



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**CARACTERIZACIÓN DE UNA SOLDADURA (SMAW) DE
METALES DISIMILES FUNDICIÓN GRIS-ACERO
INOXIDABLE 304 CON NIQUEL A TEMPERATURA
AMBIENTE.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.

P R E S E N T A:

ARMANDO ANTONIO VEGA GONZÁLEZ

ASESOR : DR. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

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

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

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORRALAR FIGUEROA
 Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
 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

Caracterización de una soldadura (SMAW) de metales disimiles Fundición gris-Acero inoxidable 304 con Níquel a temperatura ambiente

Que presenta el pasante: ARMANDO ANTONIO VEGA GONZÁLEZ

Con número de cuenta: 30228386-0 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 09 de noviembre de 2017.

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. Sergio Martín Durán Guerrero	
2do. SUPLENTE	Ing. José Armando González Urbina	

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

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad De Estudios Superiores Cuautitlán que me dieron la oportunidad de ser parte de esta gran institución.

A MI ASESOR DR. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA

Por el tiempo y dedicación en la elaboración de esta tesis y por compartir sus conocimientos, quien bajo su orientación he logrado cumplir un éxito mas en mi carrera y en mi vida,...., Gracias Dr.

AL ING. NOÉ ALBERTO CORTÉS GUERRERO

Por el apoyo brindado en la elaboración de las muestras y manejo de los equipos de laboratorio para la presente investigación,...., Gracias Ing.

AL M.I. JESÚS GARCIA LIRA

Por ser un gran maestro y compartir sus conocimientos durante toda la carrera, por sus consejos y ayuda para esta investigación,...., Gracias Ing.

DEDICATORIAS

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño.

A ti Dios que me das la oportunidad de vivir y permitirme llegar hasta este punto que me encuentro, haberme dado salud y regalarme una familia tan maravillosa.

Con gran cariño principalmente a mis padres que han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y apoyarme en todo este tiempo. Les agradezco de todo corazón el que estén siempre a mi lado.

Los amo con todo mi corazón y este logro es para ustedes.

A mis hermanos Nancy Vega, Yazmín Vega y Brandon Vega gracias por estar a mi lado y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A Joselina Vázquez Magdaleno Gracias por haber aparecido en mi vida y por todos aquellos momentos maravillosos que pasamos juntos y ser una persona fundamental en la culminación de mi carrera. Donde quiera que te encuentres siempre te llevare en mi corazón,..., Gracias mi niña linda.

A mis amigos Rodrigo Rojas, David Vanegas, Francisco Morales, Javier Ortiz, Rafael Villalón, Aldo Yslas, Daniel Aguilar y Paulina Pillado, gracias por haberme brindado su amistad y por los momentos buenos y malos que pasamos juntos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
HIPÓTESIS.....	3
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.	
1.1 CONCEPTOS GENERALES.....	5
1.2. FUNDICIONES, HIERROS O COLADOS.....	7
1.2.1. <i>Fundición gris</i>	7
1.2.2. <i>Fundición blanca</i>	9
1.2.3. <i>Fundición maleable</i>	10
1.2.4. <i>Fundición nodular</i>	12
1.3. PROPIEDADES DE LA FUNDICIÓN GRIS.....	14
1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS HIERROS FUNDIDOS O COLADOS.....	15
1.5. ACEROS INOXIDABLES.....	17
1.6. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES.....	18
1.6.1. <i>Aceros inoxidables ferríticos</i>	19
1.6.2. <i>Aceros inoxidables austeníticos</i>	20
1.6.3. <i>Aceros inoxidables martensíticos</i>	21
1.6.4. <i>Aceros inoxidables dúplex</i>	23
CAPÍTULO II. SOLDADURA DE METALES DISIMILES.	
2.1. FUNDAMENTOS DE LA SOLDADURA DISIMILES.....	26
2.1.1. <i>Selección del material de aporte</i>	27
2.1.2. <i>Composición del metal de soldadura</i>	27
2.2. SOLDADURA DISÍMIL DE ACEROS INOXIDABLES CON FUNDICIÓN GRIS.....	28
2.3. EFECTO DE LOS ELEMENTOS ALEANTES EN LOS ACEROS.....	29
CAPÍTULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL.	
3.1. METODOLOGÍA.....	32
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES BASE Y APORTE.....	32
3.2.1. <i>Caracterización química de los materiales base y de aporte</i>	33
3.2.2. <i>Caracterización metalográfica de los materiales base</i>	34
3.2.3. <i>Caracterización mecánica del material base</i>	34
3.2.3.1. <i>Ensayo de Dureza</i>	34
3.2.3.2. <i>Ensayo de Tensión</i>	35
3.3. PLANTEAMIENTO DE EXPERIMENTOS.....	36
3.3.1. <i>Ensayo de tensión</i>	39
3.3.2. <i>Ensayo Metalográfico</i>	42
3.3.3. <i>Ensayos de dureza</i>	43
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	
4.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA.....	45
4.2. RESULTADO METALOGRAFICO.....	48
4.3. RESULTADO DEL ENSAYO DE TENSIÓN.....	58
4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
CONCLUSIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	63

INTRODUCCIÓN.

La fabricación de piezas de fundición de hierro, ocupa un campo muy extenso en la industria de minería y maquinaria. Las fundiciones de hierro son aleaciones de fierro-carbono del 2 al 6.67%, silicio del 2 al 4%, manganeso hasta 1%, azufre y fósforo deben ser bajos. Se caracterizan por que se pueden vaciar del horno cubilote y hornos eléctricos, para obtener piezas de diferente tamaño y complejidad. En general, no son dúctiles ni maleables y no pueden forjarse ni laminarse, pero existen algunas fundiciones que son excepción, las cuales son tenaces y tienen cierta ductilidad. Como la fundición de piezas es el único proceso aplicado a estas aleaciones, se conocen como hierros colados o fundiciones.

Mediante una aleación adecuada, buen control de la fundición y un tratamiento térmico adecuado, las propiedades de un hierro fundido pueden modificarse ampliamente. En las aleaciones Fe-C pueden encontrarse once constituyentes diferentes que son: martensita, ferrita, cementita, perlita, austenita, troostita, sorbita, ledeburita, esteadita y grafito.

Para la presente investigación se procedió con el desarrollo experimental que constó en la elaboración de 3 probetas, fundición gris y acero Inoxidable AISI 304, obtenidas a partir de dos placas de los materiales antes descritos y unidas mediante una soldadura eléctrica (SMAW) con un electrodo de Níquel a temperatura ambiente, dichas probetas se sometieron a pruebas de tensión en una maquina universal, marca Instron 600DX. Realizándose esta prueba para conocer la resistencia de las probetas antes mencionada.

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

Una vez elaborada la probeta fue necesario realizarle 47 ensayos de dureza con una distancia entre cada huella de 0.005 pulgadas procurando a travesar la Zona del material de aporte, la zona afectada por el calor (ZAC) y metal base, así mismo, se realizó el análisis metalográfico para la comparación de la estructura metalúrgica que compone la muestra.

Todos los testimonios obtenidos realizados a la probeta, fueron comparados mediante fotografías, graficas y tablas; marcando las variables que se consideraron las mas importantes y significativas para dicha presentación.

OBJETIVO.

Caracterizar mecánica y microestructural en la (ZAC) de metales disimiles de la fundición gris para ser usados en un procedimiento de soldadura eléctrica (SMAW), utilizando como material de aporte Níquel, a temperatura ambiente.

HIPÓTESIS.

Los materiales en estudio deberán cumplir con las normas, para que el procedimiento de soldadura sean los óptimos para llevar acabo la unión en la fabricación de nuevos productos y reparación de equipos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO.

1.1 CONCEPTOS GENERALES.

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 (2,5 a 4 %) 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, pero existen algunas fundiciones que son excepción, las cuales son tenaces y tienen cierta ductilidad. En este grupo de excepción se incluyen las fundiciones maleables y otras especiales como las fundiciones “dúctiles” de grafito esferoidal.

El contenido en silicio suele oscilar en 0.5 a 3.5% y el 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 2%, 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.

La ductilidad de los hierros fundidos es muy baja comparada con la de los aceros con menor contenido de carbono y no puede laminarse, estirarse o trabajarse en frío o en caliente; llamados fundiciones, las cuales son ampliamente utilizadas en la industria para propósitos generales. Las fundiciones contienen aproximadamente entre 2,0 a 4,5% de carbono, silicio de 1 a 3% y manganeso en el ámbito industrial.

Pueden agregárseles otros elementos para proporcionar propiedades deseadas tales como resistencia, dureza, templabilidad, o resistencia a la corrosión para aplicaciones específicas, los elementos comunes para dicho fin son el cromo, cobre, molibdeno y níquel. Los hierros, colados o fundiciones son todos aquellos metales contemplados en el diagrama de equilibrio hierro-carbono, figura 1, que contienen más carbono que el necesario para saturar la austenita a la temperatura eutéctica. Según el diagrama hierro-carbono muestra la composición del carbono del 2 al 6.67% de carbono, cuya característica la define la forma en la que se encuentran incrustados cristales de

carbono separado en forma de grafito. Las fundiciones están clasificadas en cuatro grupos:

- Fundición gris
- Fundición blanca
- Fundición maleable
- Fundición nodular

La figura 1, muestra el diagrama de equilibrio hierro-carbono, en el cual se aprecia la división de los dos grupos referidos.

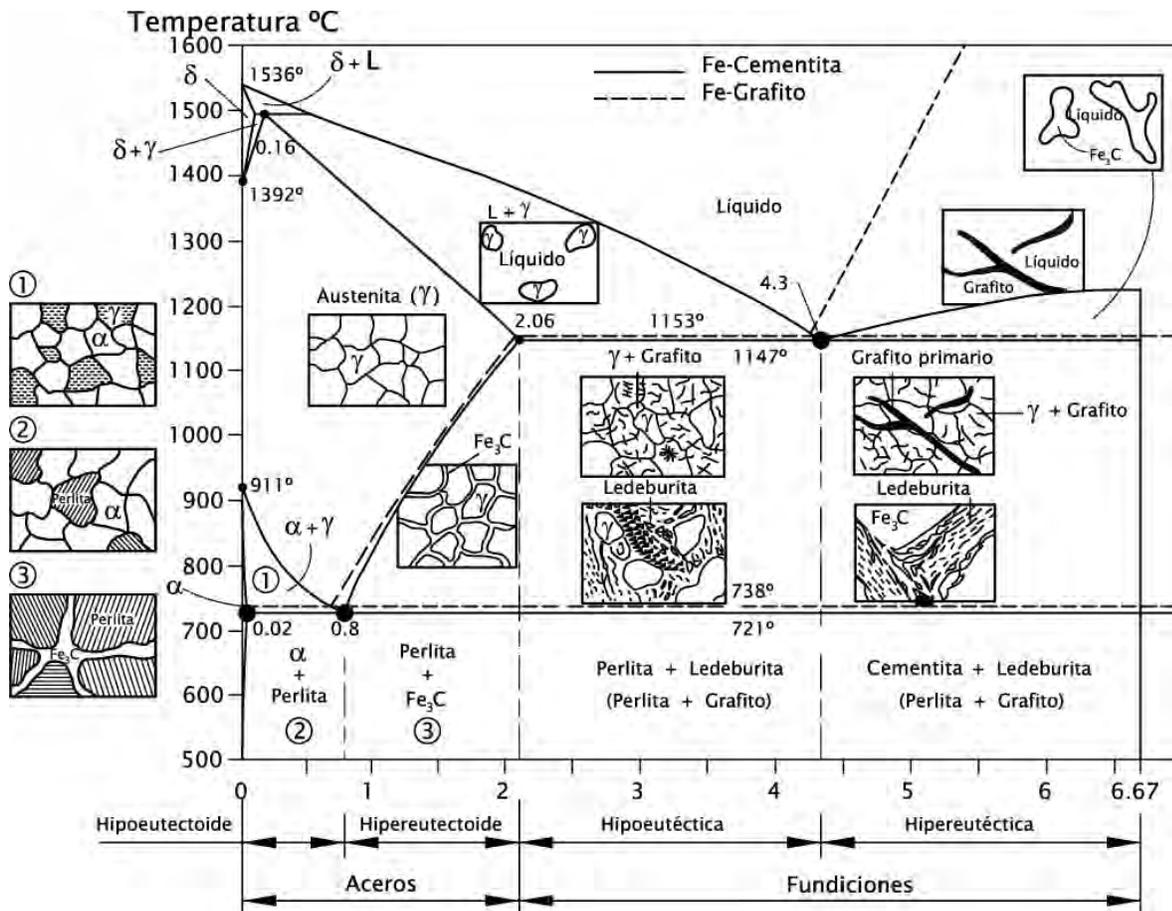


Figura 1. Diagrama de equilibrio Fierro-Carbono.

