



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**CARACTERIZACIÓN DE DUREZA Y METALOGRAFÍA DE LA ZONA AFECTADA POR
EL CALOR (ZAC) DE UN ACERO CA-15 CON RECOCIDO ISOTERMICO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

ULISES IGNACIO GÓMEZ ROSALES

ASESOR: DR. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA.



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.

DEDICATORIAS

A mi madre, por ser tan fundamental y especial.

A mi padre, por que estará orgulloso de lo que soy.

A mi familia por el apoyo recibido.

A todos mis amigos por ser tan importantes para mí.

ULISES

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM, por ofrecernos la oportunidad de ser parte de esta gran institución.

Al Maestro Tomas Rangel Ortiz por ser parte de este trabajo.

Al Maestro Noé Alberto Cortes Guerrero por la ayuda recibida para la realización de las muestras.

Al Doctor Enrique Curiel por la ayuda y el asesoramiento recibido para la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE.

DEDICATORIAS.

AGRADECIMIENTOS.

ÍNDICE.

4

INTRODUCCIÓN.

5

TÍTULO DE LA TESIS.

7

OBJETIVO.

7

HIPÓTESIS.

7

CAPITULO 1, ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS FUNDIDOS.

8

1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

9

1.2 EFECTO DEL CROMO EN ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.

11

1.3 METALOGRAFÍA.

16

CAPITULO 2, PRUEBA DE DUREZA Y METALOGRAFÍA.

18

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

19

2.2 PROCESO PARA TOMAR LA DUREZA VICKERS.

20

2.3 NORMAS.

20

2.4 CONSIDERACIONES TEÓRICAS GENERALES.

21

2.4.1 PROCEDIMIENTO.

25

2.5 MAQUINARIA, MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDIDA.

25

CAPITULO 3, METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

28

3.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

29

CAPITULO 4, RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN.

35

4.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA.

36

4.2 RESULTADO METALOGRAFICO.

46

ANALISIS DE RESULTADOS.

52

ENSAYO DE DUREZA.

52

METALOGRAFÍA.

53

CONCLUSIONES.

54

BIBLIOGRAFIA.

55

INTRODUCCIÓN:

El acero inoxidable es un acero de elevada pureza y resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él, evitando así la corrosión del hierro

Los Aceros Inoxidables se caracterizan por su resistencia a la corrosión, resistencia mecánica y ductilidad, y contenido de cromo. Se llaman inoxidables porque en presencia de oxígeno (aire) forman una película delgada y adherente de óxido de cromo, que protege al material contra la corrosión. Esta película protectora se vuelve a formar en caso que se raye la superficie. Para que ocurra la pasivación, el contenido de Cromo debe ser de 12% o más en peso.

Los aceros inoxidables martensíticos han sido diseñados para obtener productos con alta resistencia mecánica. Con objeto de obtener esta resistencia se debe someter a estos aceros a un tratamiento térmico. Dicho tratamiento consiste en calentar el material a una temperatura alta hasta que logre formarse una estructura totalmente austenítica.

Se debe tener cuidado en la forma de enfriar los materiales, porque pueden presentarse ondulaciones, distorsiones y grietas que se presentan por efecto del templado.

Para la presente investigación se procedió con el desarrollo experimental que constó en la elaboración de una probeta de acero inoxidable martensítico CA15, a la cual se le realizó un cordón de soldadura con material de aporte de electrodo revestido compuesto de la misma aleación según la AWS.

Fue cortada en la sección transversal al cordón para dejar a la probeta con un espesor de $\frac{3}{4}$ " y de $1\frac{3}{4}$ " de largo por $1\frac{3}{4}$ " de ancho aproximadamente.

Una vez elaborada la probeta fue necesario realizarle 85 ensayos de dureza con una distancia entre cada huella de 0.005" procurando atravesar 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 datos obtenidos practicados a la probeta, fueron comparados mediante fotografías, gráficas y tablas; marcando las variables que se consideraron las más importantes y significativas.

TÍTULO DE LA TESIS

“CARACTERIZACIÓN DE DUREZA Y METALOGRAFÍA DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC) DE UN ACERO CA-15 CON RECOCIDO ISOTERMICO.”

OBJETIVO

Determinar las condiciones finales del acero CA15 en su zona afectada por el calor después del tratamiento de recocido isotérmico.

HIPOTESIS

Siendo el acero CA15 un acero inoxidable Martensíticos con alta respuesta térmica, se espera que sus propiedades estructurales sufran variaciones para mejorar las estructuras cristalinas del mismo al ser sometido a un recocido isotérmico.

CAPÍTULO

1

"ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS FUNDIDOS"

1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

Ciertas aleaciones de Hierro y Cromo poseen alta resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperaturas elevadas, así mismo mantienen una resistencia considerable a esas temperaturas. Estas aleaciones, a veces contienen Níquel y pequeños porcentajes de Silicio, Molibdeno, Tungsteno, Cobre y otros elementos.

Este vasto y complejo grupo de aleaciones se conoce como **Aceros Inoxidables** y normalmente se clasifican en tres grupos **A) Aceros austeníticos**, que contienen Níquel y Cromo. **B) Aceros martensíticos**, los cuales son aleaciones templables con contenido hasta de 13% de Cromo y que, al templearlos por inmersión, son martensíticos. **C) Aceros ferríticos**, que son aleaciones con bajo contenido de Carbono, no son templables y con un contenido de Cromo hasta de 13%.

Grupo A (Austeníticos). La adición de cantidades considerables de Níquel a las aleaciones con alto contenido de Cromo estabiliza la austenita a tal grado que las aleaciones son austeníticas a temperatura ambiente. No pueden templearse, tienen alta resistencia a muchos ácidos, incluso el ácido nítrico frío o caliente, no tienen alta resistencia a los gases sulfurosos calientes y, en ocasiones, son susceptibles de corrosión intercrystalina si hay carburos en las fronteras de grano.

Grupo B (martensíticos). Pueden someterse a tratamiento térmico. Debido a su alta dureza y resistencia a la oxidación, se emplean mucho en cuchillería, hojas de afeitar, instrumentos quirúrgicos y dentales, resortes para funcionamiento a altas temperaturas, válvulas de bola y sus asientos, así como para aplicaciones similares.

En particular y para nuestra investigación se analizó el acero CA15 que es un acero martensítico.

Grupo C (ferríticos). También conocido como Fierro inoxidable, debido a su bajo contenido de Carbono. Poseen gran ductilidad, capacidad para ser trabajados en frío o en caliente, así como excelente resistencia a la corrosión, y suelen tener un costo relativamente bajo. Estos aceros no pueden endurecerse mediante tratamiento térmico, pero si lo pueden hacer mediante trabajo en frío, alcanzando grados considerables. Se emplean mucho para equipo de cocina, maquinaria para instalaciones lecheras, decoraciones para interiores, ornamentos para automóviles, y equipo químico.

Los aceros inoxidables tienen una resistencia a la corrosión natural que se forma automáticamente, es decir, no se adiciona. En general, tienen buena resistencia mecánica, por lo menos dos veces la del acero al carbono, son resistentes a temperaturas elevadas y a temperaturas criogénicas. Son fáciles de transformar en gran variedad de productos y tienen una apariencia estética, que puede variarse sometiendo el acero a diferentes tratamientos superficiales para obtener acabado a espejo, satinado, coloreado, texturizado, etc.

Existen aceros inoxidables fabricados por fundición y conformados por forja o rolados siendo manejados por diferentes normativas.

Los aceros forjados son normados por la AISI (American Iron and Steel Institute) quienes denominan a los aceros martensíticos por la serie 400 mientras que la ACI (Alloy Casting Institute) norma la nomenclatura de los aceros inoxidables obtenidos por fundición siendo los C y H los que corresponden a los martensíticos, siendo "C" los que resisten la corrosión a temperaturas por debajo de los 650°C, mientras que los "H" están por arriba de los 650°C.

1.2. EFECTO DEL CROMO EN ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.

El cromo es un metal de transición duro, frágil, gris acerado y brillante. Es muy resistente frente a la corrosión.

Las propiedades que distinguen a los aceros inoxidable, por ejemplo aleaciones Fe-Cr-(Mo) y Fe-Cr-Ni-(Mo), de otros materiales resistentes a la corrosión, depende esencialmente del Cromo. El elevado grado de reactividad del Cromo es la base para su efectividad como elemento de aleación en los aceros inoxidable.

La resistencia de estas aleaciones metálicas en los efectos químicos sobre los agentes corrosivos es determinada por su habilidad de auto-protegerse por medio de la formación de una película delgada insoluble y adherente que se da como resultado de la reacción de productos que protegen al substrato metálico de un ataque localizado y uniforme.

La película protectora también llamada capa de pasivación o película de pasivación, es una capa delgada sobre la superficie, del orden de 1.0 a 2.0 nm, que reduce la velocidad de corrosión a niveles insignificantes.

Para que suceda la pasivación y se mantenga estable, la aleación Fe-Cr debe contener un contenido mínimo de Cromo de alrededor de 11% sobre el peso. Por encima de este porcentaje, la pasivación puede darse, mientras que por debajo, es casi imposible que suceda. La resistencia a la corrosión de las aleaciones Fe-Cr, tiende a mejorar cuando el contenido de Cromo se incrementa.

Los diagramas de Fases son utilizados para describir las transformaciones de estas, que se encuentran presentes en los aceros inoxidable. Estos a su vez, también se utilizan para predecir su micro estructura. Todos los diagramas de fase están basados en condiciones de equilibrio.

En la figura 1.1, en la zona del diagrama que corresponde al estado sólido se pueden observar tres regiones.

Zona 1. Una porción limitada por una línea curva, a la que se le conoce como zona Gamma (ubicada del lado izquierdo) y en la cual la fase austenítica es estable con una estructura cristalina cúbica centrada en las caras.

Zona 2. Una porción situada fuera del área curva de la zona de Gamma (lado derecho), en donde la fase ferrítica (que solidifica con una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo) es estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión de estas aleaciones. A la Ferrita se le conoce también como fase alfa o fase delta.

Se le llama Ferrita delta a la que se forma directamente por solidificación; y se denomina Ferrita alfa a la que se forma por la transformación de la Austenita durante el enfriamiento.

Zona 3. El área ubicada entre las dos regiones, es donde la Ferrita y la Austenita pueden coexistir. Las proporciones respectivas de cada fase dependen de los diagramas de equilibrio.

El diagrama de fases Fe-Cr de la figura 1.1 se puede observar que un incremento en el contenido de cromo da por resultado un decremento en el rango de temperatura sobre la cual la Austenita es estable.

