



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

**“CARACTERIZACIÓN DE DUREZA Y  
METALOGRAFÍA DE LA ZONA AFECTADA POR  
EL CALOR (ZAC) DE UN ACERO 410  
TEMPLADO AL AGUA.”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO  
ELECTRICISTA**

**PRESENTA:  
RODRIGO ALVAREZ OSORIO**

**ASESOR: DR. 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.



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

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

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO  
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN  
 PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ  
 Jefa del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos LA TESIS:

"Caracterización de Dureza y Metalografía de la Zona Afectada por el Calor (ZAC) de un Acero 410 Templado al Agua"

Que presenta el pasante: Rodrigo Álvarez Osorio  
 Con número de cuenta: 40703873-0 para obtener el Título de: Ingeniero Mecánico Electricista

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

ATENTAMENTE  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
 Cuautitlán Izcallí, Méx. a 21 de Septiembre de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Héctor Enrique Curiel Reyna	
VOCAL	M.I. Jesús García Lira	
SECRETARIO	Ing. Humberto Neri Mondragón	
1er SUPLENTE	Ing. Eusebio Reyes Carranza	
2do SUPLENTE	Ing. Fernando Fierro Tellez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).  
 HHA/pm

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios**, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

**A mi madre María Estela Osorio López**, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

**A mi hermano Rodolfo**, por ser el ejemplo de un hermano mayor y porque siempre he contado con él para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y amistad; a mi tía Leticia, a mi tío Pedro, a mi abuela y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

**A mis amigos**, David (soda), Carlos (McFly), Oscar Pérez, Cesar (Bapho), Arturo Olivares, Josimar, Jacky, Paola, Montserrat Sandoval, Liggia Michel, solo por mencionar algunos, por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes. Gracias por ser mis amigos y recuerden que siempre los llevare en mi corazón.

To my dearest friend **Mark Petersheim**. Thank you very much for all your lessons and tips, I will never forget you.

**A mis profesores** por confiar en mí, Juan Contreras, Felipe Diaz, Armando Morales, Eduardo Salas, Humberto Neri, Eusebio Reyes, Sinhue Moreno, entre otros. Agradezco el haber tenido unos profesores tan buenas personas como lo son ustedes. Nunca los olvidaré.

Al **Tuca Ferretti** por congratiar el termino de mis estudios en la facultad con el séptimo título de mis tan adorados pumas. “Como no te voy a querer”

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y en especial a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán que me dieron la oportunidad de formar parte de ellas.

**¡Gracias!**



## DEDICATORIAS

Primeramente, le dedico a **Dios** todo poderoso por ser mi guía espiritual que me conduce siempre hacia el camino del bien y el éxito. Y por darme la conformidad de tener a mi Abuela, Madre y Hermano con vida y mucha salud, solo él sabe lo importante que son ellos para mí. Al igual que todas esas personas que me apoyaron y confiaron en mí. Gracias Dios de darme la dicha de escribirles hoy esta dedicatoria, mis agradecimientos y tenerlos con salud y vida.

**A mi Madre y mi Hermano** por ser ellos dos mi árbol principal que me han cobijado bajo su sombra dándome así la fuerza para seguir caminando y lograr alcanzar esta meta anhelada, que hoy gracias a Dios, conjuntamente con ellos lo he logrado. Dios los bendiga, les de salud y mucha vida. Los amo para ustedes este logro y todos los que me faltan por alcanzar, este es solo el comienzo de una vida llena de éxitos para ustedes. Gracias por su persistencia y confiar en mí. El que obtener superación hoy es el resultado de tener una excelente familia y eso son ustedes. Los amo mucho.

**A Flor Nathalie Mejía Castillo** por ser un ejemplo en vida y haberse vuelto en una gran fuente de inspiración.

A la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán** en especial a la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.



## RECONOCIMIENTOS

Al **Dr. Enrique Curiel Reyna** por su apoyo, asesoría y paciencia durante este periodo.

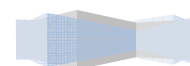
Al **M. en C. Tomás Rangel Ortiz** y al **M. en I. Noé Cortés Guerrero** por el apoyo en todo momento para concluir este trabajo.

Al **Ing. Jorge Martínez Alcalá, Ricardo López Rivero y Adolfo Martínez** por sus consejos y asesorías.

Al **Ing. Guillermo López Galván** por ser un ejemplo y gran amigo en este tiempo.



<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>DEDICATORIAS</b>	
<b>RECONOCIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>PRÓLOGO:</b> .....	<b>6</b>
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b> .....	<b>7</b>
<b>OBJETIVO</b> .....	<b>7</b>
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>7</b>
<b>CAPITULO 1, GENERALIDADES.</b> .....	<b>8</b>
<b>I.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES.</b> .....	<b>9</b>
<b>I.2 EFECTO DEL CROMO EN ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.</b> .....	<b>11</b>
<b>CAPITULO 2, INVESTIGACIÓN.</b> .....	<b>16</b>
<b>II.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.</b> .....	<b>17</b>
<b>II.2 PROCESO PARA TOMAR LA DUREZA VICKERS.</b> .....	<b>18</b>
NORMAS.....	18
CONSIDERACIONES TEÓRICAS GENERALES.....	19
PROCEDIMIENTO.....	22
MAQUINARIA, MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	22
<b>II.3 .MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO.</b> .....	<b>24</b>
<b>CAPITULO 3, DESARROLLO EXPERIMENTAL.</b> .....	<b>26</b>
<b>NTAL.III.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.</b> .....	<b>26</b>
<b>III.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.</b> .....	<b>27</b>
<b>CAPITULO 4, RESULTADOS OBTENIDOS.</b> .....	<b>33</b>
<b>IV.1 ENSAYO DE DUREZA.</b> .....	<b>34</b>
<b>IV.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE METALOGRAFIA</b> .....	<b>39</b>
<b>CAPITULO 5, DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</b> .....	<b>44</b>
<b>V.1 DUREZA</b> .....	<b>45</b>
METAL BASE .....	45
ZAC .....	46
MATERIAL DE APORTE .....	46
<b>V.2. METALOGRAFÍA</b> .....	<b>46</b>
<b>V.3. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.</b> .....	<b>47</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>48</b>
<b>CONCLUSIÓN GENERAL</b> .....	<b>48</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>49</b>



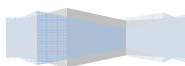
## PRÓLOGO:

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 (pasivación). 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 templeado.

Para la presente investigación se procedió con el desarrollo experimental que constó en la elaboración de una probeta de acero inoxidable martensítico 410, 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 81 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**

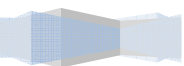
“Caracterización de dureza y metalografía de la Zona Afectada por el Calor (ZAC) de un Acero 410 templado al agua.”

## **OBJETIVO**

Determinar las fallas del acero Inoxidable 410 en su zona afectada por el calor después de su tratamiento térmico de temple para identificar las fallas por fractura.