1.2. FUNDICIONES, HIERROS O COLADOS.

1.2.1. Fundición gris.

La fundición gris se llama así por el aspecto de su fractura, que es de color gris.

Es aquella en la cual el carbono se encuentra en alto grado o en su totalidad en estado libre en forma de grafito laminar.

La fundición gris (a excepción de la blanca) se diferencia del acero debido que en su estructura hay inclusiones de grafito cuya cantidad, forma, tamaño y distribución varían dentro de unos límites muy amplios y da lugar a diferentes fundiciones grises. Estas fundiciones son un material compuesto de grafito, y de otro material matriz que frecuentemente está compuesto por un carburo (cementita), y otro material (ferrita) que es metálico.

La característica radical de las fundiciones grises es que no presentan ledeburita. En su microestructura aparece grafito, que puede ser de diversos tipos, disperso en una matriz similar a la de un acero. Presenta las siguientes propiedades:

- Son más fácil de maquinar que los aceros.
- Se pueden fabricar piezas de diferente tamaño y complejidad.
- En su fabricación no se necesitan equipos ni hornos muy costosos.
- Absorben las vibraciones mecánicas y actúan como auto lubricantes.
- Son resistentes al choque térmico, a la corrosión y de buena resistencia al desgaste.
- Además, mediante una aleación apropiada, buen control de la fundición y un tratamiento adecuado, las propiedades de cualquier tipo de hierro fundido pueden variar ampliamente.
- Los significativos progresos desarrollados en el control de la fundición y un tratamiento térmico adecuado, las propiedades suelen ser muy consistentes.

La fundición gris se utiliza bastante en aplicaciones como bases o pedestales para máquinas, herramientas, bastidores para maquinaria pesada, y bloques de cilindros para motores de vehículos, discos de frenos, herramientas agrícolas entre otras.

En la tabla 1 se muestran sus características mecánicas de la fundición gris y la figura 2 se muestra su microestructura.

Tabla 1. Clasificación de las fundiciones grises según la norma ASTM A48-41.

Clase	Resistencia a la tensión (psi)	Dureza Brinell	Estructura*
20	24,000	130-180	F,P
30	34,000	170-210	F,P,G
40	44,000	210-260	P,G
50	54,000	240-280	P,G
60	64,000	260-300	B,G

*F: Ferrita; P: Perlita; G: Grafito; B: Bainita



Figura 2. Microestructura de la fundición gris, 100X.

1.2.2. Fundición blanca.

Es aquella en la cual el carbono se encuentra combinado con el hierro, formando el carburo de hierro (Fe_3C), llamado cementita, siendo esta cementita muy dura pero muy frágil.

La fundición blanca, como consecuencia de la presencia de cementita, posee alta dureza, es frágil y prácticamente no se somete a la elaboración por corte. Por eso, este hierro tiene una aplicación muy limitada.

Los hierros de arrabio blanco sirven para obtener piezas de hierro maleable con ayuda de un recocido de grafitización. La figura 3, muestra la microestructura de una fundición blanca.

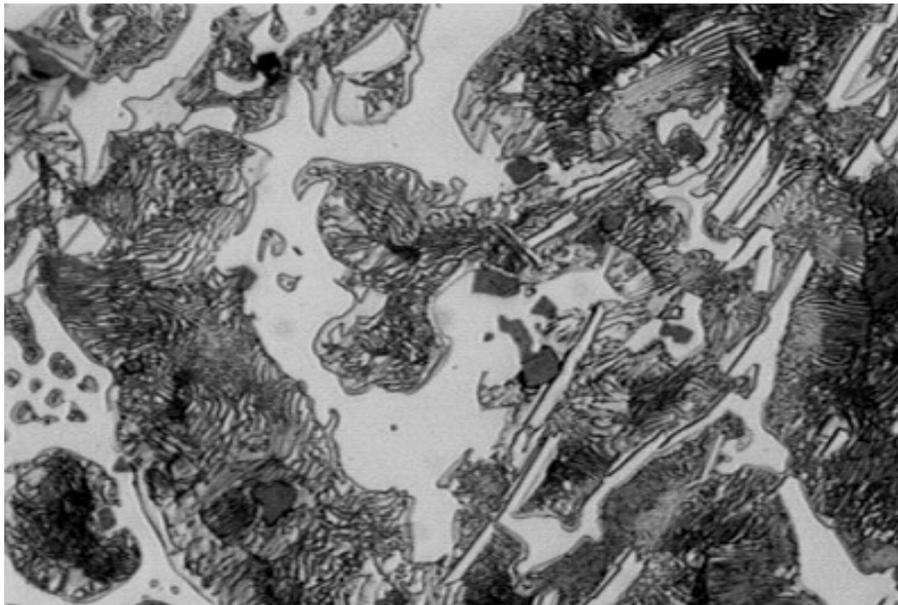


Figura 3. Microestructura de fundición blanca, 500X.

1.2.3. Fundición maleable.

Se caracterizan por presentar el carbono libre en forma de grafito, el cual se encuentra en forma de roseta y se obtiene a partir de someter a la fundición blanca a un recocido de grafitización (tratamiento térmico). Presenta las siguientes características:

- Alta resistencia a la tracción.
- Elevada plasticidad.
- Elevada viscosidad al impacto.

Los hierros maleables son tipos especiales producidos por tratamiento térmico a partir de la fundición blanca. Estas fundiciones se someten a rígidos controles y dan por resultado una microestructura en la cual la mayoría del carbono está en la forma combinada de cementita, debido a su estructura la fundición blanca es dura, quebradiza y muy difícil de maquinar.

La fundición blanca se produce en hornos eléctricos de inducción, su composición y seguido de solidificación rápida, esta fundición se transformará con tratamiento térmico a fundición o hierro maleable. La fundición blanca también se utiliza en aplicaciones donde se necesita alta resistencia al desgaste tal como en las trituradoras y en los molinos de rodillos de minería.

Los hierros blancos adecuados para la conversión a fierro maleable pueden ser como sigue:

Fundición blanca Europea.		Fundición blanca Americana.	
Carbono	2.50 a 3.0%	Carbono	2.00 a 2.75%
Silicio	0.50 a 1.25%	Silicio	0.50 a 1.20%
Manganeso	0.40 a 0.60%	Manganeso	0.40 a 0.60%
Azufre	0.06% máx.	Azufre	0.06% máx.
Fósforo	0.06% máx.	Fósforo	0.06% máx.

En la primera etapa de recocido, el hierro blanco se calienta lentamente a una temperatura de 1650°C a 1750°C. Durante el calentamiento, la perlita se convierte a austenita en la línea inferior crítica. La Austenita así formada disuelve alguna cementita adicional conforme se calienta a la temperatura de recocido, figura 4.

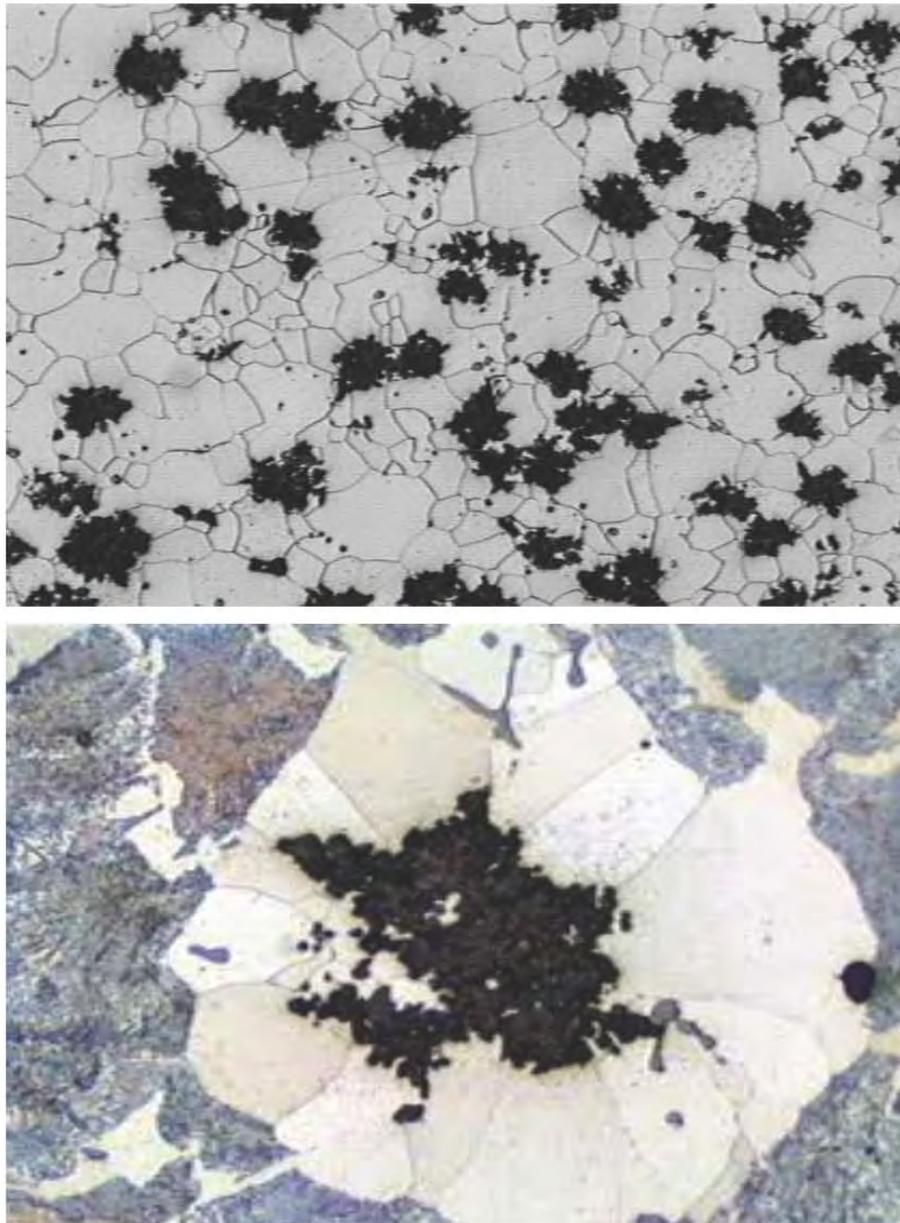


Figura 4. Microestructura de fundición maleable, 100X.

En la tabla 2, se muestran las propiedades de tensión de hierro maleable ferrítico y perlítico.

Tabla 2. Clasificación de la fundición maleable y propiedades mecánicas.

TIPO	RESISTENCIA DE TENSIÓN, 1000 Lb/pulg²	RESISTENCIA A LA CEDENCIA, 1000 Lb/pulg²	ELONGACIÓN, PORCENTAJE EN 2 PULG	BHN
Ferrítico	50-60	32-39	10-20	110-145
Perlítico	65-120	45-100	2-16	163-269

1.2.4. Fundición nodular.

Se caracterizan porque todo el carbono se encuentra en forma de grafito nodular. Esta fundición se obtiene añadiendo magnesio a la carga de metal fundido durante el proceso de fundición. Presenta las siguientes propiedades:

- Mayor ductilidad.
- Mayor resistencia al fuego.
- Mejor resistencia al desgaste.

Este tipo de fundición se caracteriza porque en ella el grafito aparece en forma de esferas minúsculas y así la continuidad de la matriz se interrumpe mucho menos que cuando se encuentra en forma laminar, esto da lugar a una resistencia a la tensión y tenacidad mayores que en la fundición gris ordinaria. La fundición nodular se diferencia de la fundición maleable en que normalmente se obtiene directamente en bruto de colada sin necesidad de tratamiento térmico posterior.

El contenido total de carbono de la fundición nodular es igual al de la fundición gris. Las partículas esferoidales de grafito se forman durante la solidificación debido a la presencia de pequeñas cantidades de magnesio o cerio, las cuales se adicionan al caldero antes de colar el metal a los moldes, la cantidad de ferrita presente en la matriz depende de la composición y de la velocidad de enfriamiento.