Solo hasta que el contenido de Cromo es de aproximadamente un 11% donde se presentan las transformaciones normales de Austenita a Ferrita (enfriamiento), y de Ferrita a Austenita (calentamiento). Un contenido de Cromo por encima del 13% evita que ocurra esta transformación durante el enfriamiento o calentamiento y por esta razón, las aleaciones permanecen ferríticas a todas temperaturas.

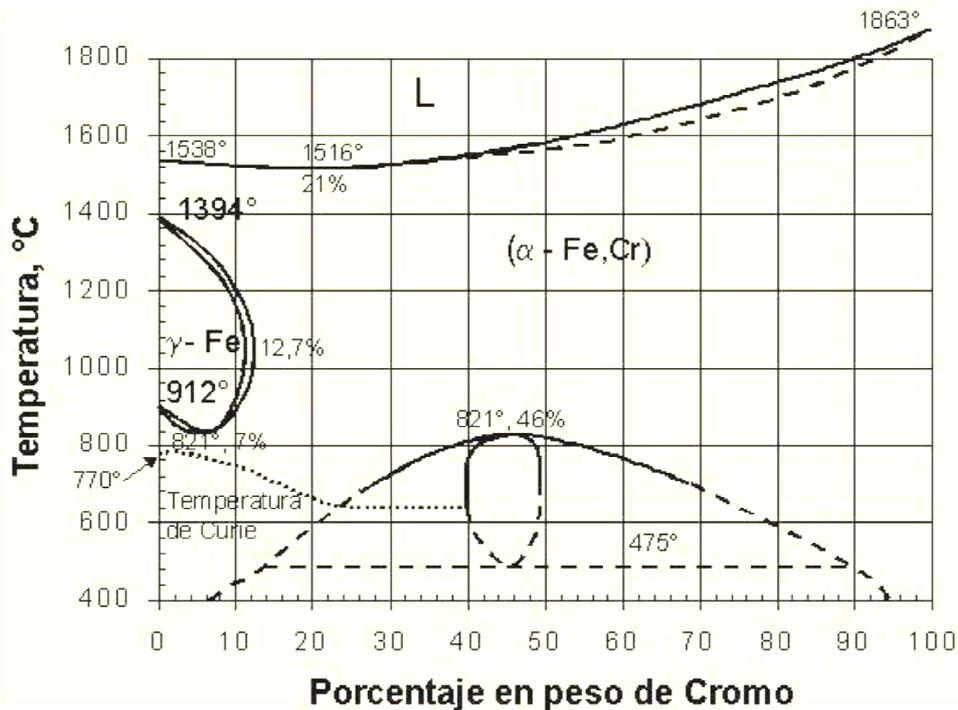


Figura 1 - Diagrama de equilibrio de aleaciones Fe-Cr

En el diagrama anterior se pueden identificar dos categorías de aceros inoxidable, martensíticos y ferríticos. En los aceros inoxidable martensíticos sus características son similares a las de las aleaciones Fe-Cr que contienen menos de 12% de Cromo. Estos aceros solidifican como ferrita delta, aunque se transforman completamente en Austenita durante el enfriamiento.

Cuando el enfriamiento es suficientemente lento, la austenita se puede transformar en ferrita alfa. No obstante, si el enfriamiento es rápido, esta transformación no se realiza totalmente y la Austenita da origen a la Martensita, en forma similar a como sucede con los aceros ordinarios o de baja aleación.

Los aceros inoxidable ferríticos se comportan como aleaciones de Fe-Cr con un contenido suficiente de cromo como para permanecer fuera de la zona Gamma.

Estos aceros son esencialmente ferríticos en todo el rango de temperaturas en estado sólido y en consecuencia, no se endurecen con el enfriamiento rápido (como es el caso de los aceros martensíticos). Entre las dos categorías mencionadas se encuentran una familia de aceros intermedios a los que se denomina como martensíticos/ferríticos o semi-ferríticos.

Estas aleaciones de Fe-Cr se encuentran localizadas en la zona que se genera entre las tangentes verticales de las curvas de inicio y término de transformación del área donde coexisten la Ferrita y Austenita, esto es: entre los contenidos aproximados del 11 y el 13% de Cromo. Una parte de la Ferrita delta que constituye a los aceros martensíticos permanece sin cambio a todas temperaturas en el estado sólido mientras que la otra parte se transforma en Austenita. Esta, a su vez, se transforma en Ferrita alfa o Martensita, dependiendo de su velocidad de enfriamiento.

En este punto, es necesario mencionar que el diagrama Fe-Cr debe considerarse como una base conveniente de ayuda con objeto de distinguir las diferentes categorías de estructuras de los aceros inoxidable. Ello se debe a que siempre existen elementos aleantes o residuales que actúan para formar otras fases que no se incluyen en el diagrama Fe-Cr y que también desplazan las fronteras de existencia de la Austenita y Ferrita.

El efecto del Carbón como formador de carburos resulta importante en particular con el Cromo, además que amplía el rango en que la Austenita es estable hacia mayores contenidos de Cromo.

En la práctica, además de algunos otros elementos, los aceros inoxidable martensíticos normalmente contienen de 10 a 16% de Cromo, y hasta 1% de Carbón o más.

Sin embargo, existen otros tipos de aceros martensíticos en los que se aprovecha la capacidad de desplazamiento que algunos otros elementos aleantes tienen sobre la fase Gamma.

Los aceros inoxidable martensíticos se emplean normalmente en condiciones de temple y revenido, lo que les otorga una máxima resistencia y ductilidad o bien se proveen en estado de recocido.

El Cromo es el elemento aleado que influye en la resistencia a la oxidación y a la corrosión de los aceros. Un 12% de Cromo impide la corrosión por el aire húmedo mientras que para la oxidación en altas temperaturas es necesario hasta un 30%.

El Níquel mejora la resistencia a la corrosión de los aceros al Cromo y el Molibdeno mejora la resistencia a la oxidación en altas temperaturas.

Los aceros inoxidable son resistentes a la corrosión atmosférica, ácidos, álcalis y a la oxidación a temperaturas no muy elevadas.

Son el Cromo y el Carbono quienes provocan una gran dureza cuando estos aceros martensíticos se enfrían rápidamente después de algún proceso de soldadura o una excesiva entrada y salida de energía calorífica sobre el material, por lo que tendrá que tenerse cuidado en las zonas que sean afectadas por el calor, con el fin de garantizar las propiedades mecánicas y estructurales que se desean que este material tenga para las aplicaciones por las que se hayan elegido este tipo de material.

1.3. METALOGRAFÍA

La metalografía es la ciencia que estudia las características microestructurales o constitutivas de un metal o aleación relacionándolas con las propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Mucha es la información que puede suministrar un examen metalográfico, para ello es necesario obtener muestras que sean representativas y que no presenten alteraciones debidas a la extracción y/o preparación metalográfica. Los pasos a seguir para una preparación metalográfica son los siguientes:

1.3.1. Pulido metalográfico.

Se usa el equipo Desbastadora ó Pulidora Metalográfica, se prepara la superficie del material, en su primera fase denominada Desbaste Grueso, donde se desbasta la superficie de la muestra con papel de lija, de manera uniforme y así sucesivamente disminuyendo el tamaño de grano (Nº de papel de lija) hasta llegar al papel de menor tamaño de grano.

Una vez obtenido el último pulido con el papel de lija de tamaño de grano más pequeño. Al inicio de la segunda fase de pulido denominada Desbaste Fino, en la que se requiere de una superficie plana libre de ralladuras la cual se obtiene mediante una rueda giratoria húmeda cubierta con un paño especial cargado con partículas abrasivas cuidadosamente seleccionadas en su tamaño para ello existen gran posibilidad de abrasivos para efectuar el último pulido; en tanto que muchos harán un trabajo satisfactorio parece haber preferencia por la gama de óxidos de aluminio para pulir materiales ferrosos y de los basados en cobre y óxido de cerio para pulir aluminio, magnesita y sus aleaciones.

La etapa del pulimento es ejecutada en general con paños macizos colocados sobre platos giratorios circulares, sobre los cuales son depositadas pequeñas cantidades de abrasivos, en general diamante industrial en polvo fino o bien en suspensión, con granulometrías como por ejemplo de 10, 6, 3, 1, y 0,25 micras.

El pulido se realiza sujetando la muestra a tratar con la mano o bien mediante un cabezal automático para pulir varias muestras a la vez.

1.3.2. Ataque químico

Hay una enormidad de ataques químicos, para diferentes tipos de metales y situaciones. En general, el ataque es hecho por inmersión o fregado con algodón embebido en el líquido escogido por la región a ser observada, durante algunos segundos hasta que la estructura o defecto sea revelada. Uno de los más usados es el nital, (ácido nítrico y alcohol), para la gran mayoría de los metales ferrosos.

1.3.4. Microscopía

Utilización de lupas estereoscópicas (que favorecen la profundidad de foco y permiten por tanto, visión tridimensional de el área observada) con aumentos que pueden variar de 5x a 64X.

El principal instrumento para la realización de un examen metalográfico lo constituye el microscopio metalográfico, con el cual es posible examinar una muestra con aumentos que varían entre 50x y 2000x.

El microscopio metalográfico, debido a la opacidad de los metales y aleaciones, opera con la luz reflejada por el metal. Por lo que para poder observar la muestra es necesario preparar una probeta y pulir a espejo la superficie.

CAPÍTULO

2

"PRUEBA DE DUREZA Y METALOGRAFÍA"

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Para la presente investigación se procedió con el desarrollo experimental que constó en la elaboración de una probeta de acero inoxidable martensítico CA15, a la cual se le realizó un cordón de soldadura con material de aporte de electrodo revestido compuesto de la misma aleación según la AWS.

Fue cortada en la sección transversal al cordón para dejar a la probeta con un espesor de $\frac{3}{4}$ " y de $1\frac{3}{4}$ de largo por $1\frac{3}{4}$ de ancho aproximadamente. Una vez elaborada la probeta fue necesario realizarle 85 ensayos de dureza con una distancia entre cada huella de 0.005" procurando atravesar 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 datos obtenidos practicados a la probeta, fueron comparados mediante fotografías, gráficas y tablas; marcando las variables que se consideraron más importantes y significativas. También fue necesario establecer las conclusiones de la investigación.

La probeta se obtuvo por medio del proceso de soldadura por arco eléctrico aplicando material de aporte sobre una de sus caras y realizando un corte transversal respecto al cordón de soldadura que se creó, para que seguido a esto se le realizara un temple al agua.

Una vez que se elaboró la probeta fue necesario realizarle un ataque químico, tomando como referencia las normas ASTM-E-3-01 y ASTM-E-340, que permitió determinar la ubicación de la ZAC (Zona Afectada por el Calor).

