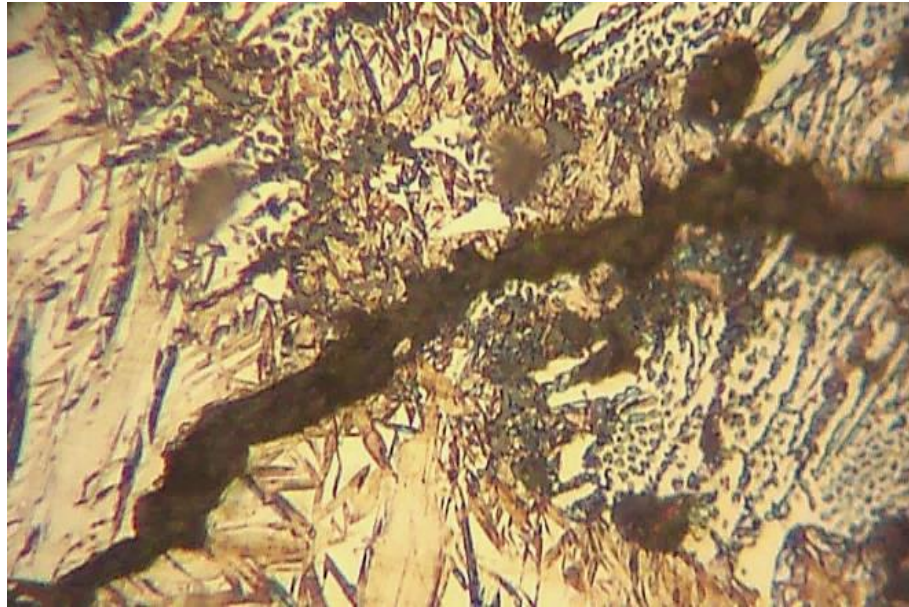
**Figura 45. Estructuras en la ZAC de la fundición gris a un aumento de 800X.**