Las fundiciones nodulares perlíticas presentan mayor resistencia pero menor ductilidad y maquinabilidad que las fundiciones nodulares ferríticas. La tabla 3 muestra las propiedades mecánicas de algunas clases de fundición nodular y la figura 5 muestra su microestructura.

Tabla 3. Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con la norma ASTM A-536.

Clase	Resistencia a la tensión (psi)	Límite de fluencia (psi)	Dureza Brinell	Alargamiento (%)
60-40-18	42,000	28,000	149-187	18
65-45-12		32,000	170-207	12
80-55-06	45,000	38,000	187-255	6
100-70-03	56,000	47,000	217-267	3
120-70-02	70,000 84,000	63,000	240-300	2

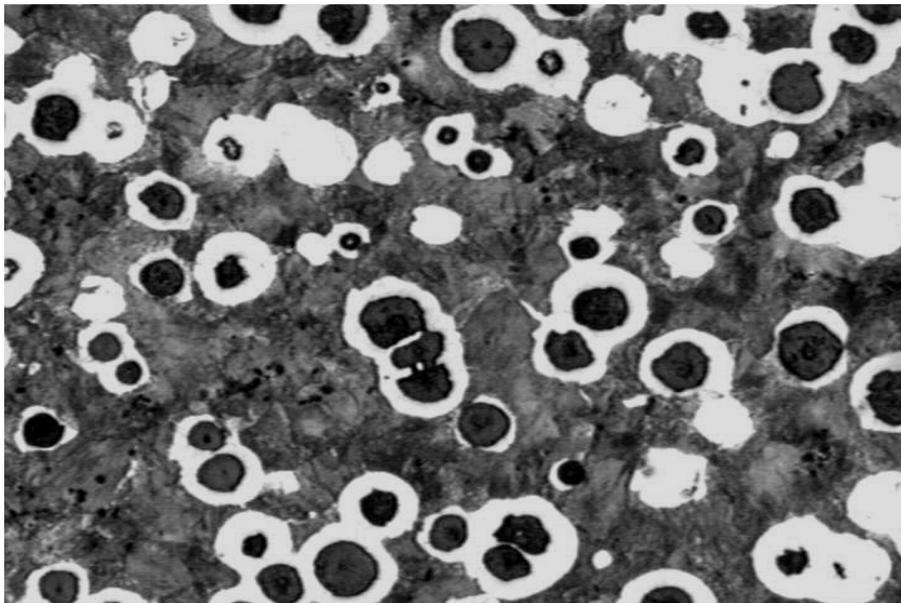


Figura 5. Microestructura de fundición nodular, 200X.

1.3. PROPIEDADES DE LA FUNDICIÓN GRIS.

Los hierros fundidos grises están compuestos por una base metálica y grafito. Los valores de las propiedades mecánicas están dados fundamentalmente por la base metálica, aunque la forma tamaño y distribución del grafito tienen influencia en dichas propiedades. Las láminas de grafito tienen una resistencia cohesiva muy pequeña. Su presencia reduce grandemente la sección transversal efectiva del metal de la fundición.

Las microestructuras de los hierros colados pueden ser: ferríticas, ferrito-perlíticas, perlíticas y atruchadas o intermedias. El grafito puede encontrarse en forma de láminas gruesas o de pequeñas escamas, disminuyendo las propiedades mecánicas debido a que disminuye el área de sección transversal de la pieza, pues el mismo se considera como una cavidad dentro de la matriz metálica, por no presentar resistencia. Constituye además un concentrador de tensiones. El grafito ofrece sin embargo algunas propiedades al hierro fundido en comparación con el acero debido a que facilita la mecanización, haciendo que la viruta sea más frágil y se rompa cuando la herramienta llegue a la inclusión de grafito.

Gracias a sus cualidades lubricantes el grafito aumenta las propiedades antifricción del hierro fundido. La existencia de segregaciones de grafito amortigua rápidamente las vibraciones y las oscilaciones de resonancia. La resistencia a la tracción o tensión de los hierros colados se encuentra entre 210 y 280 MPa. El límite de fluencia no está bien definido como en otras aleaciones ferrosas, pero para la práctica se considera igual a la resistencia máxima del material, es decir en ellos la deformación plástica es nula.

La resistencia a la compresión es de 2.5 a 4.5 veces mayor que la resistencia a la tracción y la viscosidad de impacto es muy baja, sobre todo cuando el contenido de fósforo es muy elevado.

Los hierros colados grises, de acuerdo con sus propiedades mecánicas, la forma de obtención de los mismos y la forma en que aparece el grafito según (Iron Casting Society, 1981) y (White, 1948) se pueden clasificar en:

- Hierro fundido gris de baja resistencia.
- Hierro fundido gris de mediana resistencia.
- Hierro fundido gris de alta resistencia.

1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS HIERROS FUNDIDOS O COLADOS.

La composición química ejerce una influencia determinante sobre la estructura y propiedades de los hierros fundidos o colados, pues la presencia de elementos tales como: carbono, silicio, níquel, etc., favorecen la grafitización mientras que el manganeso y el cromo dan lugar a la formación de cementita. La fundición gris objeto de nuestro estudio presenta las mismas impurezas pero en mayor grado.

La cantidad de carbono en forma de grafito o de cementita depende de la velocidad de enfriamiento, la cual está muy relacionada con el espesor de la pieza, mientras mayor sea el espesor menor será la velocidad de enfriamiento y mayor tendencia a la grafitización.

El contenido de silicio en los hierros fundidos se encuentra entre el 1,4 y el 5 % lo que da la posibilidad al material de obtener las siguientes estructuras:

- Fundición intermedia o atruchada.
- Fundición gris perlítica.
- Fundición gris ferrito-perlítica.
- Fundición gris ferrítica.

El manganeso favorece la formación de cementita (Fe_3C) o el carburo complejo de cementita, el cual es de mayor estabilidad. Este efecto del manganeso se nota para bajos por cientos del mismo, no sobrepasando por lo general el 1% en los hierros fundidos normales.

El azufre favorece la formación de cementita, pero esta influencia es poco notable cuando existen cantidades apreciables de carbono y silicio. Este elemento disminuye la fluidez del hierro fundido, por lo que su máximo contenido se limita a 0.1%. Empeora el costo del metal y sus propiedades mecánicas.

El fósforo es un elemento que se encuentra en valores entre el 0.1 y el 0.5 %. Este se introduce a los hierros fundidos con el objetivo de aumentar la fluidez de estos materiales. Esto se logra a partir de la formación de la eutéctica fosfórica (Fe-Fe₃C-Fe₃P), la cual presenta bajo punto de fusión. La influencia de este elemento en la grafitización es nula.

En la obtención del hierro fundido nodular tienen mucha importancia los elementos nodulizantes, como los encargados de suministrar al grafito la forma que conduce a la obtención de este hierro fundido de alta resistencia. Según (Lajtin, 1973) el contenido de Mg a introducir durante la inoculación del hierro fundido nodular sería entre 0.03-0.07%. Señala además que el mismo eleva la capacidad del fierro al sobreenfriamiento y por tanto de temple al aire. Para evitar la tendencia de temple al aire se realiza una doble inoculación, agregando magnesio para nodulizar e introduciendo ferrosilicio como grafitizador.

En (Smith, 1929) aparecen reflejados los datos de composición química para los hierros fundidos no aleados según la AISI en la tabla 4. Por su importancia se reproduce a continuación.

Tabla 4. Composición química de las fundiciones o hierros colados.

Elemento químico	Fundición blanca (%)	Fundición gris (%)	Fundición maleable (%)	Fundición nodular (%)
Carbono	1.3-3.6	2.5-4.0	2.0-2.6	3.0-4.0
Silicio	0.5-1.9	1.0-3.0	1.1-1.6	1.8-2.8
Manganeso	0.2-0.8	0.2-1.0	0.2-1.0	0.1-1.0
Azufre	0.02-0.06	0.2-0.02	0.04-0.1	0.03 máx
Fósforo	0.06-1.0	0.05-1.0	0.18 máx	0.10 máx

Se pueden adicionar otros elementos tales como el níquel, cromo, molibdeno, cobre para producir hierros fundidos aleados.

1.5. ACEROS INOXIDABLES.

Los aceros inoxidable son básicamente aleaciones ternarias constituidas de hierro-carbono-cromo con presencia de algunos otros elementos aleantes como el aluminio, silicio, titanio, que otorgan mejoras a las características propias de estos aceros.

Los aceros inoxidable son llamados así, puesto que se protegen de forma adecuada ante los efectos de la corrosión, el efecto de la misma es reducida en comparación con los aceros al carbono. Estos efectos casi nulos, son debidos a la formación de una película protectora en toda la superficie del acero, constituida de óxido de cromo que actúa de forma pasiva en comparación con la capa de óxido de hierro que siempre se presenta en los aceros al carbono. Se requiere una cantidad mínima de 12% y máxima de 30% de cromo en la aleación para que se forme dicha protección. Es importante destacar el papel de la capa protectora de óxido de cromo, esta capa presenta ciertas características que la hacen especial. Como se ha dicho, la protección de estos tipos de aceros es dada en toda su superficie, pero esto no quiere decir que si el acero es maquinado ya no cuente con dicha protección, además de ser impermeable, invisible y distribuirse de forma uniforme.

Adiciones de azufre en cantidades extremadamente bajas mejoran considerablemente el maquinado y por consiguiente la protección contra la corrosión. Al igual que en los aceros convencionales, la presencia de carbono es básica. Los porcentajes de carbono en un acero inoxidable no llegan a más de 1.2%, cantidad muy grande, proporcionando la mayor dureza y resistencia al desgaste. Las cantidades de este elemento se varían, ya que en ocasiones es necesario tener por ejemplo ductilidad en vez de dureza.

Los aceros inoxidable se pueden obtener por medio de fundición o por conformado, los aceros conformados contienen un mínimo de 12% de cromo y son más difíciles de obtener que los aceros fundidos que tienen un alto porcentaje de carbono, estos aceros son del tipo austenítico en su variedad de resistentes a alta temperatura y corrosión; una de las preocupaciones en la industria es el conocimiento de sus

mecanismos de falla, así como a la temperaturas en las cuales estos mecanismos se aceleran por la química de dichas aleaciones.

Con las fundiciones se logran obtener materiales cuyas composiciones estructurales son difíciles de obtenerse por medios mecánicos; los aceros inoxidable fundidos tienen dos series distintas de aleaciones; la primera corresponden a aquellos que son usados generalmente para resistir medios corrosivos a temperaturas por debajo de 650°C y la segunda de composiciones modificadas para proveer mayor resistencia a temperaturas elevadas, usadas para componentes estructurales que pueden operar por arriba de 1200°C.

Las aleaciones fundidas son generalmente clasificadas por el sistema de designación del Instituto de Fundiciones de Aleaciones (ACI), mientras que para el manejo de las aleaciones conformadas o forjadas se encarga el Instituto Americano del Fierro y Acero (AISI).

1.6. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

De acuerdo a la A.S.M. (Metals Handbook), todas las aleaciones comprendidas dentro de la clasificación de aceros inoxidable tienen en común la presencia de elementos de aleación tales como cromo, níquel, manganeso, molibdeno, nitrógeno, entre otros, que le dan sus propiedades características.

Sin embargo, algunos de estos elementos (Cr y Mo) tienden a producir una estructura ferrítica, mientras que otros (Ni, N, Mn), promueven y estabilizan la austenita en la microestructura de estos aceros.

El balance entre los distintos elementos de aleación definirá el tipo de microestructura presentes en los aceros inoxidable, lo que permite dividirlos en al menos cinco familias o grupos, definidos como: ferríticos, martensíticos, austeníticos y dúplex. Estos se describen brevemente a continuación.

1.6.1. Aceros inoxidables ferríticos.

Son aleaciones basadas principalmente en hierro-carbono-cromo, los contenidos de cromo se sitúan entre el 12 al 30% y el carbono no excede del 0.2%. Son llamados ferríticos ya que presentan en su estructura ferrita (BCC α) a temperatura ambiente.

Estos aceros presentan una resistencia muy buena contra la corrosión, mostrando similitudes con algunos aceros inoxidables austeníticos, los cuales son más costosos por la adición de níquel; esta buena resistencia a la corrosión se debe al alto porcentaje de cromo. Sin embargo, su uso se ve restringido ya que son frágiles, no son dúctiles, y son escasamente soldables. Estos aceros por su bajo contenido de carbono no pueden ser endurecidos del todo, llevándolos a altas temperaturas es posible generar algo de austenita en su microestructura ferrítica y al ser templados precipitan cantidades despreciables de martensita, con lo cual, podemos decir que son prácticamente no endurecibles.