A la probeta se le realizó la toma de durezas tomando como referencia el método de pruebas estándar para la toma de dureza Vickers en materiales metálicos ASTM-E-95 92 y el método de pruebas estándar para la microindentación de materiales metálicos ASTM-407-99.

2.2. PROCESO PARA TOMAR LA DUREZA VICKERS.

El ensayo Vickers (HV) fue desarrollado en Inglaterra en 1925 y se conoció formalmente como Ensayo de Dureza Punta de Diamante (DPH; por sus siglas en inglés). El ensayo Vickers cuenta con dos distintos rangos de fuerza, micro (10g a 1000g) y macro (1kg a 100kg), para cubrir todos los requerimientos de los ensayos. El penetrador es el mismo para ambos rangos, por lo tanto, los valores de la dureza Vickers son continuos sobre el rango total de la dureza para los metales (normalmente HV100 a HV1000).

Con la excepción de ensayos con fuerzas por debajo de 200g, los valores Vickers se consideran en general como la fuerza de prueba independiente. En otras palabras, si el material probado es uniforme, los valores Vickers serán los mismos si se utiliza una fuerza de 500g o una fuerza de 50kg. Por debajo de 200g se debe tener precaución cuando se comparen resultados.

2.3. NORMAS

La prueba Vickers se define por las siguientes normas:

ASTM E384 – Rangos de micro fuerza – 10g a 1kg, ASTM E92 – Rangos de macro fuerza – 1kg a 100kg e ISO 6507 – 1, 2, 3 – macro y micro rangos.

2.4. CONSIDERACIONES TEÓRICAS GENERALES

Definición de dureza: Se entiende por dureza la propiedad de la capa superficial de un material de resistir la deformación elástica, plástica y destrucción, en presencia de esfuerzos de contacto locales inferidos por otro cuerpo, más duro, el cual no sufre deformaciones residuales (Indentador o Penetrador), de determinada forma y dimensiones.

Durante las mediciones estandarizadas de dureza Vickers se hace penetrar un indentador de diamante en forma de pirámide de cuatro caras (Figura 2) con un ángulo determinado en el vértice. La utilización de una pirámide de diamante tiene las siguientes ventajas:

- Las improntas o huellas resultan bien perfiladas, cómodas para la medición.
- La forma de las huellas es geoméricamente semejante (Figura 3), por lo cual la dureza para un mismo material es constante, independiente de la magnitud de la carga.
- La dureza con la pirámide coincide con la dureza Brinell para los materiales de dureza media.

Este método es aplicable con igual éxito para los materiales blandos y duros, y sobre todo para los ensayos de probetas delgadas y las capas superficiales.



Figura 2. Indentador piramidal Vickers

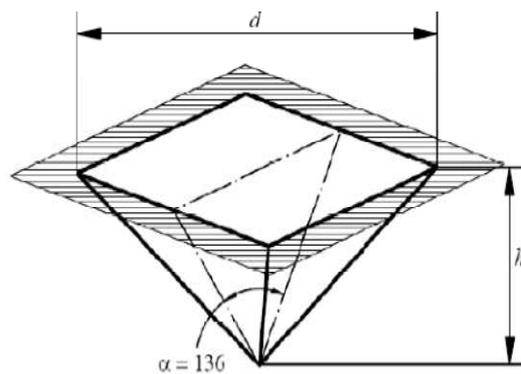


Figura 3. Huella piramidal de dureza Vickers

Los números HV y HB son cercanos en su valor absoluto debido a la igualdad del ángulo del vértice de la pirámide al ángulo entre las tangentes a la bola para el caso de una huella "ideal" cuando $d = 0,375 D$. Esta consideración sirve de base para determinar el valor del ángulo del vértice de la pirámide estándar $\alpha = 136^\circ$, bajo una carga predeterminada, contra la superficie del material a ser ensayado y se mide la diagonal resultante de la impresión luego de remover la carga.

El estándar ASTM E 92-82 define la dureza Vickers como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, se fuerza un indentador piramidal de base cuadrada que tiene un ángulo entre caras específico, bajo una carga predeterminada, contra la superficie del material a ser ensayado y se mide la diagonal resultante de la impresión luego de remover la carga. Figura 4

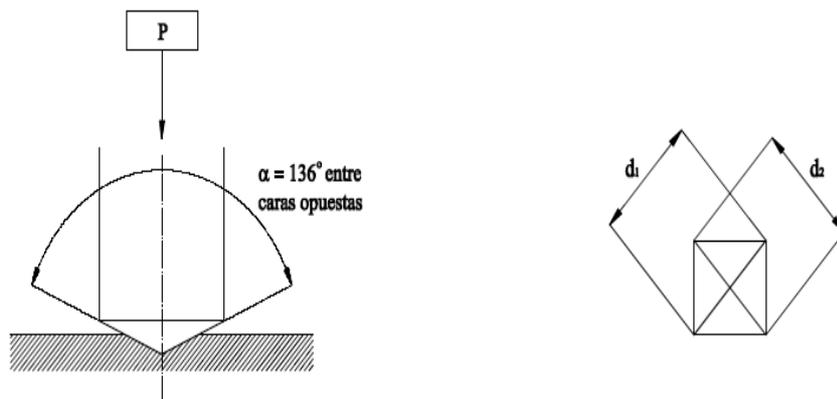


Figura 4. Ensayo Vickers (tomado del estándar ASTM E-92)

El sentido físico del número de dureza Vickers es análogo a HB. La magnitud de HV es también un esfuerzo convencional medio en la zona de contacto del indentador y suele caracterizar la resistencia del material a la deformación plástica considerable. Con base en esto:

$$HV = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \alpha/2}} = \frac{2P \sin \alpha/2}{d^2}$$

Donde d es la media aritmética de las diagonales d_1 y d_2 . Debido a que el valor del ángulo α es constante e igual a 136° , en la práctica se usa la siguiente fórmula de trabajo:

$$HV = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

El método estándar se realiza bajo las siguientes condiciones:

Indentador	Pirámide de diamante $\alpha = 136^\circ$	
Carga (P):	1	120kgf
Duración de la carga (t)	10	15 s

El número Vickers se denota como HV. Ejemplos:

440HV30

Esta notación indica una dureza Vickers de 440 bajo carga de 30kgf. Aplicada por un tiempo de 10 a 15 s.

440HV30/20

Esta notación indica una dureza Vickers de 440 bajo carga de 30kgf. Aplicada por un tiempo de 20 s.

Para la selección de la magnitud de la carga nos basamos en criterios de conveniencia, se debe recordar que el método Vickers posee semejanza geométrica interna y en un principio es indiferente la carga aplicada. Sin embargo una carga muy alta puede causar que el indentador penetre más allá de la capa superficial a la que se desee medírsele la dureza; por otra parte.

Una huella muy pequeña es difícil de medir y las imperfecciones geométricas de la pirámide influyen en la precisión del método.

Para nuestra muestra se aplicó una carga de 2 kgf, así la huella tendrá una medida adecuada y su profundidad de penetración será moderada.

2.4.1. PROCEDIMIENTO

Para obtener la dureza Vickers de la superficie de un material se presiona contra la probeta un indentador piramidal de diamante con ángulo entre sus caras $\alpha = 136^\circ$. La pirámide se mantiene algún tiempo bajo la carga P . Luego de retirada la carga se miden las dos diagonales de la huella dejada, con ayuda de un microscopio.

El valor medio de las diagonales (d) y el valor de la carga se sustituyen en la fórmula de trabajo para obtener el valor de la dureza Vickers. En las mismas condiciones se realizan varias indentaciones.

2.5. MAQUINARIA, MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDIDA.

2.5.1. Máquina: Para los ensayos Vickers se usó el Durómetro D-6700 marca Amsler, del cual se muestra su aspecto general en la figura 5. Este aparato sirve para la medición tanto de dureza Brinell como Vickers. Aplica cargas hasta de 250 kgf. Posee incorporado un microscopio de medición, el cual posee una resolución de 0,001 mm.

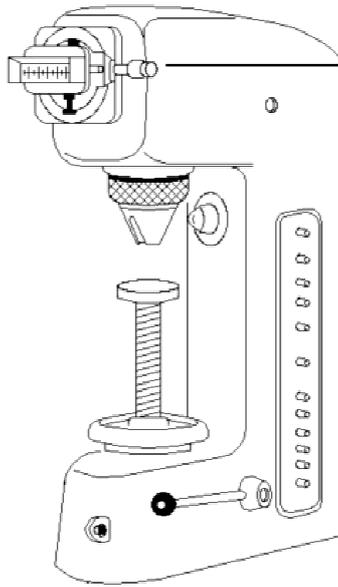


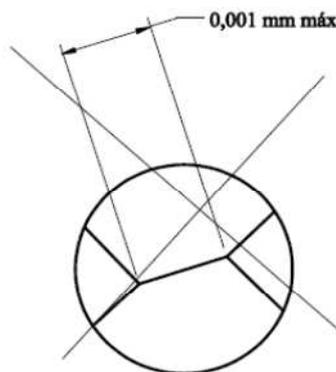
Figura 5. Aspecto general del Durómetro D-6700 marca Amsler.

El estándar ASTM E 92 presenta las siguientes exigencias a las máquinas de medición de dureza Vickers: el diseño debe ser tal que se excluya cualquier mecimiento o movimientos laterales del indentador o de la probeta durante la aplicación de la carga.

En las máquinas se usan pesos muertos para la aplicación de la carga, deben evitarse las sobrecargas al momento de la aplicación de la fuerza causadas por la inercia del sistema. Si el microscopio de medición está incorporado, éste debe conservar la huella en el campo óptico luego de la aplicación de la carga.

2.5.2. Probeta: La superficie debe ser lijada y pulida de manera que se observen con claridad los bordes de la huella en el momento de la medición con la precisión necesaria. La probeta debe ser montada de tal forma que la superficie esté en la normal del eje del indentador con una desviación máxima de $\pm 1^\circ$.

2.5.3. Indentadores: El Indentador debe ser una pirámide de base cuadrada altamente pulida y punteada. El ángulo entre sus caras debe ser de $136^\circ \pm 30'$. Las caras deben poseer la misma inclinación y coincidir en un punto, la disyunción máxima de las caras debe ser de máximo 0,001 mm. Figura 6.



*Figura 6. Disyunción de las caras de la pirámide
(Tomado de ASTM E 92).*

El estado del diamante debe ser revisado periódicamente con ayuda de una lupa.