## **HIPÓTESIS**

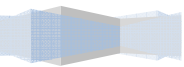
Siendo el acero 410 un acero inoxidable martensítico con alta respuesta térmica, en su zona afectada por el calor (ZAC) sufrirá variaciones en sus propiedades estructurales y de dureza.



# **CAPÍTULO**

# **1**

## **"GENERALIDADES"**



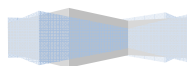
## I.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

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 templarlos 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 templarse, 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 410 que es un acero martensítico.

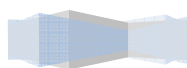


**Grupo C (ferríticos).** También conocido como Fierro inoxidable, debido a su bajo contenido de Carbono. Poseen gran ductilidad, capacidad para ser trabajados en frío o en caliente, así como excelente resistencia a la corrosión, y suelen tener un costo relativamente bajo. Estos aceros no pueden endurecerse 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.



## **I.2 EFECTO DEL CROMO EN ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.**

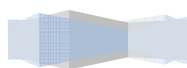
El cromo es un metal de transición duro, frágil, gris acerado y brillante. Es muy resistente frente a la corrosión.

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.

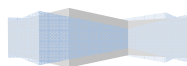
En la figura 1.1, en la zona del diagrama que corresponde al estado sólido se pueden observar tres regiones.

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.

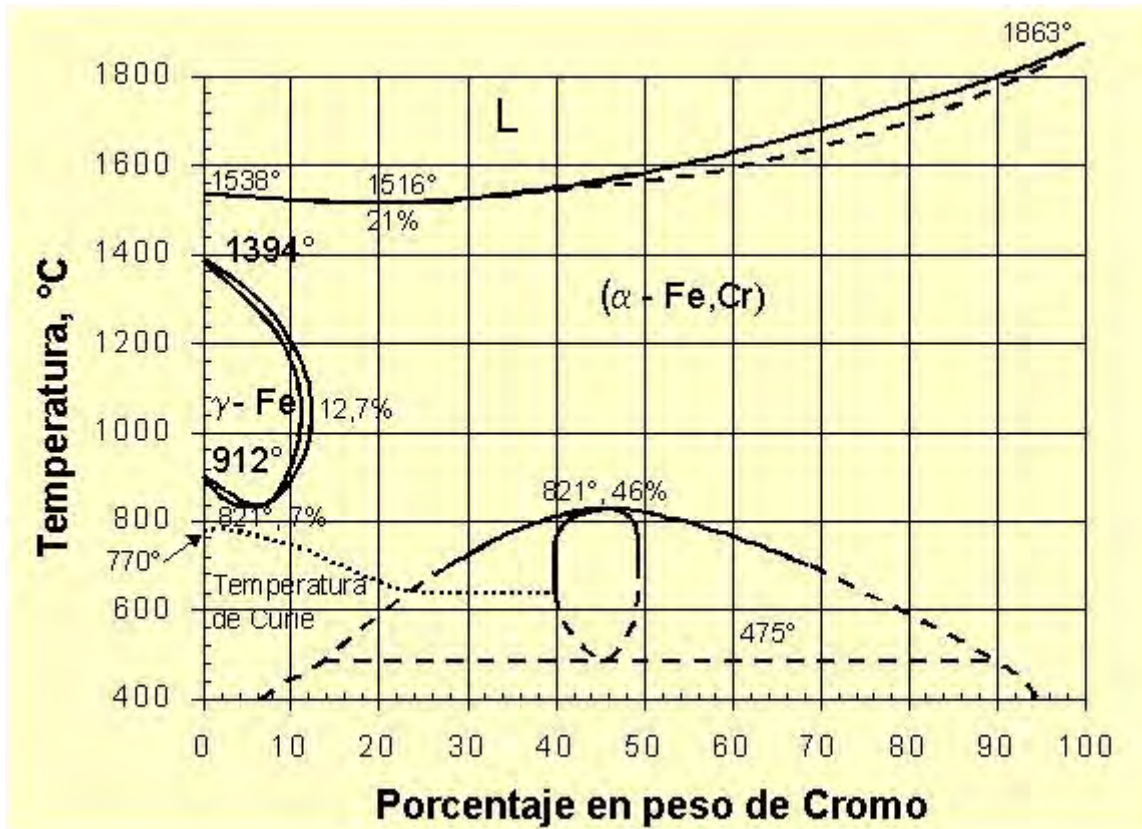
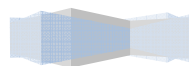


Figura 1.1 - Diagrama de equilibrio de aleaciones Fe-Cr

En el diagrama anterior se pueden identificar dos categorías de aceros inoxidables, martensíticos y ferríticos.

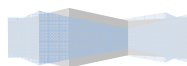
En los aceros inoxidables martensíticos sus características son similares a las de las aleaciones Fe-Cr que contienen menos de 12% de Cromo. Estos aceros solidifican como ferrita delta, aunque se transforman completamente en Austenita durante el enfriamiento. Cuando el enfriamiento es suficientemente 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.





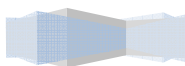
Los aceros inoxidable martensíticos se emplean normalmente en condiciones de temple y revenido, lo que les otorga una máxima resistencia y ductilidad o bien se proveen en estado de recocido.

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.

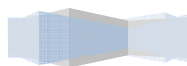
Son el Cromo y el Carbono quienes provocan una gran dureza cuando estos aceros martensíticos se enfrían rápidamente después de algún proceso de soldadura o una excesiva entrada y salida de energía calorífica sobre el material, por lo que tendrá que tenerse cuidado en las zonas que sean afectadas por 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.



# **CAPÍTULO**

# **2**

# **"INVESTIGACION"**



## II.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

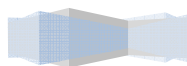
Para la presente investigación se procedió con el desarrollo experimental que constó en la elaboración de una probeta de acero inoxidable martensítico 410, a la cual se le realizó un cordón de soldadura con material de aporte de electrodo revestido compuesto de la misma aleación según la AWS. Fue cortada 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 81 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 micro-indentación de materiales metálicos ASTM-407-99.