Debido a que son quebradizos, es casi imposible realizar estampados sobre este tipo de aceros, es decir carecen de formabilidad. Algunos de estos aceros poseen azufre en cantidades despreciables con lo cual se consigue maquinar piezas de forma no muy complejas; sin embargo son todavía difíciles de trabajar.

Propiedades básicas.

- De moderada a buena resistencia a la corrosión, dependiendo del porcentaje de cromo.
- Menor formabilidad y soldabilidad.
- No son templables.
- Son magnéticos.
- Baja resistencia al impacto.

Usos más comunes.

- Utensilios de cocina.
- Sistema de escape para automotores.

- Revestimientos de diferentes artefactos como heladeras, lavavajillas, secadoras de ropa.
- Artículos ornamentales.

Grados más comunes.

409: Es un acero resistente a altas temperaturas, con algo de formabilidad y soldabilidad. Principalmente utilizado para sistemas de escape de automotores.

430: Fabricación de utensilios de cocina, artículos ornamentales y revestimientos.

1.6.2. Aceros inoxidables austeníticos.

Los aceros inoxidables austeníticos son llamados así, puesto que conservan una microestructura austenítica (FCC γ) a temperatura ambiente. La microestructura austenítica es dada por la adición de níquel en la aleación, con esto, podemos decir que los aceros inoxidables austeníticos son aleaciones de fierro-carbono-níquel, conteniendo porcentajes de 16 a 25%. Los aceros inoxidables austeníticos son de los más producidos, puesto que tienen buena resistencia a la corrosión, son dúctiles y son soldables; estas características los hacen ser muy demandados.

Debido a que estos aceros poseen una microestructura muy estable (austenita), no es posible endurecerlos mediante trabajo en frío, cuando la cantidad de níquel no es muy elevada, obteniéndose algo de martensita. En procesos de soldadura, los aceros inoxidables austeníticos también están expuestos a la sensitización (formación de carburos) al ser enfriados lentamente, cuando esto ha sucedido, podremos remediar el problema calentando nuevamente la pieza a temperaturas de austenización, con objeto de disolver los carburos de cromo formados y enfriar la pieza rápidamente para que estos no vuelva a ocurrir.

Otra forma de ayudar a evitarlo es seleccionando aceros inoxidables austeníticos estabilizados, es decir, que contienen titanio o niobio, que ayudan a estabilizar el carbono. Ejemplo de aceros inoxidables austeníticos estabilizados están el 321 y el 323. Cabe señalar que la selección de este tipo de aceros no es solo por su

soldabilidad sino también hay que considerar si nuestro acero inoxidable va a ser expuesto a trabajar continuamente entre temperaturas de 450 y 850°C, lo que también contribuyen a la sensitización.

Propiedades básicas.

- Excelente resistencia a la corrosión.
- Excelente soldabilidad, formabilidad y ductilidad.
- Fácil limpieza y condiciones de higiene.
- Excelentes propiedades a altas y bajas temperaturas, en aceros estabilizados.
- Son no magnéticos.

Usos más comunes.

- Equipos para la industria alimenticia.
- Equipos para la industria química.
- Aplicaciones en arquitectura.
- Partes para turbinas de aviones.

Grados más comunes.

304: Son de uso generalizado, con buena resistencia a la corrosión para la mayoría de las aplicaciones.

310: Partes para equipos en la fabricación de alimentos y petroquímica.

316; Utilizado donde se requiere mayor resistencia a la corrosión, tales como contenedores de sustancias, tanques de combustible, etc.

321: Contiene titanio, apto para soldaduras críticas, además de resistir temperaturas de hasta 800°C.

1.6.3. Aceros inoxidables martensíticos.

Estos tipos de aceros son aleaciones de hierro-carbono-cromo con cantidades de 12 al 17% de cromo y contenidos de 0.1 a 1.2% de carbono. El carbono se encuentra en una cantidad tal que se permite la transformación de austenita a martensita durante el temple o enfriamiento brusco, fase que le proporciona

endurecimiento. Se pueden obtener aceros muy duros cuando el contenido de carbono está muy próximo al 1%, también se le adicionan otros elementos para mejorar sus propiedades.

De todos los aceros inoxidable, los aceros inoxidable martensíticos tienen la más baja resistencia a la corrosión, pero poseen resistencia al desgaste y dureza. Este tipo de acero adquiere sus propiedades hasta que es templado.

Es conveniente realizar un revenido al acero templado, para eliminar esfuerzos almacenados y para incrementar la tenacidad. La alta dureza y la consecuente resistencia al desgaste, determinan las aplicaciones para este acero. Los aceros inoxidable martensíticos, por su contenido de cromo, son capaces de ser templados (enfriados) en aceite. Los aceros inoxidable 410, 420 y 440 son los más utilizados, la diferencia que existe entre ellos es el porcentaje de carbono, siendo así el 410 más bajo y el 440 el de mayor porcentaje.

Propiedades básicas.

- Son templeables por tratamiento térmico.
- Tienen moderada resistencia a la corrosión.
- Menor soldabilidad.
- Son magnéticos.

Usos más comunes.

- Hojas para cuchillos.
- Instrumentos quirúrgicos.
- Resortes.
- Ejes.

Grados más comunes.

410; Tiene aplicaciones generalizadas en ambientes moderadamente corrosivos

420; Acero usado en la fabricación de herramientas de corte, instrumentos quirúrgicos, etc.

440; Es el más representativo de esta clasificación, de múltiples usos, destinado a la fabricación de hojas de corte en equipos industriales, ejes, turbinas, rodamientos, etc.

1.6.4. Aceros inoxidables dúplex.

Se diferencian del resto de los aceros inoxidables por su microestructura compuesta de dos fases (de ahí el termino dúplex) que, en estado de recocido de Solubilización, consta de austenita y ferrita delta, siendo el balance de estas fases de aproximadamente 50%. Esta tipo de aleaciones, poseen la buena resistencia mecánica de los aceros inoxidables ferríticos, en combinación de la buena resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables austeníticos. No son endurecibles por tratamiento térmico, pero si por deformación en frio o en caliente.

La soldabilidad de los aceros dúplex es considerada como buena. Sin embargo, una desventaja de estos aceros, es su marcada tendencia a precipitar fases frágiles en los intervalos de temperatura de 280-520°C y 610-950°C, valores con seguridad alcanzados por el metal base durante la soldadura. Formaciones microestructurales de este tipo conducen a una reducción de la resiliencia y una resistencia menor a la corrosión.

Ejemplos de aplicación práctica de los aceros inoxidables dúplex incluyen piezas en la industria química, construcción de plantas petroleras y componentes para la industria papelera.

Propiedades básicas.

- Son magnéticos.
- No pueden ser endurecidos por tratamientos térmicos.
- Buena soldabilidad .
- La estructura dúplex mejora la resistencia a la corrosión de fractura bajo tensión en ambientes con iones de cloruro.
- Poseen una excelente tenacidad, superior a los aceros ferríticos.
- Soportar mayores esfuerzos en el trabajo o una disminución del tamaño de los componentes, lo que implica un importante ahorro de material.

Usos más comunes.

- Se utilizan en la industria del aceite, papel, gas y química.
- En la actualidad se están aplicando en arquitectura por su gran resistencia mecánica, a la corrosión y por lo liviano que resulta.
- Se utilizan en puentes, botes de navegación, plataformas marinas.
- En equipos industriales como autoclaves, máquinas de lavado y centrifugas

CAPÍTULO II

SOLDADURA DE

METALES DISIMILES.

2.1. FUNDAMENTOS DE LA SOLDADURA DISIMILES.

Según el manual de soldadura de la American Welding Society, los metales disímiles, son todos aquellos químicamente diferentes (aluminio, cobre, níquel, etc.), o aleaciones metalúrgicamente distintas de un mismo elemento (como los aceros inoxidable y los aceros al carbono). La combinación de metales disímiles abarca uno o más metales base y uno o más materiales de aporte que, después de fundirse juntos durante la soldadura, formaran el metal de soldadura final.

Hay muchas aplicaciones donde se efectúan soldaduras de metales de composiciones diferentes. Estas uniones se pueden lograr en una variedad de metales distintos y por medio de mucho de los procesos de soldadura. Para los procesos de soldadura por fusión, es importante investigar las propiedades individuales de soldabilidad de los dos metales implicados. Si hay solubilidad mutua de los dos metales, sus uniones se podrán soldar bien. Por el contrario, si hay poca o nula solubilidad de los dos metales, no se lograra una buena soldadura

El problema principal de soldar metales diferentes se relaciona con la zona de transición de los metales, y con los compuestos cerámicos que se forman en esta, los cuales deben investigarse para determinar su sensibilidad a la fractura, ductilidad, susceptibilidad a la corrosión, etc.

La soldadura de metales disímiles demanda las consideraciones de los factores básicos hallados en la soldadura convencional, pero sus efectos deben ser más cuidadosamente estudiados. American Welding Society (AWS), recomienda que se deben considerar ciertos factores para realizar este tipo de soldaduras:

2.1.1. Selección del material de aporte.

En la soldadura por fusión de metales disímiles, el punto más importante a tomar en cuenta es la selección del material de aporte. Una selección adecuada se puede obtener mediante el uso de una combinación de principios científicos, experiencia de fabricación y condiciones de servicio que las diferentes disciplinas industriales envuelven.

El material de aporte seleccionado debe ser compatible con los metales base que serán soldados, tal que las cuatro áreas de requerimientos sean reunidos por la soldadura que será producida dentro de un intervalo aceptable de dilución. Las cuatro áreas de requerimientos son: compatibilidad metalúrgica, compatibilidad en las propiedades mecánicas, compatibilidad en las propiedades físicas y compatibilidad en las propiedades de corrosión.

2.1.2. Composición del metal de soldadura.

La composición microestructural del metal de soldadura obtenido en una junta disímil depende de la composición de los metales base, el metal de aporte, si es usado, y la dilución relativa entre estos. La composición del metal de soldadura usualmente no es uniforme, particularmente en soldaduras de múltiples pases donde cada cordón se deposita con un metal de aportación distinto, y un gradiente de composición es probable que exista en el metal de soldadura adyacente a cada metal base.

La habilidad para determinar la composición aproximada del metal de soldadura es muy importante cuando se realizan soldaduras disímiles. Ya que de esta dependen sus propiedades tales como resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y al agrietamiento, sensibilización a la formación de la fase sigma.

2.2. SOLDADURA DISÍMIL DE ACEROS INOXIDABLES CON FUNDICIÓN GRIS.

Las uniones soldadas disímiles han sido utilizadas en la industria química, del níquel, petroquímica y en plantas de generación de electricidad como una alternativa para solucionar problemas de corrosión o pérdida de propiedades mecánicas que experimenta un componente o la sección de un equipo. En las uniones soldadas disímiles el efecto del calor aportado y los ciclos térmicos del proceso de soldadura pueden modificar las transformaciones de fase conocidas, generando cambios microestructurales característicos de las uniones de materiales disímiles, como lo es la región de transición y el borde del grano.

A pesar de la factibilidad de la fabricación de uniones soldadas disímiles con aplicación directa en diferentes sectores industriales, estas han presentado defectos tanto de fabricación como metalúrgicos, promoviendo fallas durante su aplicación en servicio. Es ahí donde la unión de materiales disímiles adquiere gran importancia, dando origen a diversos estudios dirigidos hacia la comprensión de las fallas que se presentan durante el servicio. Desde hace décadas, el objetivo principal que se pretende conseguir en las plantas de generación de energía es el aumento de la eficiencia térmica.

En un primer término, este incremento hace reducir la cantidad de combustible utilizado para obtener los mismos rendimientos y por lo tanto, las emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero se ven igualmente reducidos por kilovatio producido. Desde el punto de vista mecánico, unas mayores condiciones de operación implican el uso de materiales cuya resistencia a la fluencia en caliente, fatiga y corrosión fatiga sean adecuados.