2.5.4. Microscopio: Según el estándar el microscopio debe poseer una resolución de 0,05 mm, cifra que se puede considerar cumplida por el microscopio incorporado en la máquina WPM HP-250.

CAPÍTULO

3

"METODOLOGÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN"

3.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Para realizar la probeta, se limpió el material para así evitar la existencia de óxido o alguna impureza que pudiera afectar la soldadura. Se le realizó un cordón de soldadura, con una máquina para soldar de la marca Issa modelo BMS-4-180, a una pieza de acero inoxidable martensítico CA15 (Figura 3.1 y 3.2), sometiéndolo posteriormente a recocido isotérmico.



Figura 3.1. Máquina soldadora Issa.



Figura 3.2. Realización del cordón de soldadura.

Para el desbaste de la probeta se utilizó una pulidora marca Leco (Figura 3.3) utilizando lijas de 180, 220, 320, 500, 800, 1000, 1500, 2000 y 2400 respectivamente. Para el pulido se utilizó la misma pulidora, únicamente se cambió el disco para colocar el paño (figura 3.4).



Figura 3.3. Pulidora Marca Leco



Figura 3.4. Pulidora Marca Leco, cambio de disco para pulido.

Para la determinación de la ZAC fue necesario pulir acabado espejo una de las caras de la probeta utilizando el paño y alúmina (Al_2O_3) (Figura 3.5) y después se le aplico un ataque químico para revelar la estructura de la muestra. El agente revelador fue una solución de Cloruro Férrico ($FeCl_3$) que se le aplicó durante 10 segundos (Figura 3.6). Después de realizar el ataque químico la probeta se limpio con acido clorhídrico para evitar que quedaran impurezas en la probeta.



Figura 3.5. Acabado espejo



Figura 3.6. Ataque químico con $FeCl_3$

Los estudios de durezas fueron realizados en un durómetro marca Amsler (figura 3.7) utilizando la escala de 2 kg obteniendo así 85 lecturas con una distancia entre lecturas de 0.005 pulgadas en las áreas del material base, la ZAC y la zona con material de aporte (figura 3.8 y 3.9) para así poder tomar la medida dejada por el indentador (figura 3.10).



Figura 3.7. Durómetro de la marca Amsler

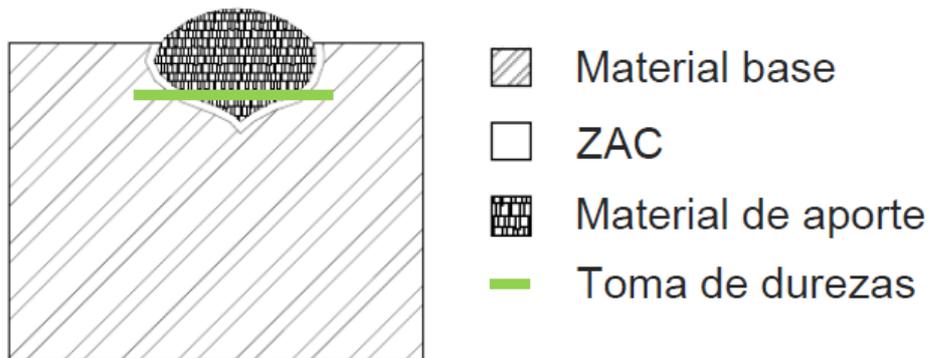


Figura 3.8. Trayectoria para la toma de durezas



Figura 3.9. Toma de durezas



Figura 3.10. Medición de huellas dejadas por el indentador

Para las fotografías se utilizó una cámara Canon modelo AE-1 Program, luz fría, tomando fotografías de en la misma región, pero con tres velocidades diferentes de exposición, siendo: Foto 1: velocidad 1/15 seg con apertura de 4 del opturador; Foto 2: Velocidad $\frac{1}{4}$ con apertura de 8 del opturador; Foto 3: Velocidad 1 con apertura de 16 del opturador. (Figura 3.11).



Figura 3.11. Cámara Canon AE-1 Program

CAPÍTULO

4

"RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN"

RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

Para la determinación de los ensayos de dureza se utilizó una probeta donde se le realizaron 85 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 cruzo la zona afectada por el calor (ZAC) y el material de aporte.

La toma de las durezas se hizo con la escala de Vickers-2 en el material base, zona afectada por el calor y material de aporte del acero CA-15 que fue soldado y tratado térmicamente con un recocido Isotérmico a 700 °C, cuyos resultados fueron los siguientes:

La tabla 4.1 muestra las lecturas medidas de las diagonales, la diagonal promedio y la dureza según la fórmula para calcular la dureza Vickers. Así como la grafica de la figura 1 del número de ensayo contra la dureza calculada.

$$HV = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Determinación de la Dureza Vickers (HV) con una carga de 2 kgf									
No.	Diagonales			Vickers (HV)	No.	Diagonales			Vickers (HV)
	D ₁	D ₂	D			D ₁	D ₂	D	
1	0.135	0.140	0.1375	198	44	0.175	0.150	0.1625	141
2	0.135	0.135	0.135	204	45	0.120	0.135	0.1275	230
3	0.140	0.130	0.135	204	46	0.135	0.120	0.1275	230
4	0.135	0.130	0.135	213	47	0.165	0.175	0.17	128
5	0.145	0.135	0.14	189	48	0.125	0.145	0.135	204
6	0.140	0.135	0.1375	198	49	0.145	0.150	0.1475	172
7	0.130	0.135	0.1325	213	50	0.150	0.145	0.1475	172
8	0.135	0.135	0.135	204	51	0.110	0.135	0.1225	249
9	0.140	0.130	0.135	204	52	0.145	0.150	0.1475	172
10	0.135	0.140	0.1375	198	53	0.125	0.150	0.1375	198
11	0.125	0.130	0.1275	230	54	0.145	0.135	0.14	189
12	0.130	0.125	0.1275	230	55	0.155	0.165	0.16	145
13	0.135	0.135	0.135	204	56	0.185	0.125	0.155	154
14	0.130	0.125	0.1275	230	57	0.145	0.145	0.145	176
15	0.130	0.135	0.1325	213	58	0.150	0.125	0.1375	198
16	0.140	0.130	0.135	204	59	0.135	0.140	0.1375	198
17	0.130	0.125	0.1275	230	60	0.180	0.145	0.1625	141
18	0.130	0.125	0.1275	230	61	0.170	0.175	0.1725	125
19	0.135	0.135	0.135	204	62	0.142	0.150	0.1475	172
20	0.130	0.120	0.125	237	63	0.130	0.160	0.145	176
21	0.130	0.135	0.1325	213	64	0.155	0.145	0.15	165
22	0.130	0.125	0.1275	230	65	0.140	0.145	0.1425	184
23	0.150	0.140	0.145	176	66	0.135	0.140	0.1375	198
24	0.130	0.135	0.1325	213	67	0.130	0.140	0.135	204
25	0.130	0.135	0.1325	213	68	0.115	0.125	0.12	258
26	0.150	0.145	0.1475	172	69	0.135	0.155	0.145	176
27	0.150	0.145	0.1475	172	70	0.120	0.145	0.1325	213
28	0.145	0.145	0.145	176	71	0.145	0.155	0.15	165
29	0.145	0.135	0.14	189	72	0.135	0.145	0.14	189
30	0.155	0.130	0.1425	184	73	0.140	0.135	0.1375	198
31	0.145	0.155	0.15	165	74	0.145	0.140	0.1425	184
32	0.130	0.130	0.130	219	75	0.145	0.140	0.1425	184
33	0.135	0.150	0.1425	184	76	0.150	0.140	0.145	176
34	0.145	0.140	0.1425	184	77	0.125	0.135	0.13	219
35	0.125	0.135	0.13	219	78	0.135	0.125	0.13	219
36	0.130	0.150	0.14	189	79	0.165	0.170	0.1675	133
37	0.145	0.145	0.145	176	80	0.145	0.135	0.14	189
38	0.135	0.140	0.1375	198	81	0.130	0.145	0.1375	198
39	0.150	0.140	0.145	176	82	0.120	0.125	0.1225	249
40	0.155	0.150	0.1525	161	83	0.130	0.140	0.135	204
41	0.145	0.145	0.145	176	84	0.125	0.135	0.13	219
42	0.150	0.155	0.1525	161	85	0.130	0.135	0.1325	213
43	0.140	0.125	0.1325	213					

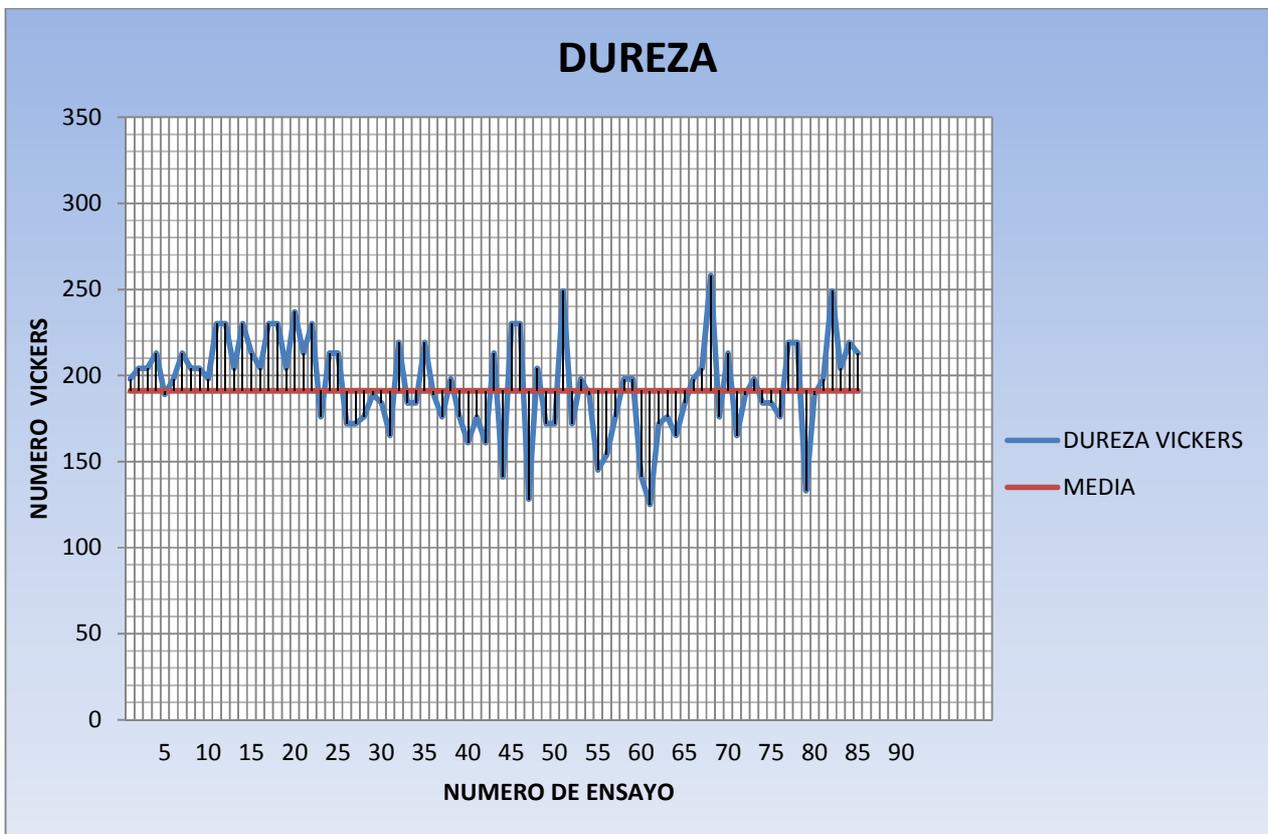


Figura 1. Grafica de dureza de la muestra soldada y tratada con Recocido Isotérmico a 700°C.