## **II.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.

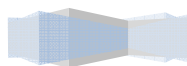
### **NORMAS**

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

ISO 6507 – 1, 2, 3 – macro y micro rangos



## 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 2.1a) 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 2.1b), 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 2.1a. Indentador piramidal Vickers

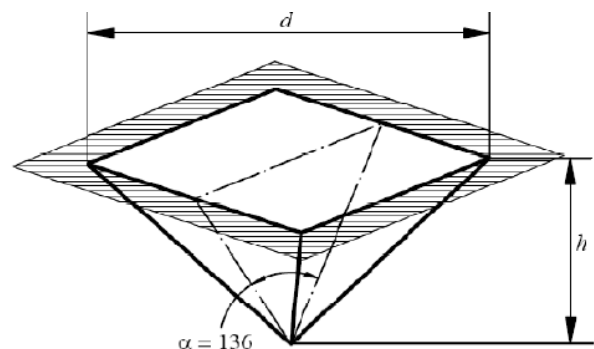


Figura 1b. Huella piramidal de dureza Vickers

RODRIGO ALVAREZ OSORIO



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 2.2

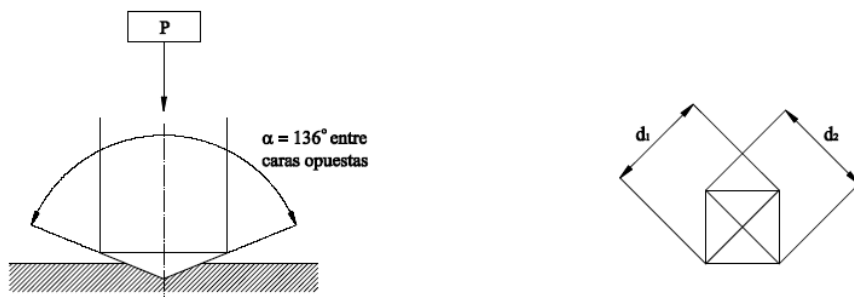
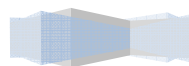


Figura 2.2. Ensayo Vickers (tomado del estándar ASTM E-92)

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  $\alpha$  es constante e igual a  $136^\circ$ , 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

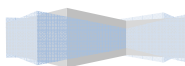
El número Vickers se denota como HV. Ejemplos:

**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.



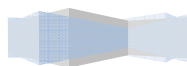
Para la selección de la magnitud de la carga nos basamos en criterios de conveniencia, se debe recordar que el método Vickers posee semejanza geométrica interna y en un principio es indiferente la carga aplicada. Sin embargo una carga muy alta puede causar que el indentador penetre más allá de la capa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

## PROCEDIMIENTO

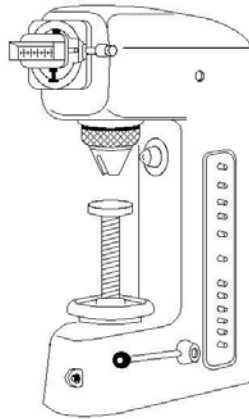
Para obtener la dureza Vickers de la superficie de un material se presiona contra la probeta un indentador piramidal de diamante con ángulo entre sus caras  $\alpha = 136^\circ$ . La pirámide se mantiene algún tiempo bajo la carga  $P$ . Luego de retirada la carga se miden las dos diagonales de la huella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

## MAQUINARIA, MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDIDA.

**Máquina:** Para los ensayos Vickers se usó el Durómetro D-6700 marca Amsler, del cual se muestra su aspecto general en la figura 2.3. 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.





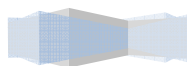


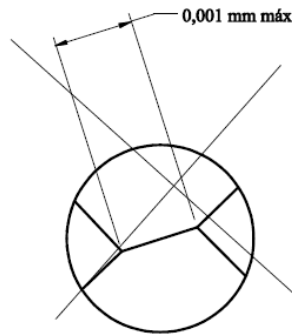
*Figura 2.3. Aspecto general del Durómetro D-6700 marca Amsler*

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.

**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  $\pm 1^\circ$ .

**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 2.4.





*Figura 2.4. Disyunción de las caras de la pirámide  
(Tomado de ASTM E 92)*

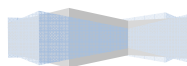
El estado del diamante debe ser revisado periódicamente con ayuda de una lupa.

**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.

### II.3 .MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

El Microscopio Electrónico de Barrido (scanning electron microscope, SEM) es un instrumento que produce una imagen ampliada en gran medida por el uso de electrones en lugar de luz para formar una imagen. Está constituido principalmente por un cañón electrónico, una lente condensadora y una lente objetiva. Figura 2.5.

La lente objetiva cuenta con dos pares de bobinas electromagnéticas que permiten mover el haz electrónico de un lado a otro y de arriba hacia abajo, este movimiento permite barrer toda la superficie de la muestra, de aquí el nombre de la técnica.





Ameba a MEB

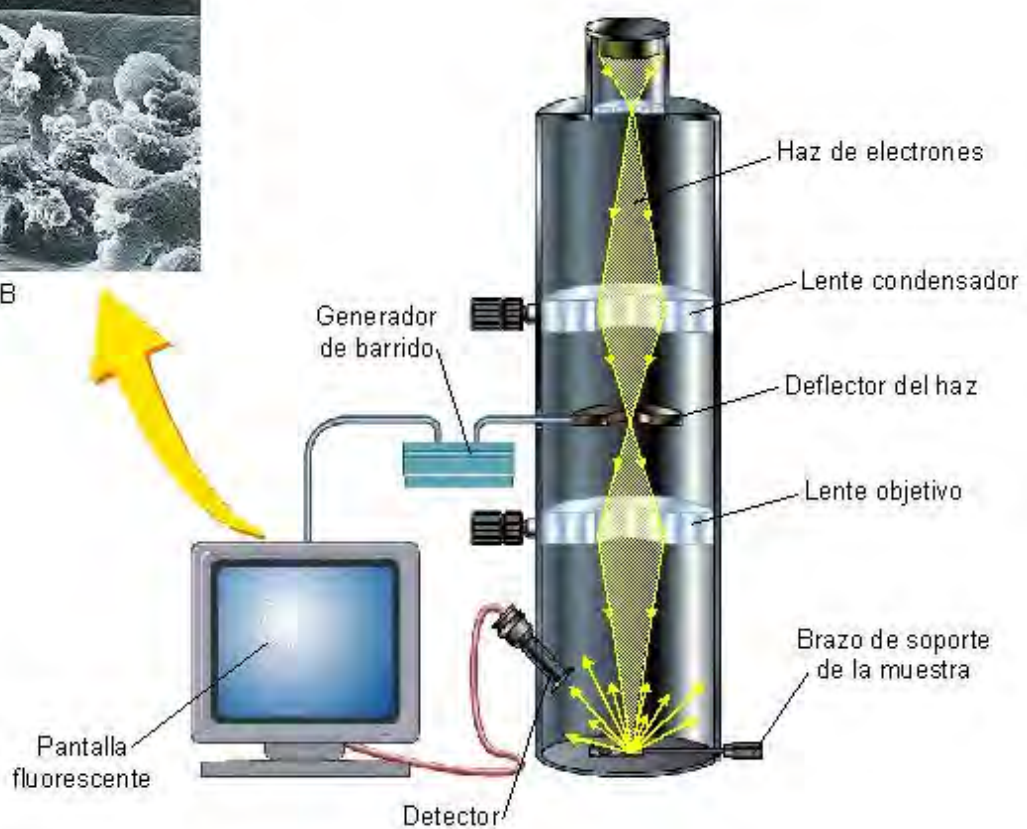
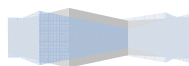


Figura 2.5. Constitución del MEB

En particular este microscopio cuenta con un detector de electrones retrodispersos. En ambos casos las imágenes son generadas por un programa de computadora. Los electrones secundarios son producidos por choques de electrones incidentes y la banda de conducción de átomos de la muestra.