Existen aceros ferrítico-martensíticos que presentan unas propiedades de resistencia a la fluencia en caliente aceptables a temperaturas de 650°C, reemplazando a otro tipo de aceros, utilizados hasta temperaturas de 530°C-565°C. Al realizar un estudio sobre las uniones soldadas disímiles que data desde el año 1935 Joseph, A., Sanjai, K., Jayakumar, se basaron en reportes de fallas en empresas, investigaciones,

entrevistas con fabricantes y diferentes usuarios de uniones disímiles con el objetivo de proveer información sobre estas. La soldadura de materiales disímiles impone un reto relacionado con la integridad estructural de las uniones disímiles debido a su diferencia en términos de microestructura, propiedades mecánicas, térmicas y propiedades de fractura. La aplicación industrial ha experimentado fallas en la zona de transición entre los materiales debido a las diferencias en los coeficientes de expansión térmica por los metales base y el material de aporte, estas fallas pueden presentarse después de 15 o 20 años de operación o cuando la vida útil ha sido cumplida.

2.3. EFECTO DE LOS ELEMENTOS ALEANTES EN LOS ACEROS.

Los elementos de aleación específicos y sus cantidades determinan el tipo de acero de aleación y sus propiedades particulares. A continuación se muestra los efectos principales de algunos de los elementos más comunes como son:

ALUMINIO:

Empleado en pequeñas cantidades, actúa como un desoxidante para el acero fundido y produce un Acero de Grano Fino.

BORO:

Aumenta la templeabilidad (la profundidad a la cual un acero puede ser endurecido).

CROMO:

Aumenta la profundidad del endurecimiento y mejora la resistencia al desgaste y corrosión.

COBRE:

Mejora significativamente la resistencia a la corrosión atmosférica.

MANGANESO:

Elemento básico en todos los aceros comerciales. Actúa como un desoxidante y también neutraliza los efectos nocivos del azufre, facilitando la laminación, moldeo y otras operaciones de trabajo en caliente. Aumenta también la penetración de temple y contribuye a su resistencia y dureza.

MOLIBDENO:

Mediante el aumento de la penetración de temple, mejora las propiedades del tratamiento térmico. Aumenta también la dureza y resistencia a altas temperaturas.

NIQUEL:

Mejora las propiedades del tratamiento térmico reduciendo la temperatura de endurecimiento y distorsión al ser templado. Al emplearse conjuntamente con el Cromo, aumenta la dureza y la resistencia al desgaste.

SILICIO:

Se emplea como desoxidante y actúa como endurecedor en el acero de aleación.

AZUFRE:

Normalmente es una impureza y se mantiene a un bajo nivel. Sin embargo, alguna veces se agrega intencionalmente en grandes cantidades (0,06 a 0,30%) para aumentar la maquinabilidad (habilidad para ser trabajado mediante cortes) de los aceros de aleación y al carbono.

TITANIO:

Se emplea como un desoxidante y para inhibir el crecimiento granular. Aumenta también la resistencia a altas temperaturas.

TUNGSTENO:

Se emplea en muchos aceros de aleación para herramientas, impartiendoles una gran resistencia al desgaste y dureza a altas temperaturas.

VANADIO:

Imparte dureza y ayuda en la formación de granos de tamaño fino. Aumenta la resistencia a los impactos (resistencia a las fracturas por impacto) y también la resistencia a la fatiga.

CAPÍTULO III

DESARROLLO

EXPERIMENTAL

3.1. METODOLOGÍA.

Preparación de las muestras.

Para la presente investigación se procederá con el desarrollo experimental que consta en la elaboración de tres probetas de fundición gris con acero inoxidable AISI 304, soldadas con un electrodo de níquel, obtenidas a partir de dos placas de los materiales ya descritos, dichas probetas serán sometidas a pruebas de tensión en máquina universal de ensayos Instron 600DX, del material antes descrito se obtendrá una muestra de la probeta para realizar pruebas de dureza con una distancia entre cada huella de 0.0125" en durómetro marca Amsler, con la finalidad de aportar más información para la caracterización de los materiales y se ejecutarán ataques químicos para la realización de la metalografía correspondiente.

En esta metodología se distinguen las tres principales etapas, siendo la primera de éstas la caracterización de los materiales base y aporte, seguida por la determinación de los parámetros para la aplicación de soldadura, y posteriormente la caracterización de la soldadura disímil realizada mediante ensayos destructivos y no destructivos.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES BASE Y APORTE.

Los materiales base utilizados en la realización de este trabajo fueron: placa de fundición gris y placa de acero inoxidable austenítico AISI/SAE 304, ambas de 4 mm de espesor, las cuales fueron unidas en el proceso de soldadura usando como material de aporte un electrodo de níquel.

La evaluación de los materiales estuvo comprendida inicialmente por la caracterización química de estos, seguida por la caracterización metalográfica. Finalmente, se determinaron las principales propiedades mecánicas de los metales base a través de la caracterización mecánica, mediante el ensayo de dureza y el ensayo de tensión.

3.2.1. Caracterización química de los materiales base y de aporte.

En las tabla 5,6 y 7, se muestra la composición química de los materiales base y de aporte.

Tabla 5. Composición química del acero inoxidable 304 [Alloy Casting Institute (ACI)].

ACERO	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
ACERO INOXIDABLE 304	0.08% min	2.00 %	1.00 %	18.00- 20.0%	8.0- 10.5%	0.045 %	0.03 %

Tabla 6. Composición química de la fundición gris.

FIERRO O FUNDICIÓN	C	Si	Cu	Mn	Mo	P Max	Cr	S Max
FUNDICIÓN GRIS	3.25- 3,5 %	1.80- 2.30 %	0.15- 0.40%	0.05- 0.9 %	0.05- 0.1 %	0.12 %	0.05- 0.045%	0.15 %

Tabla 7. Composición química del electrodo de Níquel.

ELECTRODO	C	Mn	Si	P	S	Cr	Fe	Mo	Ni
ELECTRODO NIQUEL 55 AWS: E-NiFe-CI	C	0.54 %	0.13 %	0.015 %	0.002 %	0.53 %	46 %	0.02 %	Balance

3.2.2. Caracterización metalográfica de los materiales base.

Las características microestructurales de los metales base fueron examinadas microscópicamente por medio de un estudio metalográfico hecho en la superficie transversal. Para esto se tomó una muestra de la placa soldada usando una cortadora de disco refrigerada, estas muestras fueron encapsuladas en Baquelita para facilitar el proceso de pulido.

A la muestra se le realizó un desbaste haciéndose pasar por la siguiente secuencia de papel lija: 180, 220, 320, 500, 800, 1000 y 2000. Una vez obtenida una superficie regular por medio del desbaste, se procedió a realizar el pulido fino con un paño fino y húmedo, el cual se realizó en una pulidora de disco doble marca LEO. Utilizando un paño húmedo y agregándose alúmina 0,300 μm con agua hasta obtener la superficie a espejo.

Después de obtener la superficie a espejo libre de rayas en la probeta, el material fue atacado con un reactivo específico para revelar su microestructura. La fundición gris fue atacada con nital al 3%. Posteriormente se obtuvieron micrografías, observadas a 50X, 100X, 200X, 400X, 600X y 800X por medio de un microscopio óptico marca Olympus.

3.2.3. Caracterización mecánica del material base.

3.2.3.1. Ensayo de Dureza.

El valor de la dureza del acero inoxidable AISI/SAE 304 y de la fundición gris fue medido por medio del ensayo Vickers, el cual se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento y características técnicas descritas en la norma ASTM E384. Para la realización de dicha prueba, se extrajo una probeta longitudinal de una de las 3 probetas que se realizaron, en las que se hicieron 47 mediciones en la superficie transversal al sentido de laminación. El equipo utilizado en este ensayo fue un durómetro marca AMSLER

3.2.3.2. Ensayo de Tensión.

La caracterización mecánica de los dos materiales base se complementó con la realización de los ensayos de tensión, el cual fue hecho según la metodología descrita en la norma ASTM A370. 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.

Las probetas que se fabricaron, 3 con ZAC en fundición gris, se procederá a realizar las pruebas de tensión en Maquina Universal de Ensayos marca Instron 600DX 135k.

Todas las probetas maquinadas se elaboraron con geometría rectangular y sus dimensiones fueron de acuerdo a los estándares americanos, según la norma ASTM. Posteriormente se llevaron a cabo los cálculos pertinentes, figura 6.

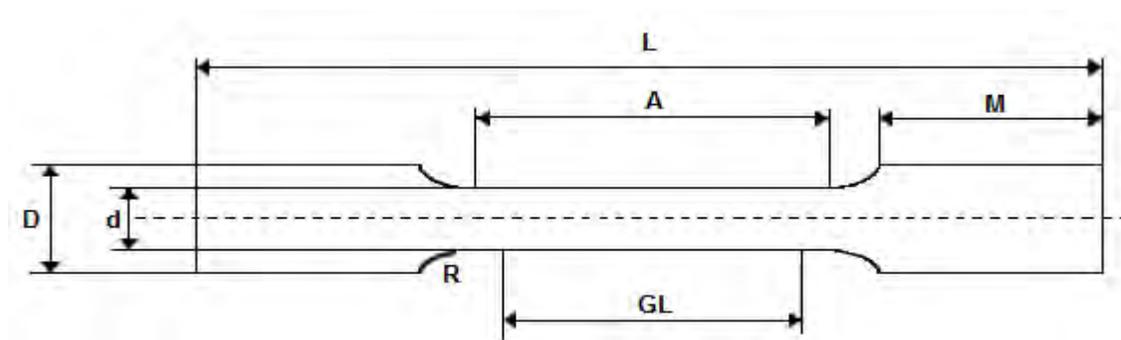


Figura 6: Geometría de una muestra para ensayos de tensión. L: longitud total; A: longitud paralela; GL: longitud calibrada; M: longitud de extremo; D: diámetro de la muestra en los extremos; d: diámetro de la muestra en la región de ensayo; R: radio de curva.

3.3. PLANTEAMIENTO DE EXPERIMENTOS.

Preparación de las piezas para la unión disimiles.

Se utilizaron láminas de ambos materiales base y fueron cortadas en piezas de 4 pulgadas de ancho por 8 pulgadas de largo, como se muestran en la figura 7, con la finalidad de facilitar su manipulación durante los ensayos realizados y unión de los metales. Se limpiaron con un cepillado metálico, lijado y finalmente con un trapo impregnado con solvente, eliminando así cualquier suciedad, grasa o partícula de la superficie de estas, que pudieran generar defectos en los cordones depositados y conducir a conclusiones erróneas.

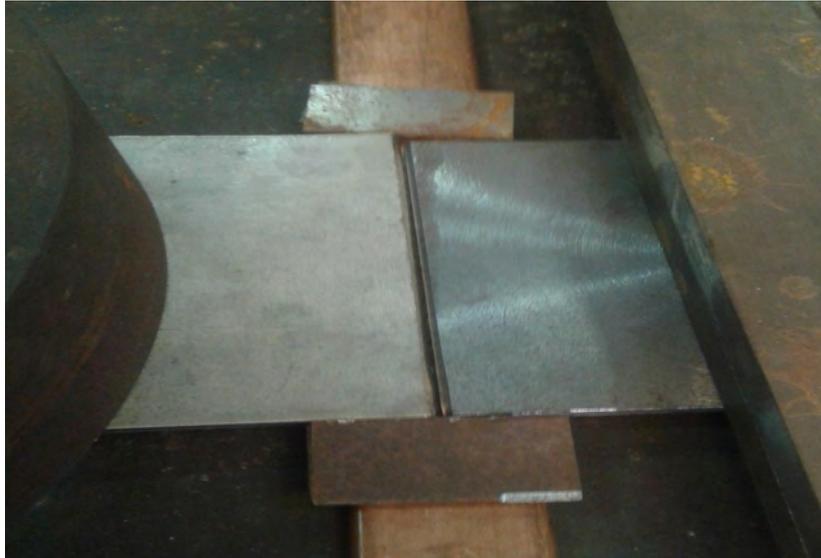


Figura 7. Material base utilizado para la unión disimiles.

La primera placa constituida de un acero Inoxidable AISI 304 y la segunda de una fundición gris, se le realizo un cordón de soldadura para unir las placas con una máquina para soldar de la marca ISSA modelo BMS-4-180, figura 8.



Figura 8. Maquina soldadora ISSA y realización del cordón de soldadura.

Posteriormente se procedió a realizar la unión disímil entre los dos metales fundición gris y acero inoxidable 304, con la soldadura seleccionada y el proceso (SMAW). Después se cortaron tiras de ambos materiales de 7 cm de ancho y 20 cm de largo, para la fabricación de las probetas que fueron empleadas en la caracterización destructiva de la soldadura (ensayo de tensión). Se cortaron las muestras en una cortadora según la figura 9. Para la elaboración de las probetas se utilizó una fresadora recta, para así obtener las probetas con las especificaciones requeridas, como lo muestra la figura 10.