**Figura 46. Estructuras en la ZAC de la fundición gris a un aumento de 800X.**



**Figura 47. Estructuras en la ZAC de la fundición gris a un aumento de 800X.**

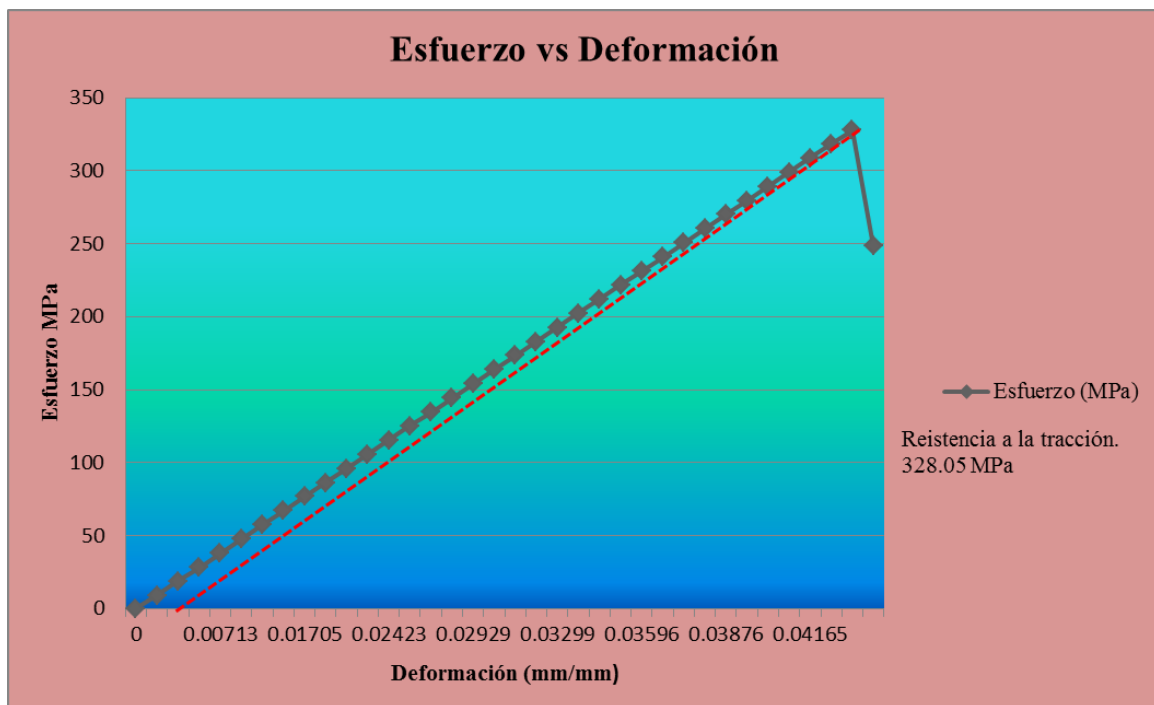


**Figura 48. Estructuras en la ZAC de la fundición gris a un aumento de 800X,**

### 4.3 Prueba de Tensión

La prueba consiste en posicionar una probeta en una máquina universal sometiéndola a un estiramiento hasta conseguir su ruptura y proporciona información sobre las propiedades mecánicas de los materiales tales como la resistencia a la fluencia, módulo de Young y máximo esfuerzo a la ruptura.

El ensayo se hizo en el área de la fundición gris y el tiempo transcurrido fue de 17 minutos y 32 segundos. En la gráfica 3 generada a partir del ensayo de tensión se demuestra su comportamiento ante la tensión a la que la probeta fue sometida, y por lo tanto se deduce que la Fundición Gris es un material frágil.



Gráfica 3 Carga vs Posición (Ensayo de tensión).

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla 3 en la cual los valores se encuentran en el sistema Ingles y Sistema Métrico:

**Tabla 3 Ensayo de Tensión**

<b>Resultados del Ensayo de Tensión</b>		
<b>Datos</b>	<b>Sistema Inglés</b>	<b>Sistema Métrico</b>
Ancho	0.4085 in	10.375 mm
Espesor	0.1925 in	0.48895 mm
Área	0.07863 in <sup>2</sup>	50.733 mm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción	47579.37 lb/in <sup>2</sup>	328.05 MPa
Módulo de Young	23789684.1 lb/in <sup>2</sup>	164024.09 MPa
Límite elástico	46177.50 lb/in <sup>2</sup>	318.38 MPa
Carga en el punto de rotura	8.8125 lbf	0.0392 KN

La probeta se alargó cierta distancia debido al esfuerzo generado por la máquina de tensión, por lo que la probeta tenía una dimensión de 50.8 mm y terminada la prueba se determinó que la probeta se deformó 0.04551 mm/mm, esto nos indica que el crecimiento de la probeta es mínimo al ser solo 45.51 milésimas de milímetro por lo que se puede determinar que la Fundición Gris en este experimento es un material frágil.



## ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados de la dureza en la soldadura de los materiales disímiles de la fundición gris y el acero inoxidable 304, se puede observar una variación en las durezas de la fundición gris más significativa que en el acero inoxidable, esto se comprueba al obtener la desviación estándar de las durezas de ambos materiales y tomando como base la media de las durezas, existen más durezas fuera del máximo y el mínimo de la desviación estándar de la fundición gris que del acero inoxidable, fuera del rango están 8 de la gris contra 4 del inoxidable, y existen 6 en los límites de la fundición gris contra 8 del inoxidable. El cálculo de la desviación estándar de la durezas tomadas, desde el metal base de la fundición gris hasta el metal base del acero inoxidable 304, muestran que las durezas de las zonas afectadas por calor y el material de aporte están fuera de la dureza ideal de la unión de los materiales disímiles.

Las observaciones realizadas en zona afectada por el calor sobre y cerca de la línea de fusión de la fundición gris, mostraron una variedad de estructuras de diferentes morfologías, tales como la presencia de martensita, ledeburita, grafito en hojuelas y nodular, austenita retenida, carburos globulizados, fisuras y grietas. Hay que hacer notar que la soldadura se hizo de acuerdo con el procedimiento de la soldadura de los aceros inoxidables austeníticos; es decir, después de soldar, enfriar rápidamente, esto explica porque la presencia de la martensita, las fisuras y grietas presentes, sin embargo, la presencia de ledeburita, grafito en la ledeburita, fisuras y grietas que corren de nódulo de grafito a nódulo de grafito, así como el desprendimiento de porciones de la fundición gris en el metal de aporte con la característica de islas de fundición en el material solidificado del acero inoxidable del electrodo tipo 308, es una condición inédita de la forma de la soldadura como se conoce hasta en este momento.