La tabla 4.2 muestra los cálculos de la varianza de cada una de las lecturas de dureza con respecto a la media, y posteriormente se presenta una gráfica 2 de la varianza del sistema.

$$\sigma^2 = \frac{(X - X_{media})}{n}$$

Determinación de la Varianza (σ^2) en las muestras de Dureza Vickers							
No.	Vickers (HV)	Media	Varianza	No.	Vickers (HV)	Media	Varianza
1	198	191	0.576	44	141	191	29.411
2	204	191	1.988	45	230	191	17.894
3	204	191	1.988	46	230	191	17.894
4	213	191	5.694	47	128	191	46.694
5	189	191	0.047	48	204	191	1.988
6	198	191	0.576	49	172	191	4.247
7	213	191	5.694	50	172	191	4.247
8	204	191	1.988	51	249	191	39.576
9	204	191	1.988	52	172	191	4.247
10	198	191	0.576	53	198	191	0.576
11	230	191	17.894	54	189	191	0.047
12	230	191	17.894	55	145	191	24.894
13	204	191	1.988	56	154	191	16.105
14	230	191	17.894	57	176	191	2.647
15	213	191	5.694	58	198	191	0.576
16	204	191	1.988	59	198	191	0.576
17	230	191	17.894	60	141	191	29.411
18	230	191	17.894	61	125	191	51.247
19	204	191	1.988	62	172	191	4.247
20	237	191	24.894	63	176	191	2.647
21	213	191	5.694	64	165	191	7.952
22	230	191	17.894	65	184	191	0.576
23	176	191	2.647	66	198	191	0.576
24	213	191	5.694	67	204	191	1.988
25	213	191	5.694	68	258	191	52.811
26	172	191	4.247	69	176	191	2.647
27	172	191	4.247	70	213	191	5.694
28	176	191	2.647	71	165	191	7.952
29	189	191	0.047	72	189	191	0.047
30	184	191	0.576	73	198	191	0.576
31	165	191	7.952	74	184	191	0.576
32	219	191	9.223	75	184	191	0.576
33	184	191	0.576	76	176	191	2.647
34	184	191	0.576	77	219	191	9.223
35	219	191	9.223	78	219	191	9.223
36	189	191	0.047	79	133	191	39.576
37	176	191	2.647	80	189	191	0.047
38	198	191	0.576	81	198	191	0.576
39	176	191	2.647	82	249	191	39.576
40	161	191	10.588	83	204	191	1.988
41	176	191	2.647	84	219	191	9.223
42	161	191	10.588	85	213	191	5.694
43	213	191	5.694				

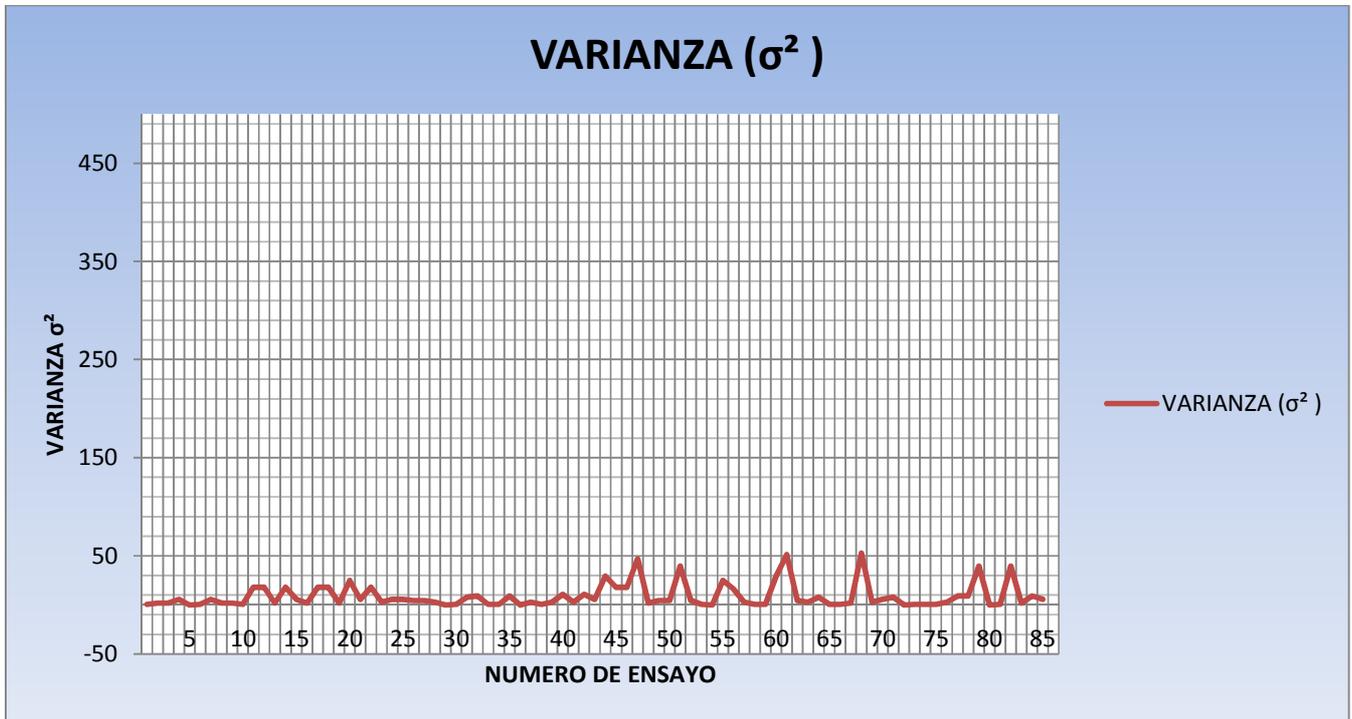


Figura 2. Grafica de la varianza de las muestras de dureza del sistema.

La tabla 4.3 muestra los cálculos de la desviación estándar de cada una de las lecturas de dureza con respecto a la media, y posteriormente se presenta una gráfica 3 de la desviación estándar del sistema.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Determinación de la Desviación Estándar (σ) en las muestras de Dureza Vickers							
No.	Vickers (HV)	Media	Desviación Estándar	No.	Vickers (HV)	Media	Desviación Estándar
1	198	191	0.758	44	141	191	5.423
2	204	191	1.409	45	230	191	4.230
3	204	191	1.409	46	230	191	4.230
4	213	191	2.386	47	128	191	6.833
5	189	191	0.216	48	204	191	1.409
6	198	191	0.759	49	172	191	2.060
7	213	191	2.386	50	172	191	2.060
8	204	191	1.409	51	249	191	6.290
9	204	191	1.409	52	172	191	2.060
10	198	191	0.758	53	198	191	0.758
11	230	191	4.230	54	189	191	0.216
12	230	191	4.230	55	145	191	4.989
13	204	191	1.409	56	154	191	4.013
14	230	191	4.230	57	176	191	1.626
15	213	191	2.386	58	198	191	0.758
16	204	191	1.409	59	198	191	0.758
17	230	191	4.230	60	141	191	5.423
18	230	191	4.230	61	125	191	7.158
19	204	191	1.409	62	172	191	2.060
20	237	191	4.989	63	176	191	1.626
21	213	191	2.386	64	165	191	2.819
22	230	191	4.230	65	184	191	0.758
23	176	191	1.626	66	198	191	0.758
24	213	191	2.386	67	204	191	1.409
25	213	191	2.386	68	258	191	7.267
26	172	191	2.060	69	176	191	1.626
27	172	191	2.060	70	213	191	2.386
28	176	191	1.626	71	165	191	2.819
29	189	191	0.216	72	189	191	0.216
30	184	191	0.758	73	198	191	0.758
31	165	191	2.819	74	184	191	0.758
32	219	191	3.036	75	184	191	0.758
33	184	191	0.758	76	176	191	1.626
34	184	191	0.758	77	219	191	3.036
35	219	191	3.036	78	219	191	3.036
36	189	191	0.216	79	133	191	6.290
37	176	191	1.626	80	189	191	0.216
38	198	191	0.758	81	198	191	0.758
39	176	191	1.626	82	249	191	6.290
40	161	191	3.253	83	204	191	1.409
41	176	191	1.626	84	219	191	3.036
42	161	191	3.253	85	213	191	2.386
43	213	191	2.386				