Figura 9. Corte de placas para probetas de tensión



Figura 10. A cada una de las piezas obtenidas se les dio un refrentado en una fresadora marca Dimsa figura.

La figura 11, muestran las probetas terminadas para el ensayo de tensión con base a la norma ASTM.



Figura 11. Probetas maquinadas

3.3.1. Ensayo de tensión.

Se fabricaron 3 probetas con ZAC en la fundición gris utilizando máquina de corte y rectificación a baja temperatura para evitar el calentamiento del materias. Una vez obtenidas las probetas, se procedió a realizar las pruebas de tensión en maquina universal de ensayos Instron 600DX 135k, figura 12.

Las probetas maquinadas se elaboraron con geometría rectangular y sus dimensiones fueron de acuerdo a los estándares americanos, según la norma ASTM. Posteriormente se llevaron a cabo los cálculos pertinentes.



Figura 12. Maquina Universal de Ensayos Instron 600DX

A continuación se muestra el momento de ruptura de una de las probetas, figura 13.



(1)



(2)



(3)



(4)

Figura 13. Secuencia del ensayo de tensión.

3.3.2. Ensayo Metalográfico.

Este proceso consistió en revelar las fases presentes de la soldadura, el cordón y la zona afectada por el calor de los materiales base, fue llevado a cabo un análisis micrográfico, el cual se hizo en dos pasos debido a la naturaleza disímil de la junta de soldadura.

Primero se atacó la probeta con una solución de Nital al 3% durante 2 segundos, para la observación de la microestructura de la fundición gris, así como de la zona afectada por el calor, figura 14.

Las micrografías fueron tomadas después del ataque químico realizado a cada zona con un aumento de 50X, 100X, 200X, 400X, 600X Y 800X, utilizando un microscopio óptico marca Olympus y una cámara digital marca Sony.



Figura 14. Microscopio óptico y probeta montada en baquelita.

3.3.3. Ensayos de dureza.

Los estudios de dureza fueron realizados en un durómetro marca Amsler, figura 15 utilizando la escala de 2 kg obteniendo así 47 lecturas con una distancia entre huella de 0.005 pulgadas en las áreas del material base, la ZAC y la zona con material de aporte, para así poder tomar la medida dejada por el Indentador, figura 15.



Figura 15. Durómetro Vickers

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE

RESULTADOS Y

DISCUSIÓN.

4.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA.

Para la determinación de los ensayos de dureza se utilizó una probeta donde se le realizaron 47 ensayos de dureza con una separación de 0.005 pulgadas, iniciando y finalizando desde el material base de un lado al otro, por lo tanto se cruzó la zona afectado por el calor (ZAC) y el material de aporte.

La toma de las durezas se llevó a cabo con la escala Vickers-2 en el material de aporte, zona afectada por el calor y en el material base. La tabla 8 muestra la distribución de las 47 lecturas de la toma de dureza de las zonas de la soldadura, dividiéndolas en: Material base, Zona afectada por el calor y Material de aporte, como se expresa en la figura 16,

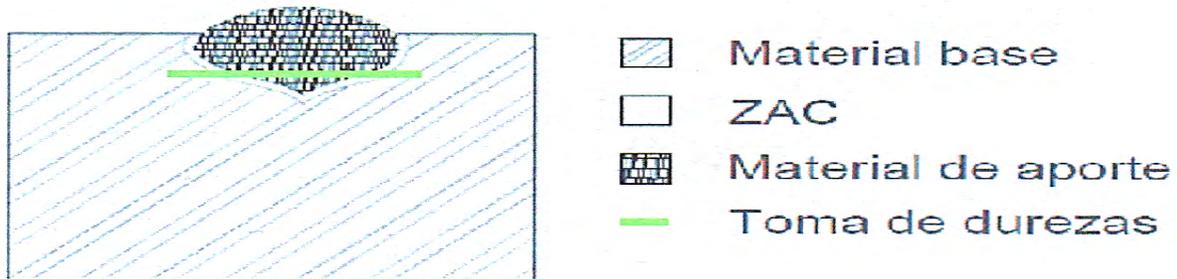


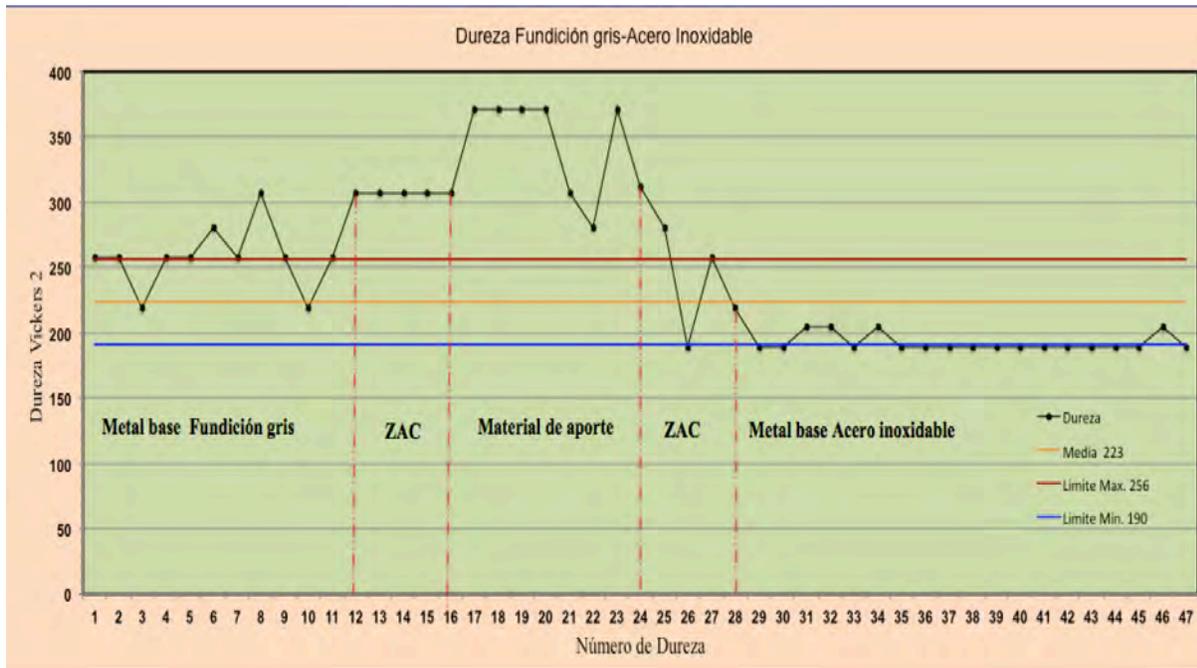
Figura 16. Representación de la toma de durezas.

Tabla 8. Resultados obtenidos en pruebas de dureza de una Fundición Gris.

ZONAS DE APLICACIÓN DE LA DUREZA VICKERS			
(HV) CON UNA CARGA DE 2 kgf			
No.	DIAGONALES MM	DUREZA VICKERS	ZONA
1	0.12	258	Material base
2	0.12	258	Material base
3	0.13	219	Material base
4	0.12	258	Material base
5	0.12	258	Material base
6	0.115	280	Material base
7	0.12	258	Material base
8	0.11	307	Material base
9	0.12	258	Material base
10	0.13	219	Material base
11	0.12	258	Material base
12	0.11	307	ZAC
13	0.11	307	ZAC
14	0.11	307	ZAC
15	0.11	307	ZAC
16	0.11	307	ZAC
17	0.1	371	Material de aporte
18	0.1	371	Material de aporte
19	0.1	371	Material de aporte
20	0.1	371	Material de aporte
21	0.11	307	Material de aporte
22	0.115	280	Material de aporte
23	0.1	371	Material de aporte
24	0.09	312	ZAC
25	0.115	280	ZAC
26	0.14	189	ZAC
27	0.12	258	ZAC
28	0.13	219	ZAC
29	0.14	189	Material base
30	0.14	189	Material base
31	0.135	204	Material base
32	0.135	204	Material base
33	0.14	189	Material base
34	0.135	204	Material base
35	0.14	189	Material base
36	0.14	189	Material base
37	0.14	189	Material base
38	0.14	189	Material base
39	0.14	189	Material base
40	0.14	189	Material base
41	0.14	189	Material base
42	0.14	189	Material base
43	0.14	189	Material base
44	0.14	189	Material base
45	0.14	189	Material base
46	0.135	204	Material base
47	0.14	189	Material base

	Media
Vickers	223.5

Se realizó un análisis utilizando la desviación estándar como herramienta estadística, con la finalidad de determinar un rango de valores normales en relación a la dureza media de la Fundición Gris. De esta manera con el indicador obtenido, se descartan los valores que estén por arriba de LS (Limite superior) y LI (limite inferior).



Gráfica 1. Grafica de durezas obtenidas de Fundición gris indicando la desviación estándar.

4.2. RESULTADO METALOGRAFICO

En el estudio metalográfico, se observaron los siguientes fenómenos estructurales así como cambios morfológicos de los componentes de la fundición, en la Zona Afectada por el Calor (ZAC).

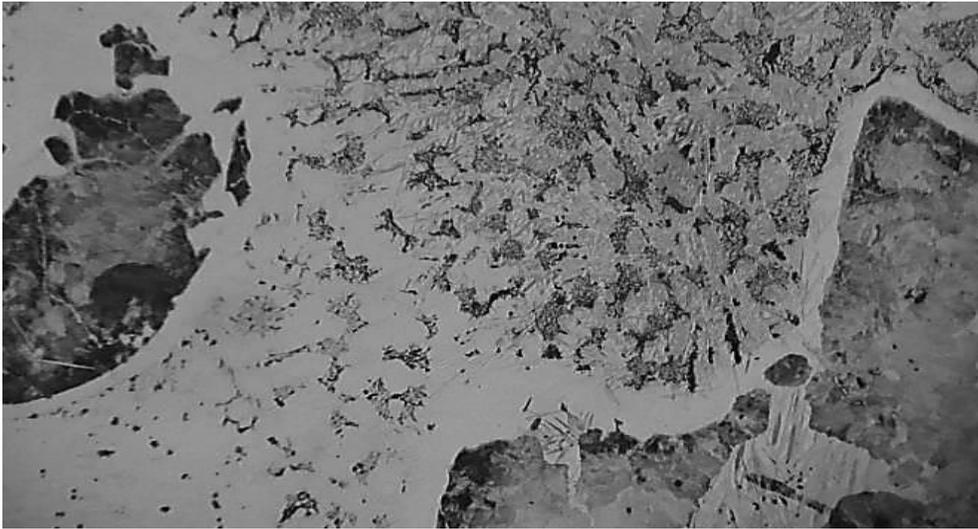


FIGURA 17. Microestructura de un hierro fundido gris a 50X.



FIGURA 18. Microestructura de un hierro fundido gris a 50X.

En las fotografías a 50X la fig.17 muestra desprendimientos de la fundición que se quedan en el metal fundido de aporte, así como en la figura 18 el principio del desprendimiento de una porción de la fundición, también se observan cambios morfológicos del grafito de la fundición, como un gran nódulo de grafito, acompañado de una gran cantidad de barras de grafito en forma de láminas.



FIGURA 19. Microestructura de un hierro fundido gris a 50X.

La figura 19 nos muestra una gran cantidad de grafito en el material de aporte, y una posible fisura, y cristales de posible ferrita con carburos globulizados, la matriz de la fundición sigue siendo de perlita muy fina.



FIGURA 20. Microestructura de un hierro fundido gris a 100X.