De los resultados del ensayo de tensión

Los resultados del ensayo de tracción en la ZAC de la fundición muestran que la resistencia a la tensión es ligeramente superior a la resistencia de la fundición gris en su límite superior. La resistencia máxima de carga en el punto de ruptura permite que con el módulo de Young determinar el alargamiento de la fundición gris en la ZAC la cual es significativamente pequeña, con lo cual se puede inferir que su fractura es del tipo frágil.

## CONCLUSIONES.

Las conclusiones que se pueden mencionar son:

Si se puede considerar que la dureza promedio que se obtuvo, se considera como la dureza ideal en la unión de dos materiales disimiles, para conservar el principio de la soldadura,

- La fundición muestra una variedad de estructuras en la zona afectada por el calor provocadas por el enfriamiento brusco por el procedimiento de soldadura que se utilizó, que fue el del acero inoxidable 304 austenítico.
- Todas las lecturas de dureza de las zonas afectadas por el calor, así como las lecturas del material de aporte esta fuera de la dureza promedio de la fundición gris y del acero inoxidable 304.
- En la zona afectada por el calor la estructura que más predominó fue la Martensita, que se puede considerar como la promotora de las microfisuras, fisuras y grietas que se presentaron.
- Las fisuras se propagaron a través del grafito, y hay que hacer notar que el grafito cambio de morfología en la zona afectada por calor al pasar de hojuelas a glóbulos en la ZAC.
- Hay porciones de la fundición que no se funden en la línea de fusión, sino que se desprenden porciones que se quedan en el material de aporte solidificado del 308.
- La presencia de Ledeburita en la ZAC de la fundición gris es una estructura totalmente anómala.
- La resistencia a la tensión a pesar de ser elevada no sería confiable por la presencia de fisuras y microfisuras en la ZAC.
- La deformación plástica en la ZAC es significativamente pequeña.
- Por la presencia de la Martensita en la ZAC la energía necesaria para producir la fractura del ensayo de tensión es significativamente alta.

La conclusión general se puede considerar como:

Que el procedimiento que se usa para soldar acero inoxidable austeníticos, que es un enfriamiento brusco después de soldarse la unión, no es válido para soldar fundiciones del tipo gris, ya que se producen cambios estructurales muy significativos, ya que de una estructura perlítica pasa a una estructura martensítica, que provoca un estrellamiento por la presencia de fracturas en la fundición gris.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. Donald R. Askeland, Wendelin J. Wright, 2016, Ciencia e Ingeniería de Materiales. México D.F. Cenage Learning.
2. F.r.Morral, E. Jimeno y P.Molera. 2004. Metalurgia General, España. Editorial Reverté.
3. Giachino Joseph W., Weeks William. 2007. Técnica y Práctica de la Soldadura. Barcelona España. Editorial Reverté.
4. Groover Mikell P. Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas. México. Prentice Hall.
5. Sánchez Vergara, María Elena. Tratamientos Térmicos de la A a la Z. 2006. México D.F. Editorial Trillas.
6. Kalpakjian Serope, Schmid Steven R. 2014. Manufactura, Ingeniería y Tecnología Séptima Edición. México D.F. Pearson.
7. Barroso Herrero Segundo, Gil José Ramón, Camacho López Ana M. 2010. Introducción al conocimiento de los materiales y a sus aplicaciones. Madrid, España. Uned Cuadernos.
8. Vázquez Vaamonde Alfonso J., De Damborenea Juan J. 2001. Ciencia e Ingeniería de la Superficie de los Materiales Metálicos. Madrid, España. Ed. CSIC.
9. Jeffus Larry. 2009. Soldadura. Principios y Aplicaciones. 5ta Edición. Madrid España. Ed. Paraninfo.

10. Ashby Michael F., Jones David R.H. 2009. Materiales para Ingeniería 2. Introducción a la microestructura, el procesamiento y el diseño. Barcelona, España. Editorial Reverté.