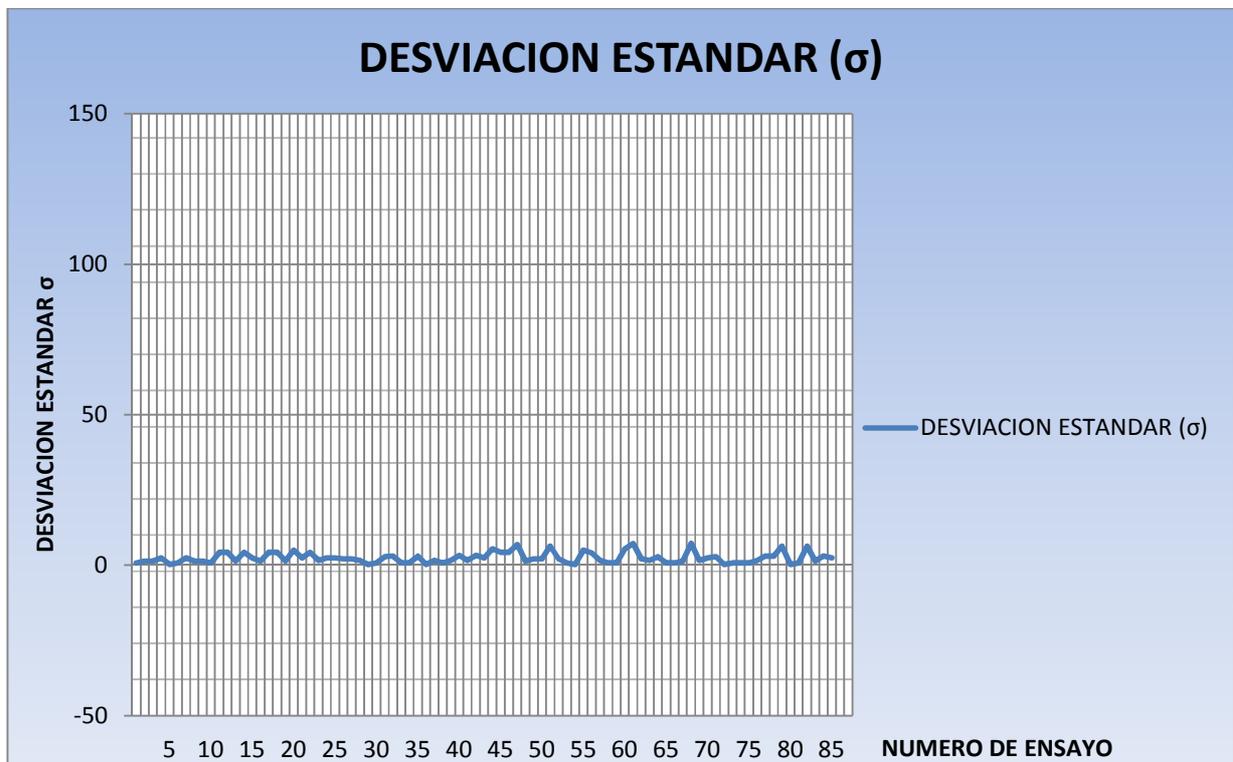


Figura 3. Grafica de la desviación estándar de las muestras del sistema

La tabla 4.4 muestra la distribución de las 85 lecturas de la toma de dureza de las zonas de la soldadura del acero CA-15, dividiéndolas en: Material base, Zona Afectada por el Calor y material de aporte.

- Las lecturas del material base son de la 1 a la 26 y de la 57 a la 85.
- Las lecturas de la ZAC fueron de la 27 a la 30 y de la 53 a la 56.
- Las lecturas del material de aporte son de la 31 a la 52.

Zonas de aplicación de la Dureza Vickers (HV) con una carga de 2 kgf							
No.	Vickers (HV)	Media	Zona	No.	Vickers (HV)	Media	Zona
1	198	191	Material base	44	141	191	Material de aporte
2	204	191	Material base	45	230	191	Material de aporte
3	204	191	Material base	46	230	191	Material de aporte
4	213	191	Material base	47	128	191	Material de aporte
5	189	191	Material base	48	204	191	Material de aporte
6	198	191	Material base	49	172	191	Material de aporte
7	213	191	Material base	50	172	191	Material de aporte
8	204	191	Material base	51	249	191	Material de aporte
9	204	191	Material base	52	172	191	Material de aporte
10	198	191	Material base	53	198	191	ZAC
11	230	191	Material base	54	189	191	ZAC
12	230	191	Material base	55	145	191	ZAC
13	204	191	Material base	56	154	191	ZAC
14	230	191	Material base	57	176	191	Material base
15	213	191	Material base	58	198	191	Material base
16	204	191	Material base	59	198	191	Material base
17	230	191	Material base	60	141	191	Material base
18	230	191	Material base	61	125	191	Material base
19	204	191	Material base	62	172	191	Material base
20	237	191	Material base	63	176	191	Material base
21	213	191	Material base	64	165	191	Material base
22	230	191	Material base	65	184	191	Material base
23	176	191	Material base	66	198	191	Material base
24	213	191	Material base	67	204	191	Material base
25	213	191	Material base	68	258	191	Material base
26	172	191	Material base	69	176	191	Material base
27	172	191	ZAC	70	213	191	Material base
28	176	191	ZAC	71	165	191	Material base
29	189	191	ZAC	72	189	191	Material base
30	184	191	ZAC	73	198	191	Material base
31	165	191	Material de aporte	74	184	191	Material base
32	219	191	Material de aporte	75	184	191	Material base
33	184	191	Material de aporte	76	176	191	Material base
34	184	191	Material de aporte	77	219	191	Material base
35	219	191	Material de aporte	78	219	191	Material base
36	189	191	Material de aporte	79	133	191	Material base
37	176	191	Material de aporte	80	189	191	Material base
38	198	191	Material de aporte	81	198	191	Material base
39	176	191	Material de aporte	82	249	191	Material base
40	161	191	Material de aporte	83	204	191	Material base
41	176	191	Material de aporte	84	219	191	Material base
42	161	191	Material de aporte	85	213	191	Material base
43	213	191	Material de aporte				

El comportamiento de la dureza de la zona afectada por el calor (ZAC), está representada en la gráfica 4, con una dureza media de 198.6HV2.

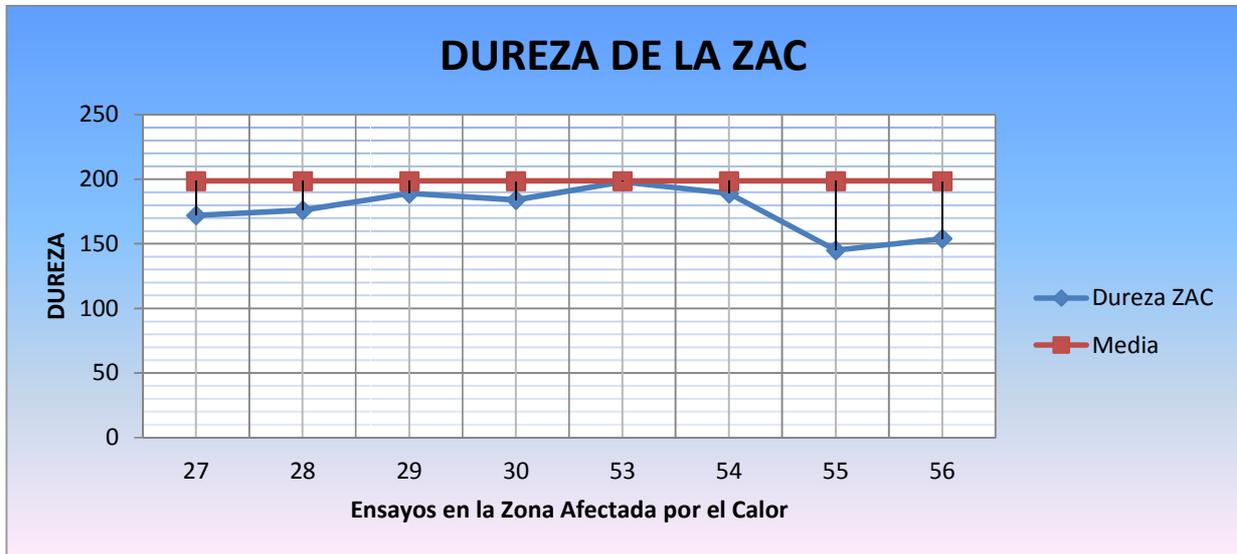


Figura 4. Resultados de durezas en la ZAC

El comportamiento de la dureza del material base, está representada en la gráfica 5, con una dureza media de 191.3HV2.

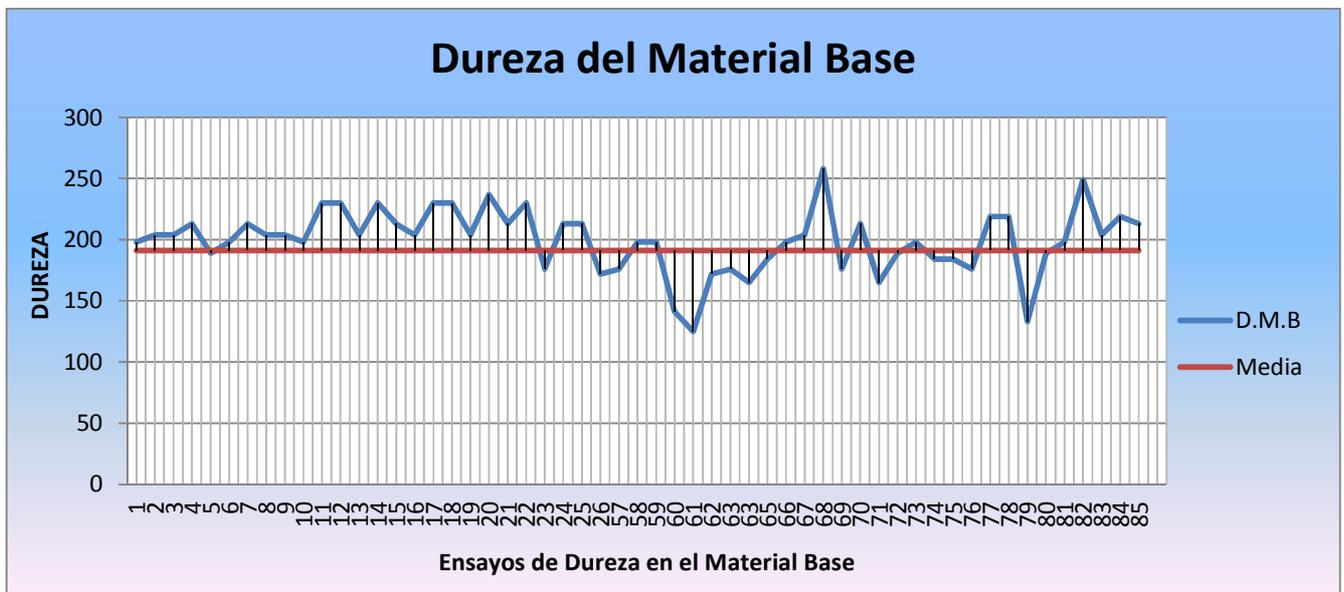


Figura 5. Resultados de durezas en material base

El comportamiento de la dureza del material de aporte, está representada en la gráfica 6, con una dureza media de 187.2HV2.