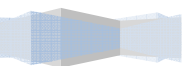
Los electrones retrodispersados son electrones del haz incidentes que son dispersados fuera de la muestra, son electrones de alta energía, por lo que pueden ser utilizados para distinguir elementos ligeros de pesados.



# **CAPÍTULO**

# **3**

# **"DESARROLLO EXPERIMENTAL"**



### III.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

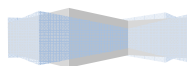
Para realizar la probeta, se limpió el material para así evitar la existencia de óxido o alguna impureza que pudiera afectar la soldadura. Se le realizó un cordón de soldadura, con una máquina para soldar de la marca Issa modelo BMS-4-180, a una pieza de acero inoxidable martensítico 410 (Figura 3.1 y 3.2), sometiéndolo posteriormente a temple por agua.



Figura 3.1. Máquina soldadora Issa



Figura 3.2. Realización del cordón de soldadura



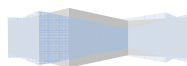
Para el desbaste de la probeta se utilizó una pulidora marca Leco (Figura 3.3) utilizando lijas de 800, 1000, 1500, 2000 y 2400 respectivamente. Para el pulido se utilizó la pulidora de la marca STRUERS (Figura 3.4).



*Figura 3.3. Pulidora Marca Leco*



*Figura 3.4. Pulidora Marca Struers*



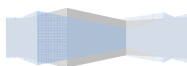
Para la determinación de la ZAC fue necesario pulir acabado espejo una de las caras de la probeta (Figura 3.5) y después se le aplico un ataque químico para revelar la estructura de la muestra. El agente revelador fue una solución de Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) que se le aplicó durante 20 segundos (Figura 3.6).



*Figura 3.5. Acabado espejo*



*Figura 3.6. Ataque químico con  $\text{FeCl}_3$*



Los estudios de durezas fueron realizados en un durómetro marca Amsler (figura 3.7) utilizando la escala de 2 kg obteniendo así 81 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

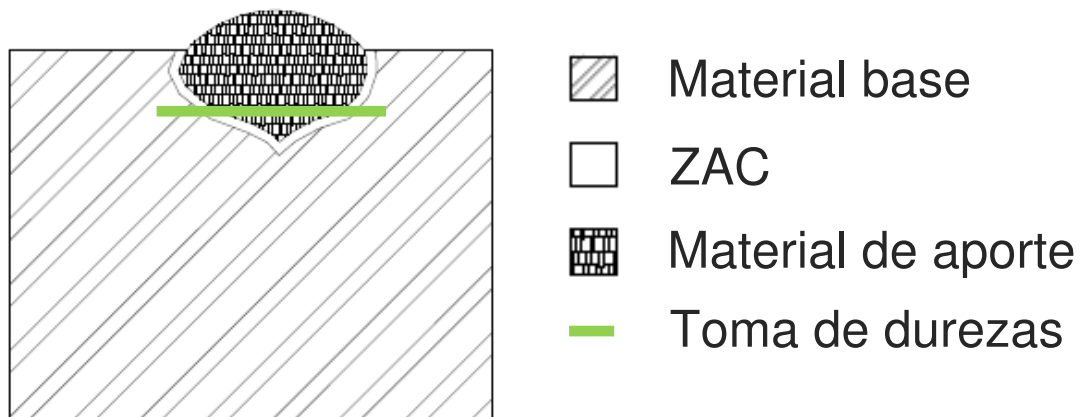


Figura 3.8. Trayectoria para la toma de durezas

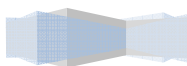




*Figura 3.9. Toma de durezas*



*Figura 3.10. Medición de huellas dejadas por el indentador*

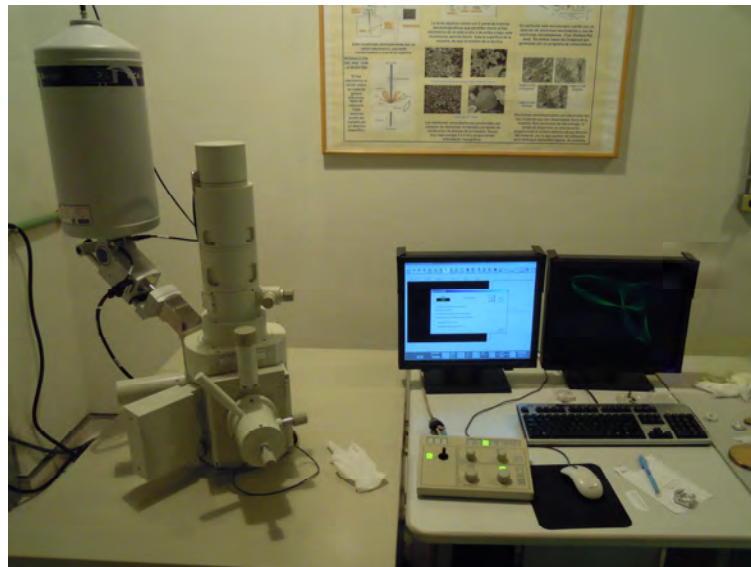


Para las fotografías se utilizó una cámara Canon modelo AE-1 Program, luz fría, tomando fotografías de en la misma región, pero con tres velocidades diferentes de exposición, siendo: Foto 1: velocidad 1/15 seg con apertura de 4 del opturador; Foto 2: Velocidad  $\frac{1}{4}$  con apertura de 8 del opturador;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



*Figura 3.11. Cámara Canon AE-1 Program*

Para las fotografías tomadas por medio de la microscopia de barrido electrónico se empleo el microscopio modelo JOEL (SEM) / Oxford (EDX). Figura 3.12.

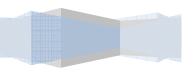


*Figura 3.12. JOEL (SEM) / Oxford (EDX)*

# **CAPÍTULO**

# **4**

## **"RESULTADOS OBTENIDOS"**



## IV.1 ENSAYO DE DUREZA

Para la determinación de los ensayos de dureza se utilizó una probeta con las dimensiones antes citadas y se le realizaron 81 ensayos de dureza con una separación de 0.005 pulgadas, iniciando y finalizando desde el material base, pero procurando que cruzara por la zona afectada por el calor (ZAC) y la zona del material de aporte.

La Figura 4.1 muestra 34 lecturas del ensayo de dureza, desde la Zona del material de aporte (lado derecho) hasta el material base (lado izquierdo). Se puede apreciar como varía el tamaño de las huellas dejadas por el indentador, siendo la parte de la zona de fusión la que tiene las huellas más pequeñas y las huellas más grandes corresponden al material base.