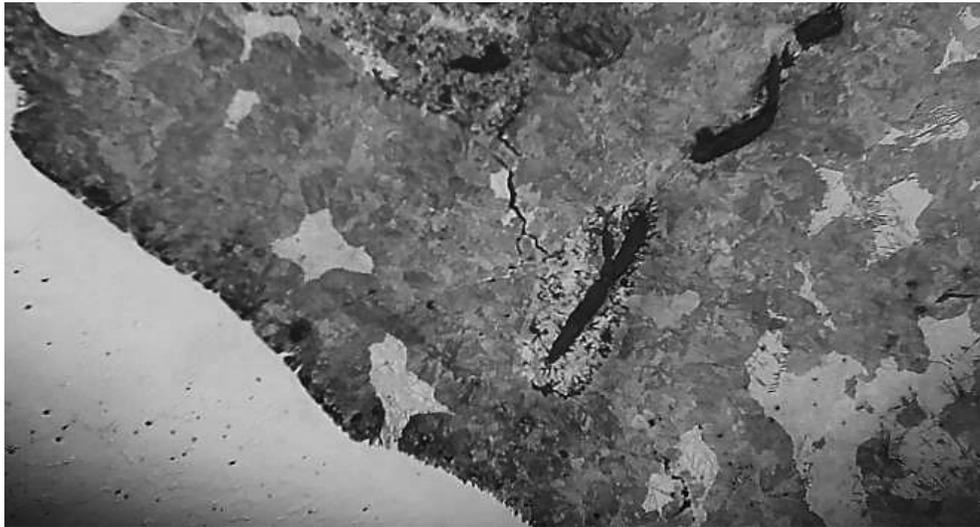


FIGURA 21. Microestructura de un hierro fundido gris a 100X.

En las fotografías a 100X, la figura 20 muestra material de fundición en una fase de disolución en el material de aporte, además de una banda alrededor de los cristales de la fundición tanto en el desprendido como el que está en el metal base; la fig.21 muestra láminas de grafito, y una posible fisura intercrystalina, además lagunas de cristales de austenita en una matriz de perlita.

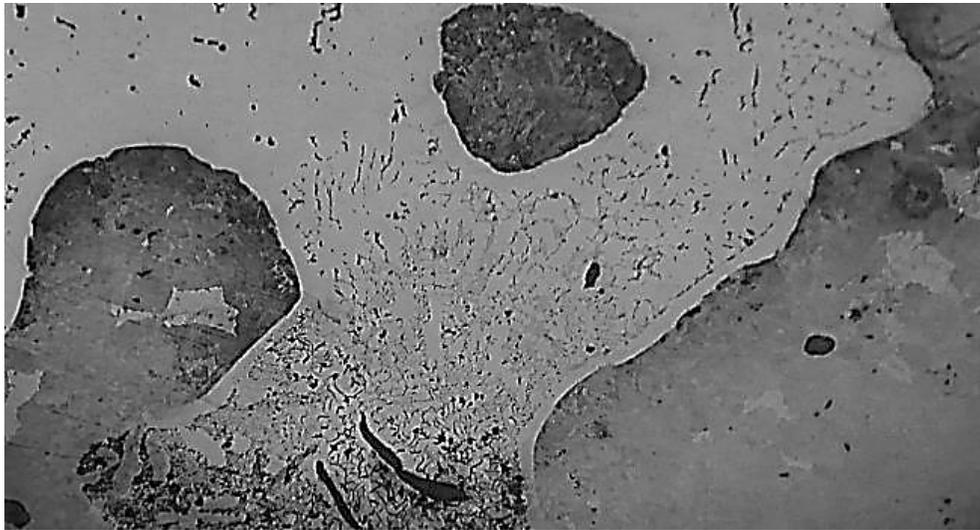


FIGURA 22. Microestructura de un hierro fundido gris a 100X.



FIGURA 23. Morfología de la estructura de un hierro fundido gris a 100X.

La figura 22 aporta la presencia de una zona clara que rodea a los cristales de la fundición, y que podría ser el principio de la soldadura entre la fundición y el metal de aporte.

La figura 23 a un aumento de 100X muestra un cambio drástico en la morfología del grafito en una zona ligeramente más separada de la línea de fusión. Ya no son hojuelas de grafito.



FIGURA 24. Microestructura de un hierro fundido gris a 400X.



FIGURA 25. Microestructura de un hierro fundido gris a 400X.

En las fotografías a 400X revelan estructuras que no estaban tan definidas como lo muestra la figura la 24, contiene Austenita en cuyo interior se está produciendo la transformación martensítica, con una macla y pequeños nódulos de grafito. La figura 25 muestra más definida la banda que rodea a la fundición.

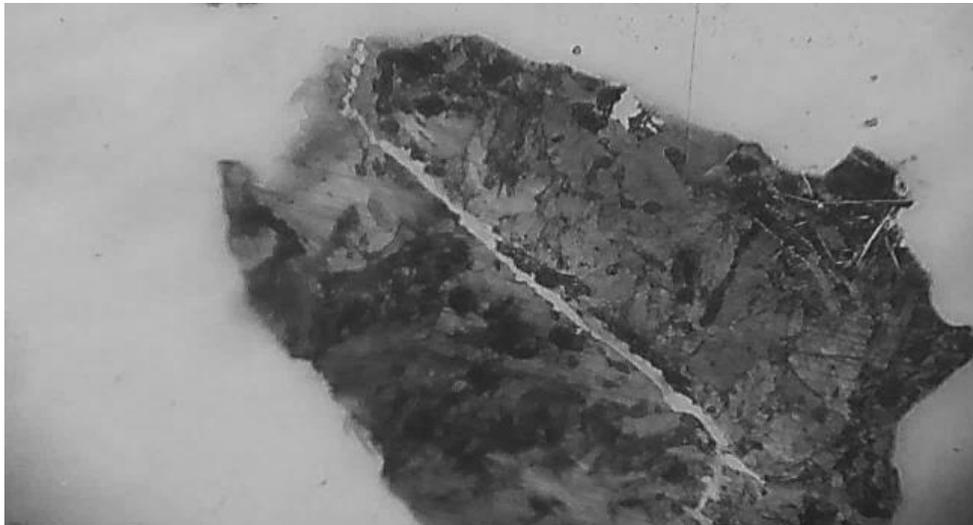


FIGURA 26. Microestructura de un hierro fundido gris a 400X.

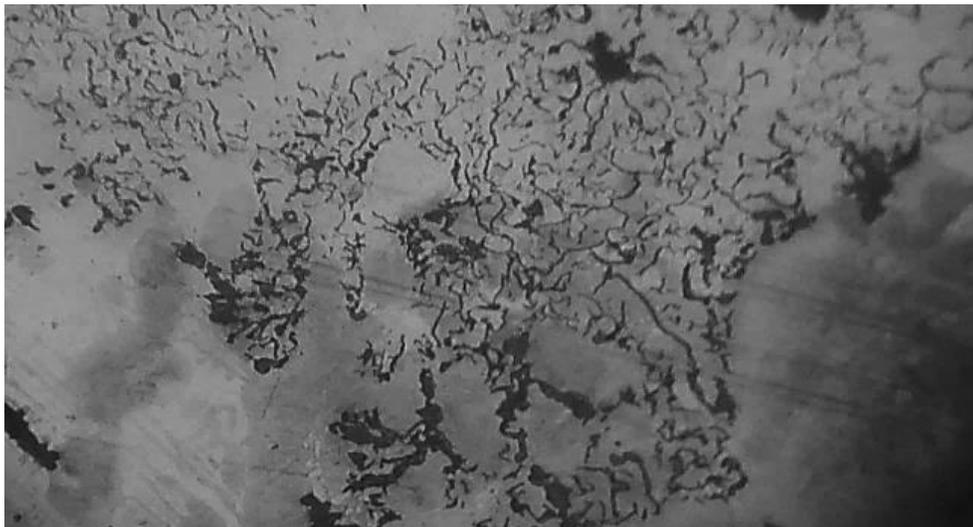


FIGURA 27. Microestructura de un hierro fundido gris a 400X.

La figura 26 es la observación sobre un porción de la fundición separada del metal base, en la que se observa una división que puede ser de un carburo, en una matriz de perlítica con pequeños nódulos de grafito. La figura 27 muestra con mayor claridad la presencia de las arañas de grafito.

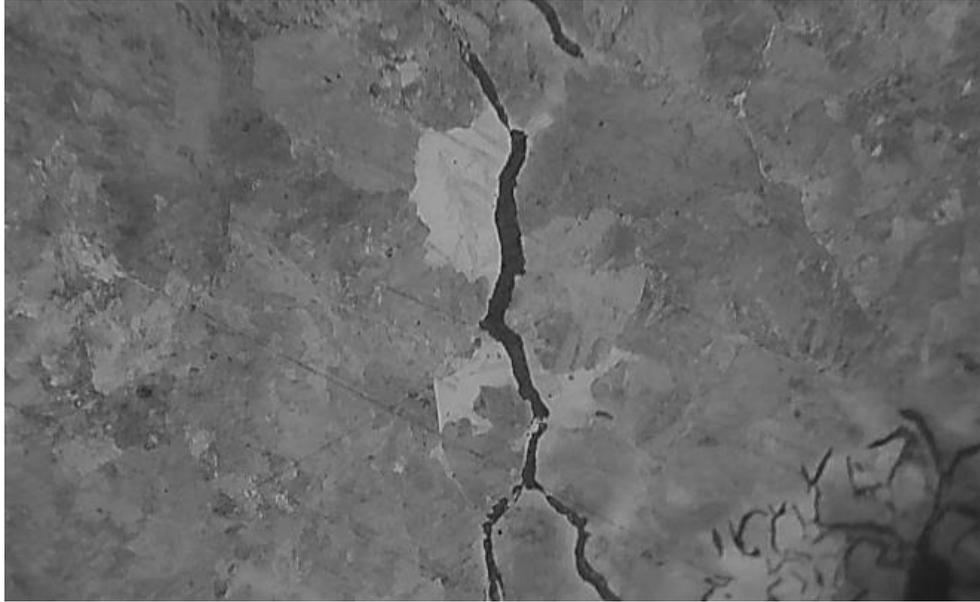


FIGURA 28. Microestructura de un hierro fundido gris a 600X.

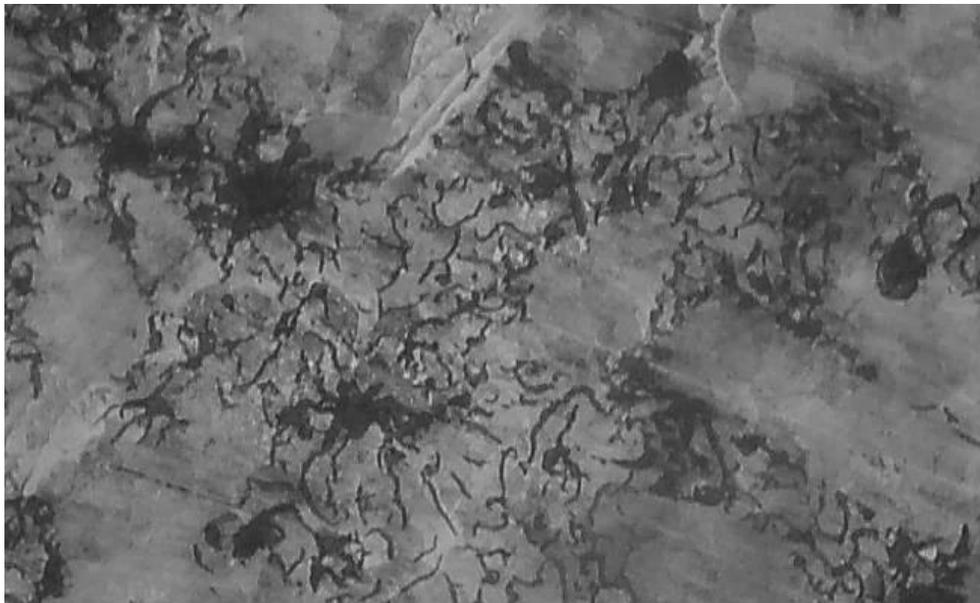


FIGURA 29. Microestructura de un hierro fundido gris a 600X.

En las fotografías a 600X. la figura 28 muestra la presencia de grafito intercrystalino, entre cristales de perlita y de Austenita con transformación martensítica, y lo que se pensaba que era una fisura es grafito. La figura 29 muestra en forma más definida las arañas de grafito.



FIGURA 30. Microestructura de un hierro fundido gris a 600X.

La figura 30 es una vista de la banda que rodea a los cristales de perlita de la fundición en la línea de fusión.



FIGURA 31. Microestructura de un hierro fundido gris a 800X.