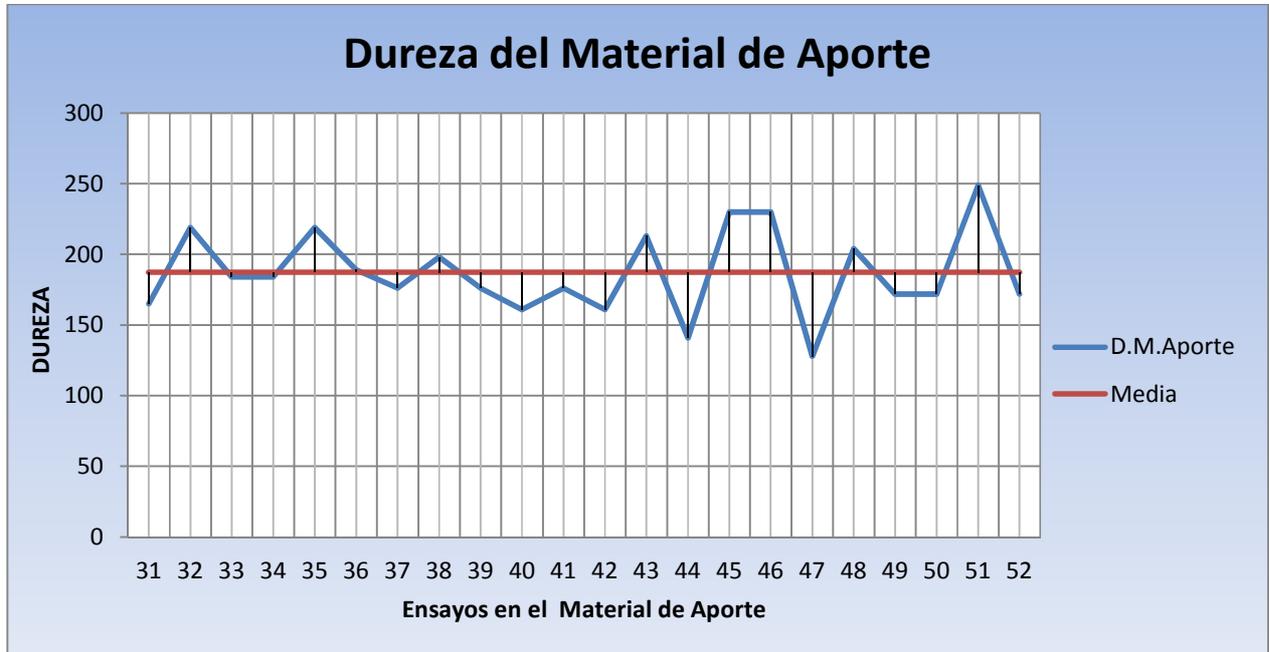


Figura 6. Resultados de durezas en zona del material de aporte

4.2 RESULTADO METALGRÁFICO.

Las observaciones al microscopio metalográfico mostraron la morfología y estructura metalúrgica del acero CA-15, en la Zona Afectada por el Calor (ZAC) después de haber sido soldado, y posteriormente fue tratado térmicamente con un recocido Isotérmico a 700 °C.

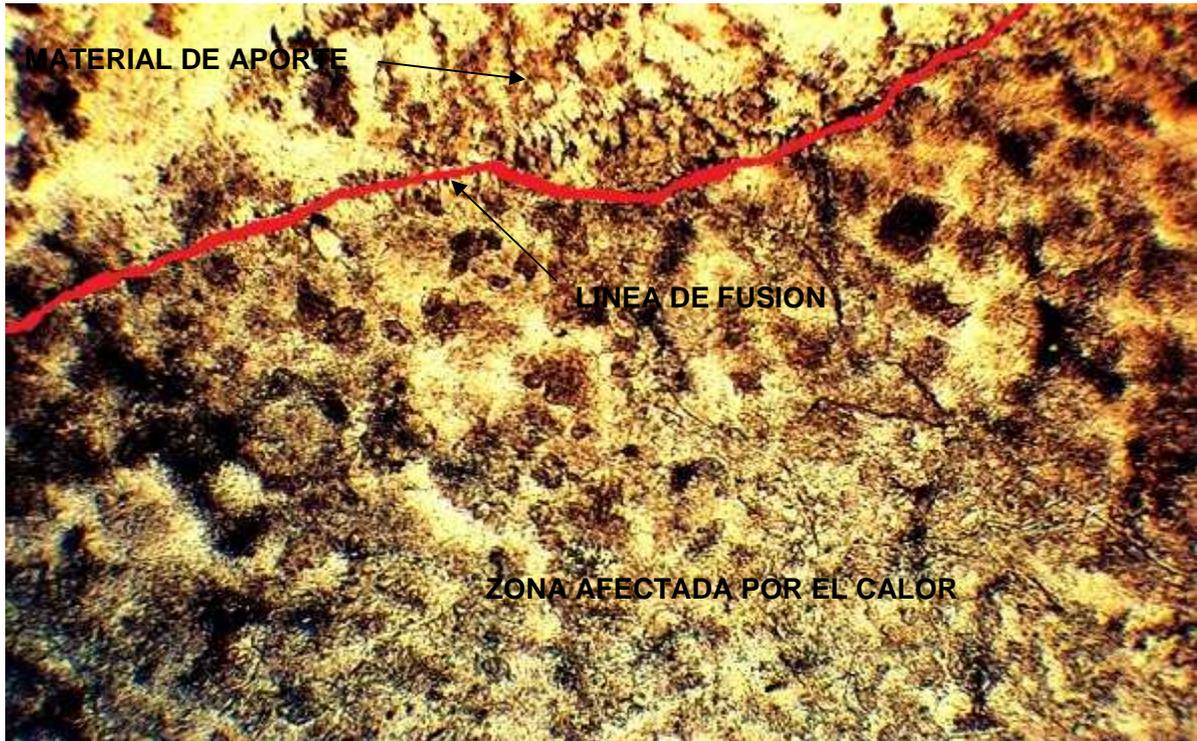
La figura 7 muestra la Zona Afectada por el Calor, línea de fusión y parte del material de aporte del CA-.15 después del tratamiento de recocido isotérmico.

En la ZAC existe la presencia de granos de Ferrita (bcc), así como pequeños granos de Perlita fina, también hay unas zonas oscuras de perlita más fina (posiblemente de Troostita o Sorbita) intergranulares, también existe una gran cantidad de carburos globulizado de diferentes tamaños en su interior, y menos abundantes y pequeños cerca de la línea de fusión; además existen pequeños granos de perlita cercanos a la línea de fusión en los bordes del grano de Ferrita. Tomada a 50X



Figura 7.- Vista general de la ZAC y material de aporte del CA-15 tratado con recocido isotérmico a 700 °C. Tomada a 50X

La figura 8 muestra el material de aporte, línea de fusión y Zona Afectada por el Calor, del acero CA-15, donde existe la presencia de granos de Ferrita, granos pequeños de Perlita y escasas zonas oscuras de perlita muy fina (posiblemente de Troostita o Sorbita) intergranulares, así como pequeños granos de Perlita fina, también existe pocos carburos pequeños globulizados cerca de la línea de fusión. Tomada a 100X.



**Figura 8.- Morfología de la estructura del acero CA-15 de la ZAC y material de aporte.
Tomada a 100X**

La figura 9 muestra la morfología de la Zona Afectada por el calor cercana a la línea de fusión del CA-15, la cual presenta una matriz de tipo ferrítica con una enorme cantidad de pequeños carburos globulizados en la matriz y una aparente presencia de granos de Perlita, además de áreas oscuras de posible presencia de Perlita muy fina (Troostita o Sorbita). Tomada a 400X.

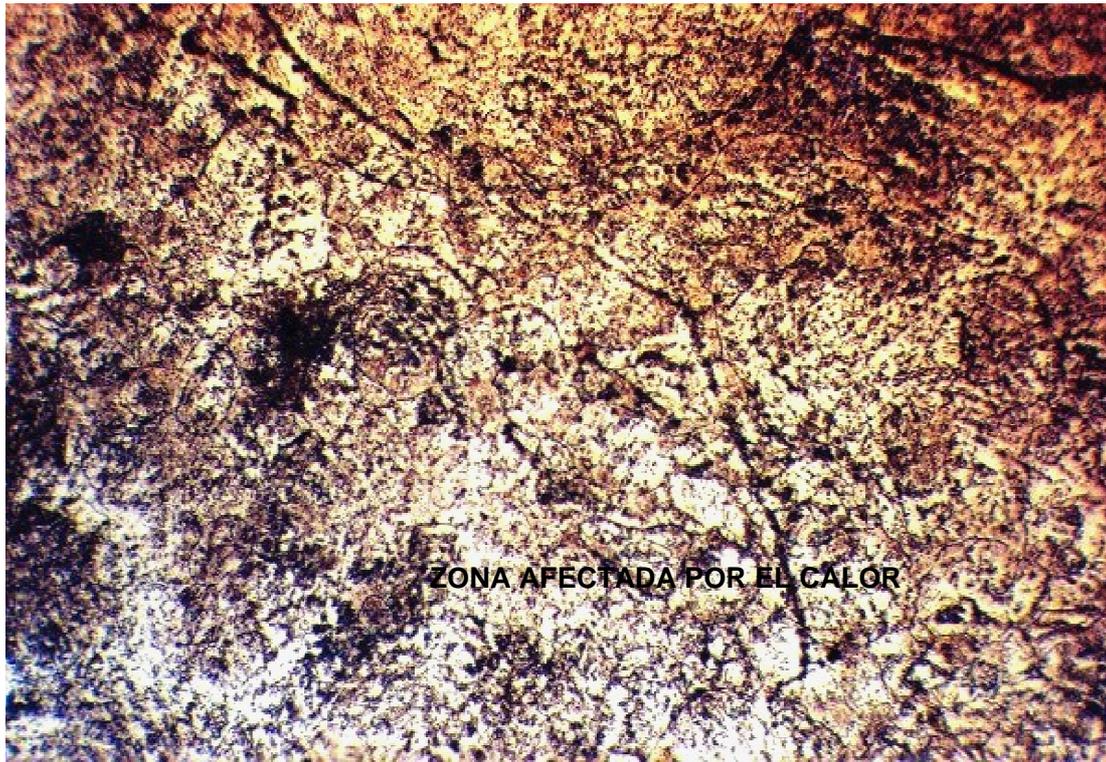


Figura 9.- Estructura del acero CA-15 en la Zona Afectada por el Calor. Tomada a 400X

La figura 10 muestra la Zona Afectada por el Calor del CA-.15 En la ZAC existe la presencia de granos de Perlita y posiblemente pequeños granos de Troostita o Sorbita y pequeños carburos globulares en una matriz de Ferrita. Hay que hacer notar que los granos de las posibles Troostitas o Sorbitas están en el interior de los granos de Ferrita. Además se puede pensar que no existen fisuras. Tomada a 600X.