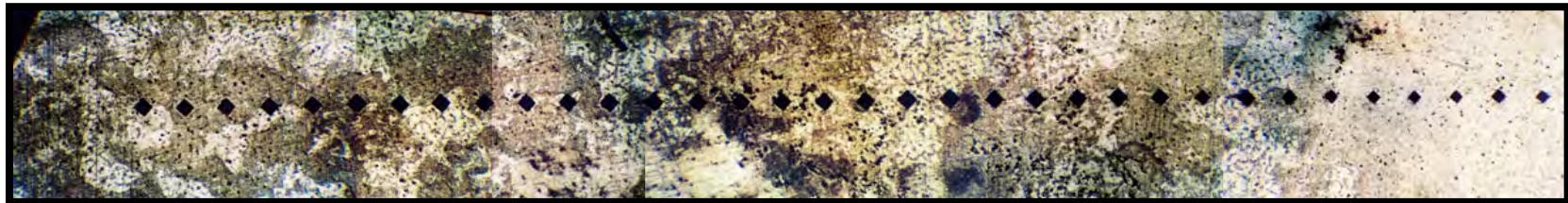


Figura 4.1. Ensayos de dureza a 100X

La zona afectada por el calor (ZAC), comprendida por las lecturas número 25 a la 28 y de la 51 a la 54, obtuvo una dureza media de 235HV2. Figura 4.2.

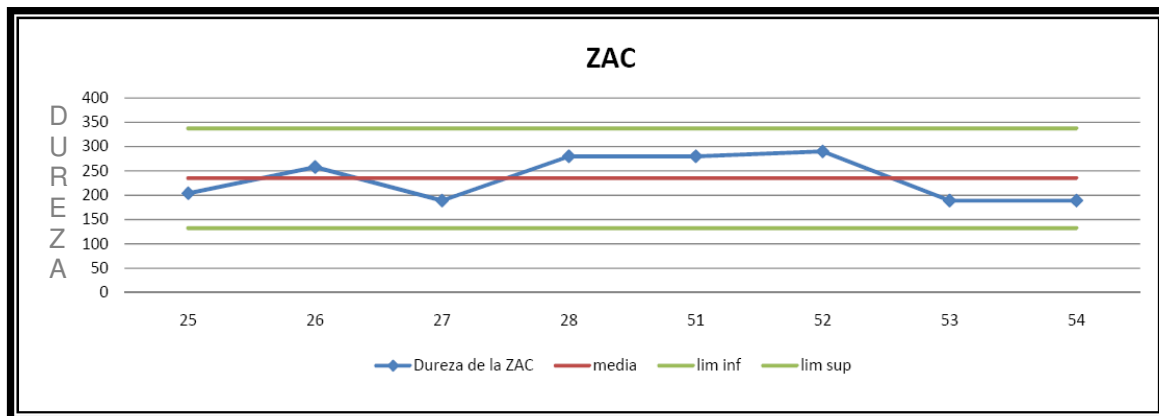
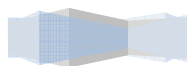


Figura 4.2. Resultados de durezas en la ZAC



La zona del material base, comprendida por las lecturas número 1 a la 24 y de la 55 a la 81, obtuvo una dureza media de 178HV2. Figura 4.3.

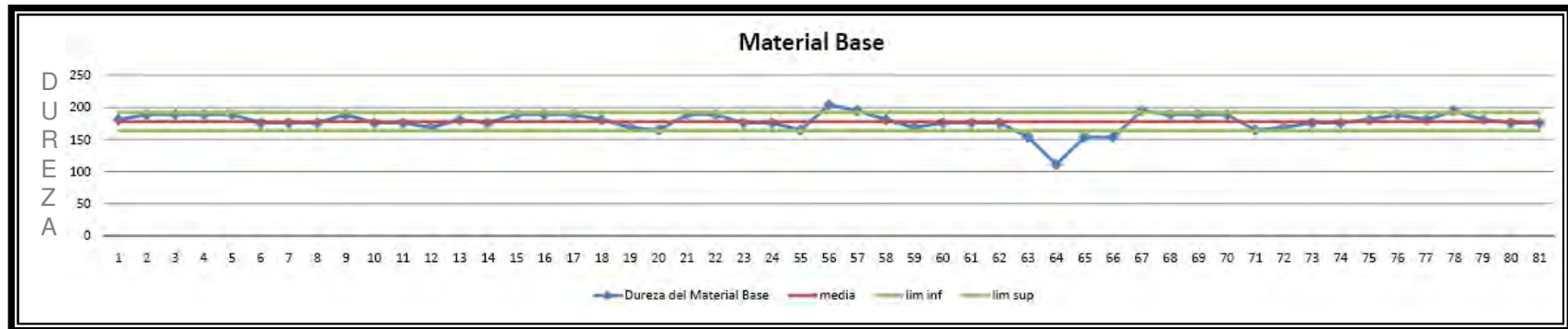


Figura 4.3. Resultados de durezas en material base

La zona del material de aporte, comprendida por las lecturas Número 29 a la 50, obtuvo una dureza media de 325HV2. Figura 4.4.

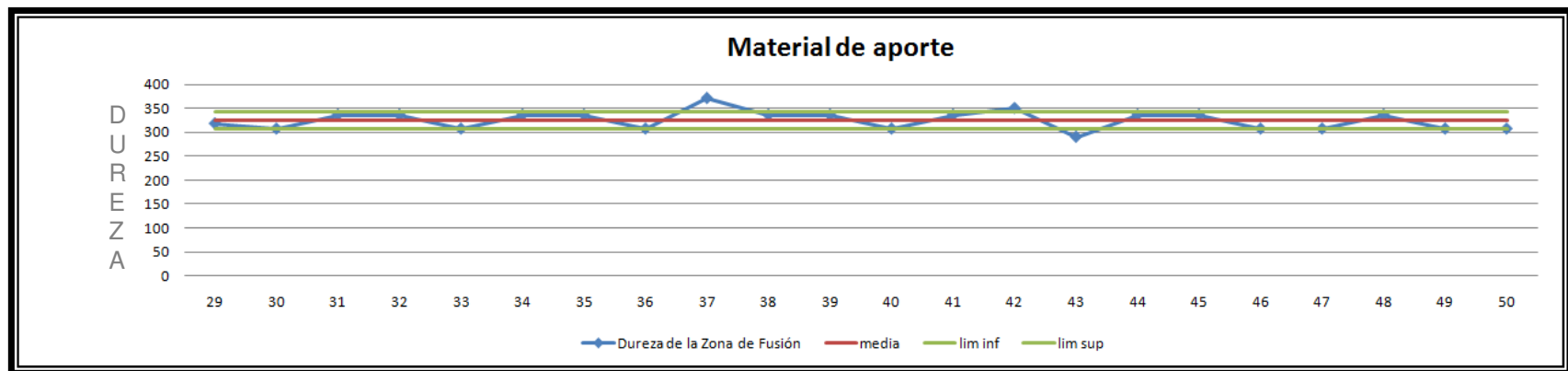
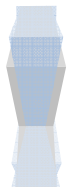


Figura 4.4. Resultados de durezas en zona del material de aporte



La tabla de la figura 4.5 muestra los datos obtenidos de los ensayos realizados.