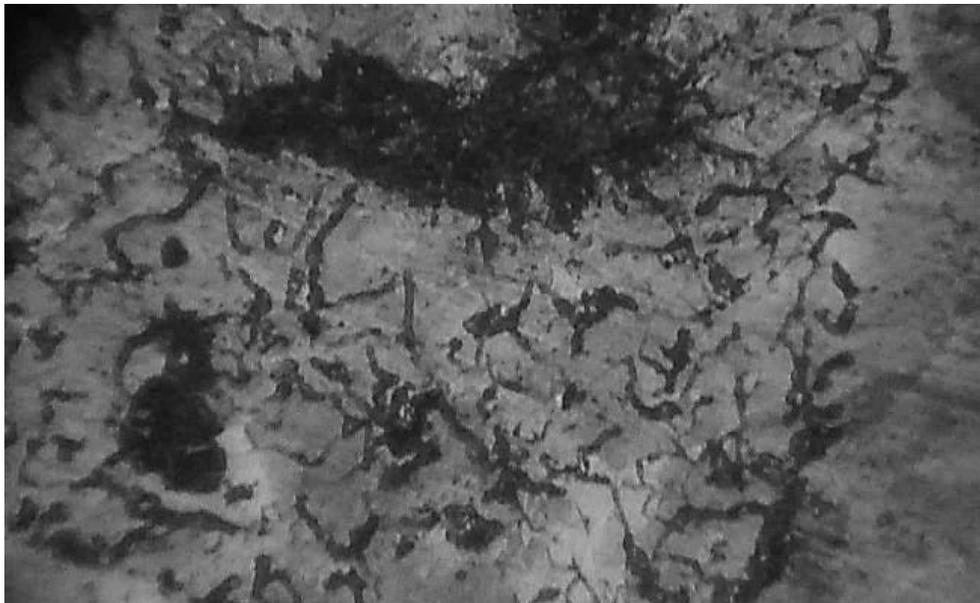


FIGURA 32. Microestructura de un hierro fundido gris a 800X.

En las fotografías de 800X, en la figura 31 se corroborar que la posible grieta intercrystalina de los bajos aumentos no es, sino que es grafito intercrystalino, la figura 32 se observa la presencia de las arañas de grafito lo cual representa una diferencia significativa de morfología del grafito.

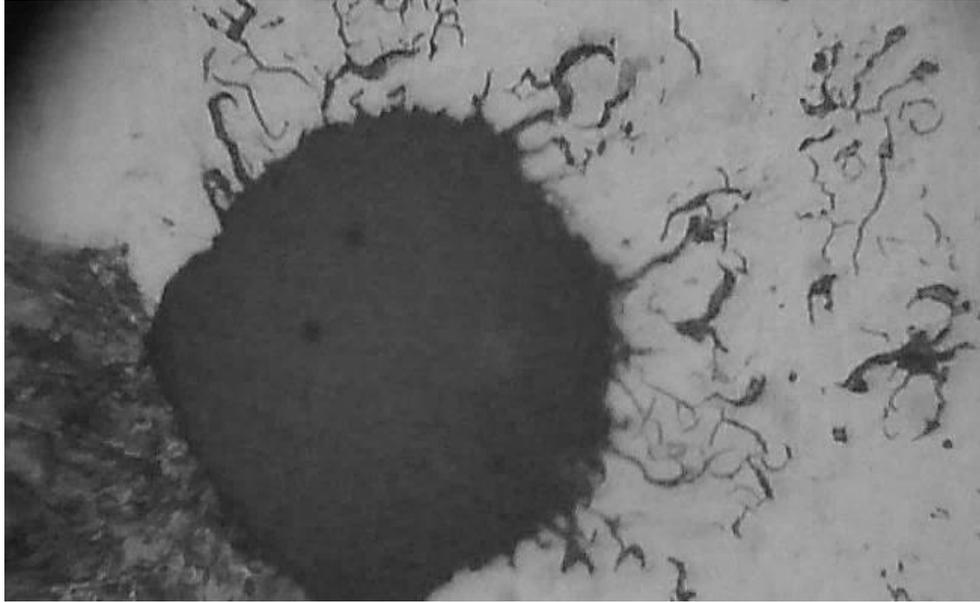


FIGURA 33. Microestructura de un hierro fundido gris a 800X.

En la figura 33 se muestra la presencia de un gran nódulo de grafito en la línea de fusión con algunas arañas de grafito, en el material de aporte.

4.3. RESULTADO DEL ENSAYO DE TENSIÓN.

El ensayo consiste en posicionar una probeta en la maquina universal de ensayos, 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.

Realizando el ensayo en el área de la fundición gris, el tiempo transcurrido fue de 11 minutos y 09 segundos.

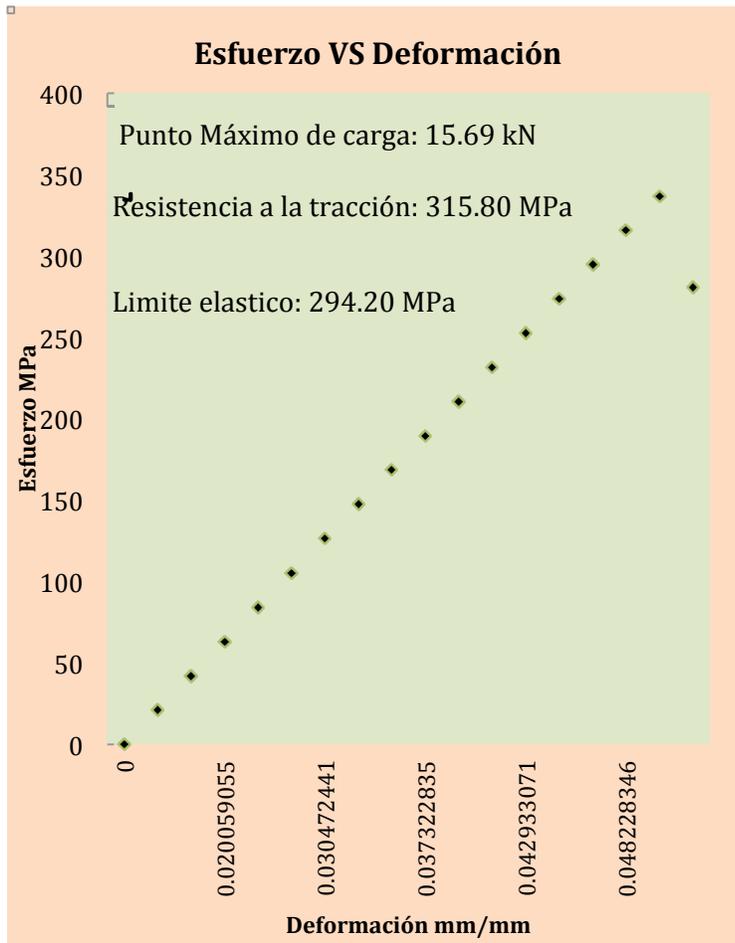
Las medidas de la probeta y los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla en la cual los resultados se encuentran en el Sistema Inglés y Sistema Métrico.

Tabla 9. Resultados obtenidos en la prueba de tensión.

Resultados del Ensayo		
MEDIDAS DE LA PROBETA		
Datos	Sistema Inglés	Sistema Métrico
Ancho	0.3610 in	9.169 mm
Espesor	0.2 in	5.08 mm
Área	0.0722 in ²	46.5806 mm ²
Longitud de galga de la probeta	2 in/N	50.8 mm/N
RESULTADOS OBTENIDOS		
Punto máximo Carga	3528.60 lbf	15.6906 kN
Resistencia a la tracción	45802.91 lb/in ²	315.80 MPa
Módulo de Young	22901458.0 lbf/in ²	157900.0 MPa
Área debajo de la curva	14.9803ft*lb	20.3105 J
Carga en el punto de rotura	46.1083 lbf	0.2059 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 creció 1.7 mm, por lo que el crecimiento de la misma es mínima debido a que de acuerdo a la división de la dimensión final por la dimensión inicial $1.7\text{mm} / 50.8\text{ mm} = 0.0334\text{ mm/mm}$, esto nos indica que el crecimiento de la probeta es mínimo al ser solo 33.4 milésimas de milímetro por lo que se puede determinar que la Fundición Gris en este experimento es un material frágil.

A continuación se muestra la gráfica que se generó en el proceso de la prueba de tensión, esta gráfica nos indica cuál fue el comportamiento del material bajo la carga a la cual fue sometido por cada posición en milímetros.



Gráfica 2. Esfuerzo vs Deformación. (Ensayo de tensión).

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados de la dureza en la soldadura de los materiales disímiles de la fundición gris y acero inoxidable 304, soldado con níquel con un enfriamiento a temperatura ambiente, se puede observar una variación en las durezas de la fundición gris más significativa que en el acero inoxidable, que presentó una dureza más homogénea, esto se comprobó con las gráficas de la dureza contra el número de ensayo y con el cálculo de 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. 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 del unión de los materiales disímiles, la que se considera que es la media de las durezas de ambos materiales.

Las observaciones realizadas en zona afectada por el calor sobre y cerca de la línea de fusión de la fundición gris, mostraron diferentes morfologías de las estructuras como es la presencia del grafito en forma de grandes nódulos. Hay que hacer notar que la soldadura se hizo y posteriormente el enfriamiento se realizó al aire a temperatura ambiente, el grafito tuvo otras formas como se presento, como en forma de arañas, en formas esféricas irregulares, en bordes de grano, también se presento en el material de aporte en forma de pequeños nódulos. En la ZAC cerca de la línea de fusión el grafito en forma de hojuelas, prácticamente desaparecieron.

Hay que hacer notar que en esta parte experimental de la soldadura a temperatura ambiente en aire, no se presentaron grietas, fisuras o microfisuras, lo cual es significativo.

En la ZAC también se encontró, por la velocidad de enfriamiento cristales de Austenita con transformación martensítica, o sea se encontró Martensita. El metal base o sea la fundición gris, sufrió varias condiciones como desprendimientos de fundición gris como islas que se conservaron en el material de aporte, en la línea de fusión la fundición gris fue rodeada por una banda blanca , (probablemente de Níquel), y por

último se observaron zonas en que la fundición se presentó como una dispersión de sus componentes en el material de aporte. 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 semejante 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 la deformación de la fundición gris en la ZAC la cual es pequeña, con lo cual se puede inferir que su fractura es del tipo frágil, la cual es una característica de las fundiciones y por último la energía que absorbió en el ensayo se podría considerar alta.

CONCLUSIONES.

Las conclusiones que se pueden mencionar son:

Si se puede considerar que la dureza promedio que se obtuvo, se considerara como la dureza ideal en enfriamiento al aire a temperatura ambiente como procedimiento de soldadura, se puede decir.

- 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 Perlita o sea la de la fundición.
- El grafito cambió de morfología en la zona afectada por calor al pasar de hojuelas a glóbulos de diferentes tamaños 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 Níquel.
- La resistencia a la tensión a pesar de ser semejante a la de la fundición gris no sería confiable por la presencia de varios cambios morfológicos de las estructuras originales, principalmente la del grafito.
- No existen la discontinuidad de ruptura en ninguna de sus formas.
- La deformación plástica en la ZAC es significativamente pequeña.

La conclusión general se puede considerar como:

Que un procedimiento de soldadura, con enfriamiento al aire a temperatura ambiente después de soldarse la unión, no es confiable para soldar fundiciones del tipo gris, ya que se producen cambios estructurales significativos, como ejemplo la del grafito en la ZAC de la fundición gris.

BIBLIOGRAFÍA

1. Askeland, Donal R. & Phulé Pradeep P. (Septima Edición.)(2016). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: International Thomson Editores, S.A.
2. ASM Handbook: *Metals, Properties and Performance Collection*. Ohio (EE.UU.): ASM International (American Society for Metal),44073. 2017.
3. Manual de Soldadura. (2007).*The Procedure Handbook of Arc Welding*. (Vigésima Edición) AWS Handbook (American Welding Society).
4. Smith, William F. (5ta Edición)(2014). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. McGraw-Hill.
5. Avner, S.,(Segunda Edición.) (1988). *Introducción a la metalurgia Física*. McGraw-Hill.
6. Robert L. Mott. (Quinta Edición)(2009). *Resistencia de Materiales*. Pearson Educación de México.
7. Marks, (9a Edición, español)(2007), Manual del ingeniero mecánico, McGraw-Hill.
8. Soldexa, (Septima edición)(2009)Manual de soldadura y Catálo de productos, Oerlikon.
9. Metals Handbook., Vol. 10, 10a. ed., ASM, 1993.
10. Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, Jr, David F. (5ta. Edición)(2009), *Mecánica de materiales*. México, McGraw-Hill.
11. James F. Shackelford (6ta. Edición)(2007) *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. Person.
12. GROOVER, Mikell P,(2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México. McGraw-Hill.