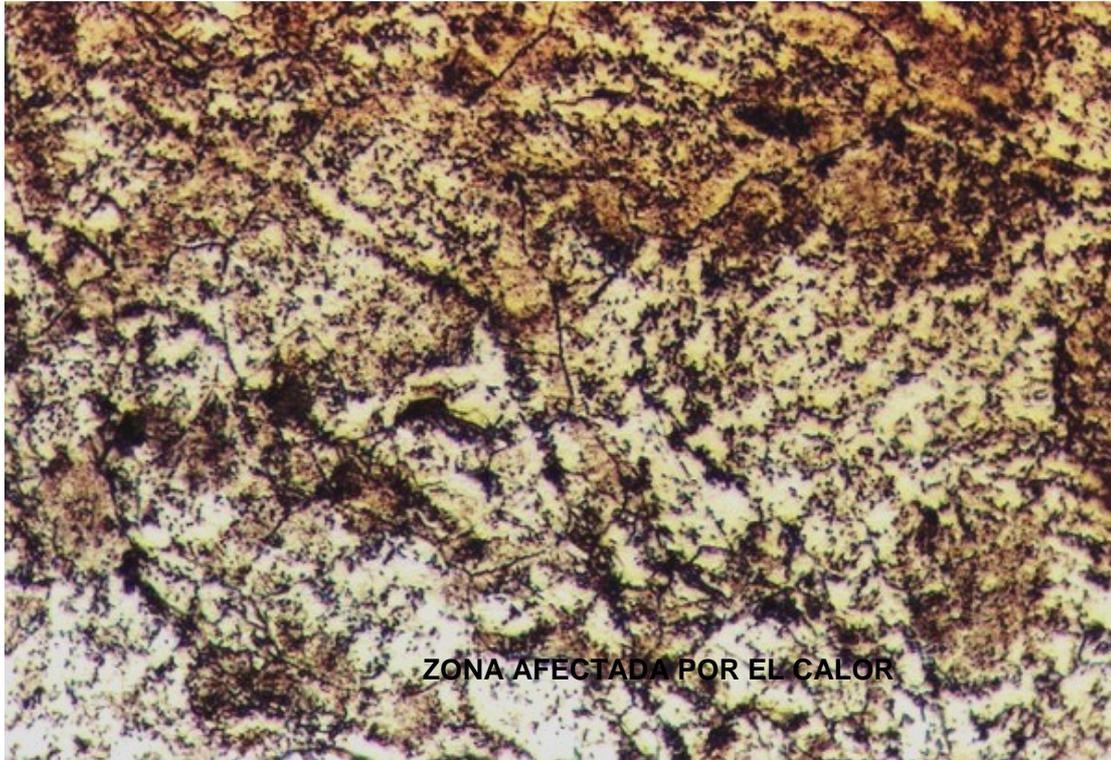


Figura 10.- Estructura del acero CA-15 en la Zona Afectada por el Calor. Tomada a 600X

La figura 11 muestra la Zona Afectada por el Calor del CA-.15 En la ZAC existe la presencia de granos de Perlita más definidos y pequeños granos de Troostita o Sorbita como manchas oscuras y pequeños carburos globulares en una matriz de Ferrita. También hay que hacer notar que los granos de las posibles Troostitas o Sorbitas están en el interior de los granos de Ferrita. Además se puede pensar que no existen fisuras. Tomada a 800X.

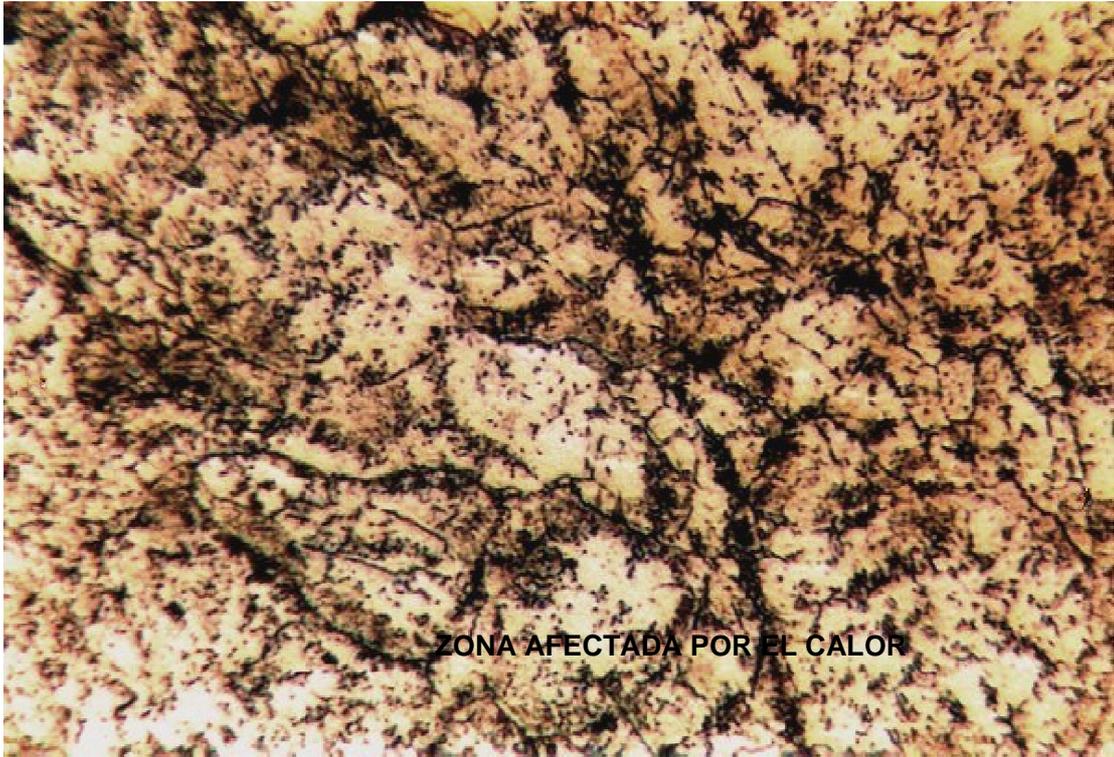


Figura 11.- Estructura del acero CA-15 en la Zona Afectada por el Calor. Tomada a 800X.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ensayo de Dureza

Los resultados de la dureza del material soldado y tratado térmicamente con un recocido isotérmico 700 °C, muestra que la dureza HV-2 en general presenta cambios que se pueden considerar como no significativos, esto quiere decir, que la dureza que se obtiene en el material base, zona afectada por el calor y material de aporte se pueden considerar como semejantes, con lo cual, se consideraría que el material tendería según la dureza a la idealidad de la soldadura, ya que se podría decir que el material en su totalidad tendría las mismas propiedades mecánicas.

Esta afirmación se puede corroborar con los resultados de las graficas de varianza y desviación estándar, así como los valores por separado de la zona afectada por el calor, metal base y material de aporte, en ellas se puede observar que sus variaciones son pequeñas.

Teniendo una diferencia entre las diagonales mayor y menor de toda la prueba hay una diferencia de 5 centésimas de milímetro. Lo que hace que las variaciones sean poco significativas. Las variaciones tomando la escala de dureza Vickers HV-2 de 2050 como punto máximo y de 10 como punto mínimo resultan ser no significativas en la diferencia de 58 unidades entre el punto de dureza máximo de 230 HV-2 y mínimo de 172 HV-2 representando el 2.8% en la escala total.

Considerando la media de 191HV-2 como el valor ideal de este ensayo las variaciones máximas de 230 en las huellas de cada muestra tienden a ser de 0.01 mm, y las variaciones mínimas de 172 en las huellas de cada muestra tienden a ser de 0.008mm.

Metalografía

Siendo el tratamiento térmico de recocido Isotérmico la base para desarrollar un procedimiento de soldadura, para el acero fundido del tipo inoxidable martensítico, y basándose en el diagrama de temperatura tiempo transformación del acero CA-15, se pudo observar en todas muestras de las metalografías tomadas a diferentes aumentos de la ZAC, que fundamentalmente es de una estructura del tipo perlítica en una matriz de ferrita, la cual presenta diferentes tipos de tamaños y forma que van desde la perlita fina hasta las perlitas extremadamente finas como son la Troostita y Sorbita que son unas clases de perlitas finas cuyas diferencias de las placas entre la ferrita y la de carburo son del orden de 0.001 mm, por esta razón es que en el microscopio metalográfico se presentan como áreas negras características de su existencia.

La presencia de carburos esféricos o globulares en gran cantidad, se puede pensar que se debe principalmente por la alta temperatura y el tiempo de tres horas de permanencia, con lo que se provoco que no se formaran los granos de perlita laminar, y por consiguiente se formaran granos de una matriz de ferrita con carburos globulizados.

CONCLUSIONES.

- 1.- El Acero CA15 después de haber sido sometido al tratamiento de recocido isotérmico se puede considerar como homogéneo en cada una de las zonas del material.
- 2.- La media de la dureza de 191HV-2 se puede considerar ideal después del tratamiento de Recocido Isotérmico para el acero CA15.
- 3.- Tomando en cuenta las variaciones máximas y mínimas en las muestras de dureza el material se comporta homogéneamente.
- 4.- La estructura que presenta la ZAC se puede considerar homogénea.
- 5.- Existen tres condiciones bien definidas que son: la ZAC, Metal Base y Material de aporte.

BIBLIOGRAFÍA.

- Manual del ingeniero Mecánico, Marks, Mc Graw Hill 9ª ed. En español 2007
- Manufactura. Ingeniería y tecnología, Kalpakjian - Schmid, Pearson prentice hall, 4ª ed. 2002.
- ASTM-E-95-92 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.
- ASTM-E-384 Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials.
- ASTM-E-3-01 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens.
- ASTM-E-340-00 Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys.
- ASTM-E-407-99 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.
- Handbook of Stainless Steel. Donald Peckner and I.M. Berstein, Mc Graw Hill, 1977.
- Metalografía y tratamiento térmico de los metales, Lajtin, MIR Editorial, 1973.
- Metalurgia Mecánica, Gonzalez, Noriega Limusa, 2003
- R. Calvo Rodes. Prontuario Metalotécnico, Tomo 1: Fundamentos. INTA, 1963.
- J. D. Verhoeven. Fundamentos de Metalurgia Física. Limusa, 1987.
- F. Kurz. Fundamentals of Solidification. Trans Tech publications, 1989.
- Engineering Materials. Prentice Hall, 1998.
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Cromo>
- <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2011/05/05/7-aceros-inoxidables/>
- <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/vickers.htm>
- http://www.instron.us/wa/applications/test_types/hardness/vickers.aspx