Determinación de la Dureza Vickers (HV) con una carga de 2 kgf											
Item	Diagonales			Vickers HV	zona	Item	Diagonales			Vickers HV	zona
	D1	D2	D				D1	D2	D		
1	0.140	0.145	0.143	181	Material Base	42	0.100	0.105	0.103	350	Material de aporte
2	0.140	0.140	0.140	189	Material Base	43	0.110	0.115	0.113	290	Material de aporte
3	0.140	0.140	0.140	189	Material Base	44	0.105	0.105	0.105	336	Material de aporte
4	0.140	0.140	0.140	189	Material Base	45	0.105	0.105	0.105	336	Material de aporte
5	0.140	0.140	0.140	189	Material Base	46	0.110	0.110	0.110	307	Material de aporte
6	0.145	0.145	0.145	176	Material Base	47	0.110	0.110	0.110	307	Material de aporte
7	0.145	0.145	0.145	176	Material Base	48	0.105	0.105	0.105	336	Material de aporte
8	0.145	0.145	0.145	176	Material Base	49	0.110	0.110	0.110	307	Material de aporte
9	0.140	0.140	0.140	189	Material Base	50	0.110	0.110	0.110	307	Material de aporte
10	0.145	0.145	0.145	176	Material Base	51	0.115	0.115	0.115	280	ZAC
11	0.145	0.145	0.145	176	Material Base	52	0.115	0.110	0.113	290	ZAC
12	0.150	0.145	0.148	169	Material Base	53	0.140	0.140	0.140	189	ZAC
13	0.140	0.145	0.143	181	Material Base	54	0.140	0.140	0.140	189	ZAC
14	0.145	0.145	0.145	176	Material Base	55	0.150	0.150	0.150	165	Material Base
15	0.140	0.140	0.140	189	Material Base	56	0.135	0.135	0.135	204	Material Base
16	0.140	0.140	0.140	189	Material Base	57	0.135	0.140	0.138	195	Material Base
17	0.140	0.140	0.140	189	Material Base	58	0.140	0.145	0.143	181	Material Base
18	0.145	0.140	0.143	181	Material Base	59	0.150	0.145	0.148	169	Material Base
19	0.150	0.145	0.148	169	Material Base	60	0.145	0.145	0.145	176	Material Base
20	0.150	0.150	0.150	165	Material Base	61	0.145	0.145	0.145	176	Material Base
21	0.140	0.140	0.140	189	Material Base	62	0.145	0.145	0.145	176	Material Base
22	0.140	0.140	0.140	189	Material Base	63	0.150	0.160	0.155	154	Material Base
23	0.145	0.145	0.145	176	Material Base	64	0.180	0.185	0.183	111	Material Base
24	0.145	0.145	0.145	176	Material Base	65	0.150	0.160	0.155	154	Material Base
25	0.135	0.135	0.135	204	ZAC	66	0.160	0.150	0.155	154	Material Base
26	0.120	0.120	0.120	258	ZAC	67	0.135	0.140	0.138	195	Material Base
27	0.140	0.140	0.140	189	ZAC	68	0.140	0.140	0.140	189	Material Base
28	0.115	0.115	0.115	280	ZAC	69	0.140	0.140	0.140	189	Material Base
29	0.110	0.105	0.108	318	Material de aporte	70	0.140	0.140	0.140	189	Material Base
30	0.110	0.110	0.110	307	Material de aporte	71	0.150	0.150	0.150	165	Material Base
31	0.105	0.105	0.105	336	Material de aporte	72	0.150	0.145	0.148	169	Material Base
32	0.105	0.105	0.105	336	Material de aporte	73	0.145	0.145	0.145	176	Material Base
33	0.110	0.110	0.110	307	Material de aporte	74	0.145	0.145	0.145	176	Material Base
34	0.105	0.105	0.105	336	Material de aporte	75	0.140	0.145	0.143	181	Material Base
35	0.105	0.105	0.105	336	Material de aporte	76	0.140	0.140	0.140	189	Material Base
36	0.110	0.110	0.110	307	Material de aporte	77	0.140	0.145	0.143	181	Material Base
37	0.100	0.100	0.100	371	Material de aporte	78	0.135	0.140	0.138	195	Material Base
38	0.105	0.105	0.105	336	Material de aporte	79	0.140	0.145	0.143	181	Material Base
39	0.105	0.105	0.105	336	Material de aporte	80	0.145	0.145	0.145	176	Material Base
40	0.110	0.110	0.110	307	Material de aporte	81	0.145	0.145	0.145	176	Material Base
41	0.105	0.105	0.105	336	Material de aporte						

Figura 4.5. Resultados de los ensayos de dureza a la probeta de Acero Inoxidable 410.

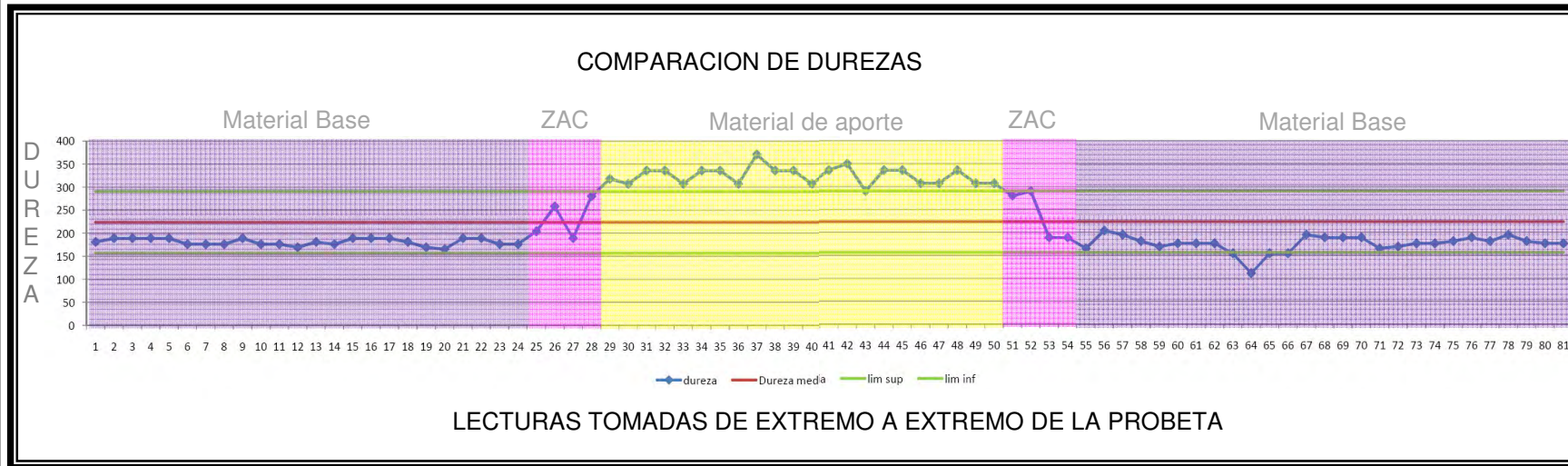
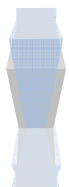


Figura 4.6. Resultados de durezas

La gráfica de la figura 4.6 muestra el comportamiento de la dureza de la probeta en todas las zonas, donde el área de color morado muestra el comportamiento de las durezas en el material base, la parte rosada identifica a la Zona Afectada por el Calor (ZAC) y la parte amarilla el Material de aporte.





## IV.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE METALOGRAFIA

A la izquierda de la figura 4.7 se muestra la zona del material de aporte, seguida al centro por la ZAC en tonos más oscuros, mientras que del lado derecho se encuentra el material base que presenta Martensita revenida con pequeñas incrustaciones de Sulfuro de Manganeso.

Ambas zonas, tanto ZAC como material base, cuentan con una estructura de Martensita revenida.

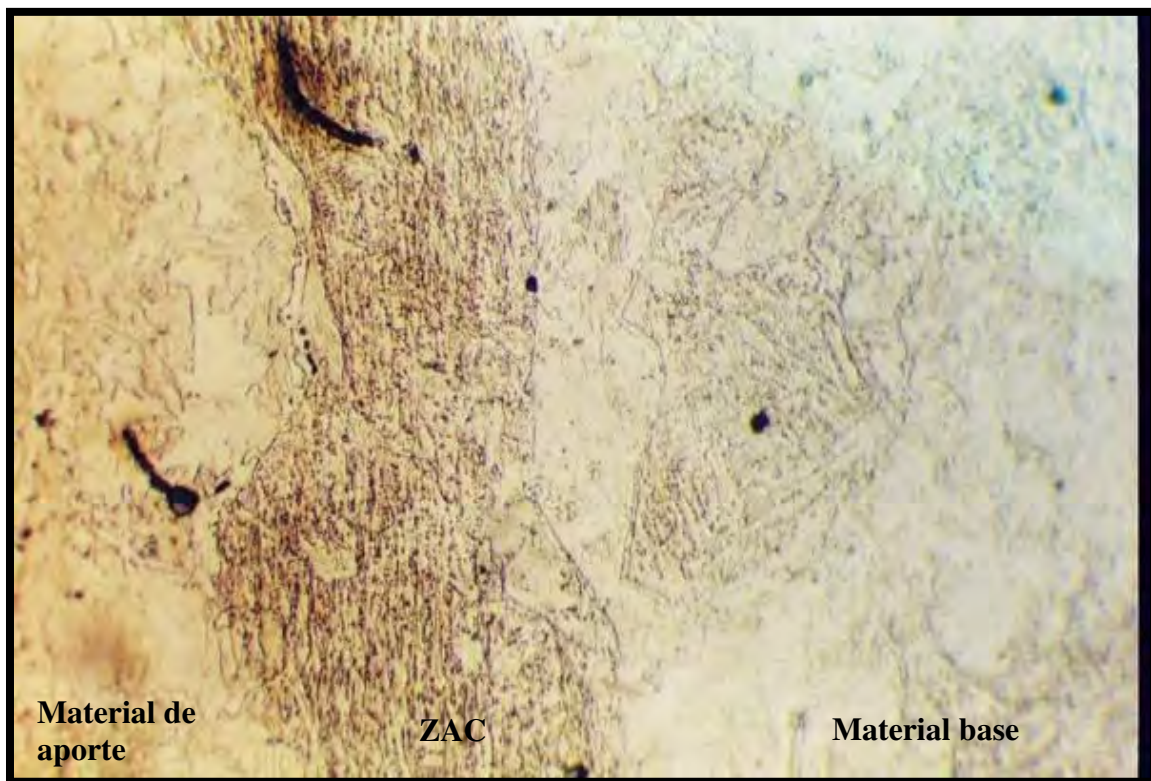
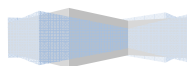
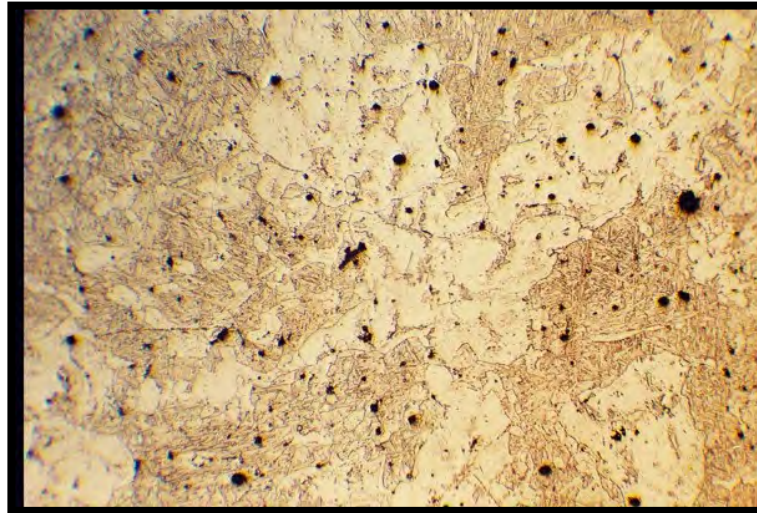


Figura 4.7. 200X- Material de aporte – ZAC – Material Base

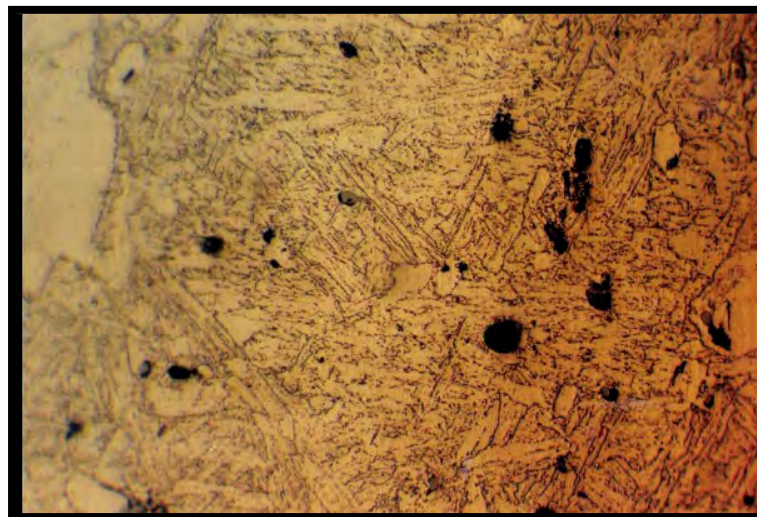


La Figura 4.8 muestra una estructura martensítica revenida del material base con una gran cantidad de carburos de Cromo de forma esférica así como inclusiones de sulfuro de manganeso.

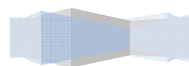


*Figura 4.8. 400X- Material base – ZAC – Material Base*

La figura 4.9 muestra una estructura martensítica en la ZAC con las características similares a la imagen anterior, pero mostrando que la Martensita es más fina que la del material base.

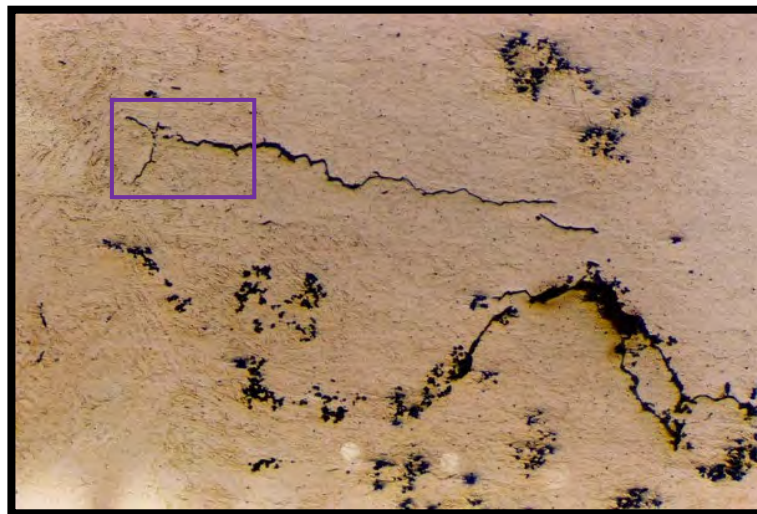


*Figura 4.9. 800X- Material base – ZAC – Material Base*

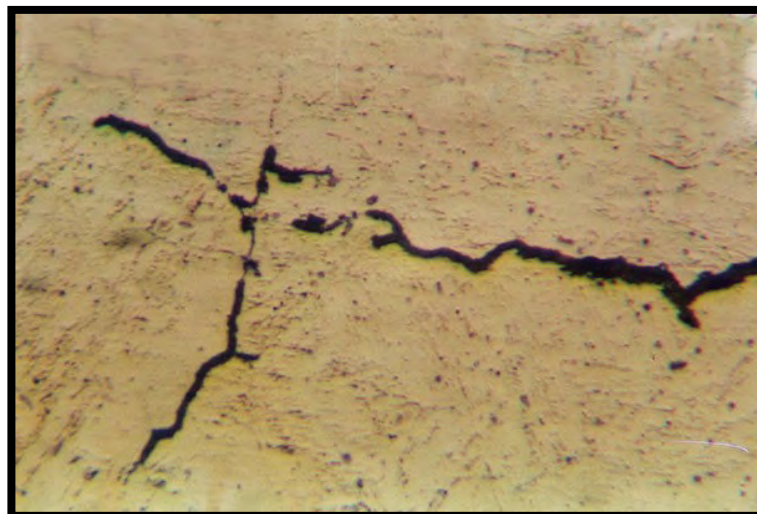


En el lado izquierdo de la figura 4.10a se muestra una fisura que parte de la línea de fusión hacia el material base. Las fisuras se presentan como un estrellamiento del metal; esto quiere decir que existe una gran cantidad de fisuras.

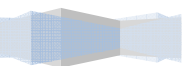
En la figura 4.10b se muestra una ampliación de la zona delimitada en color morado de la figura 4.10a, donde se puede observar que las grietas están interconectadas por fisuras entre sí y no son continuas.



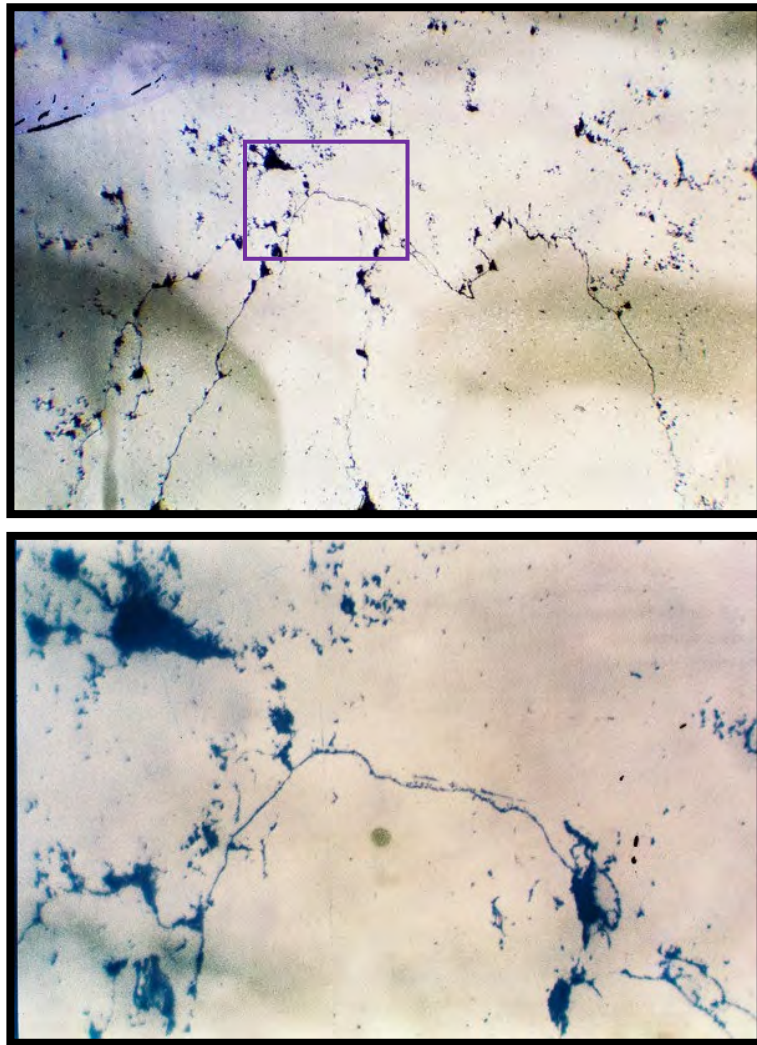
*Figura 4.10a. 400X- Material base – ZAC – Material Base*



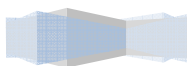
*Figura 4.10b. 800X- Material base – ZAC – Material Base*

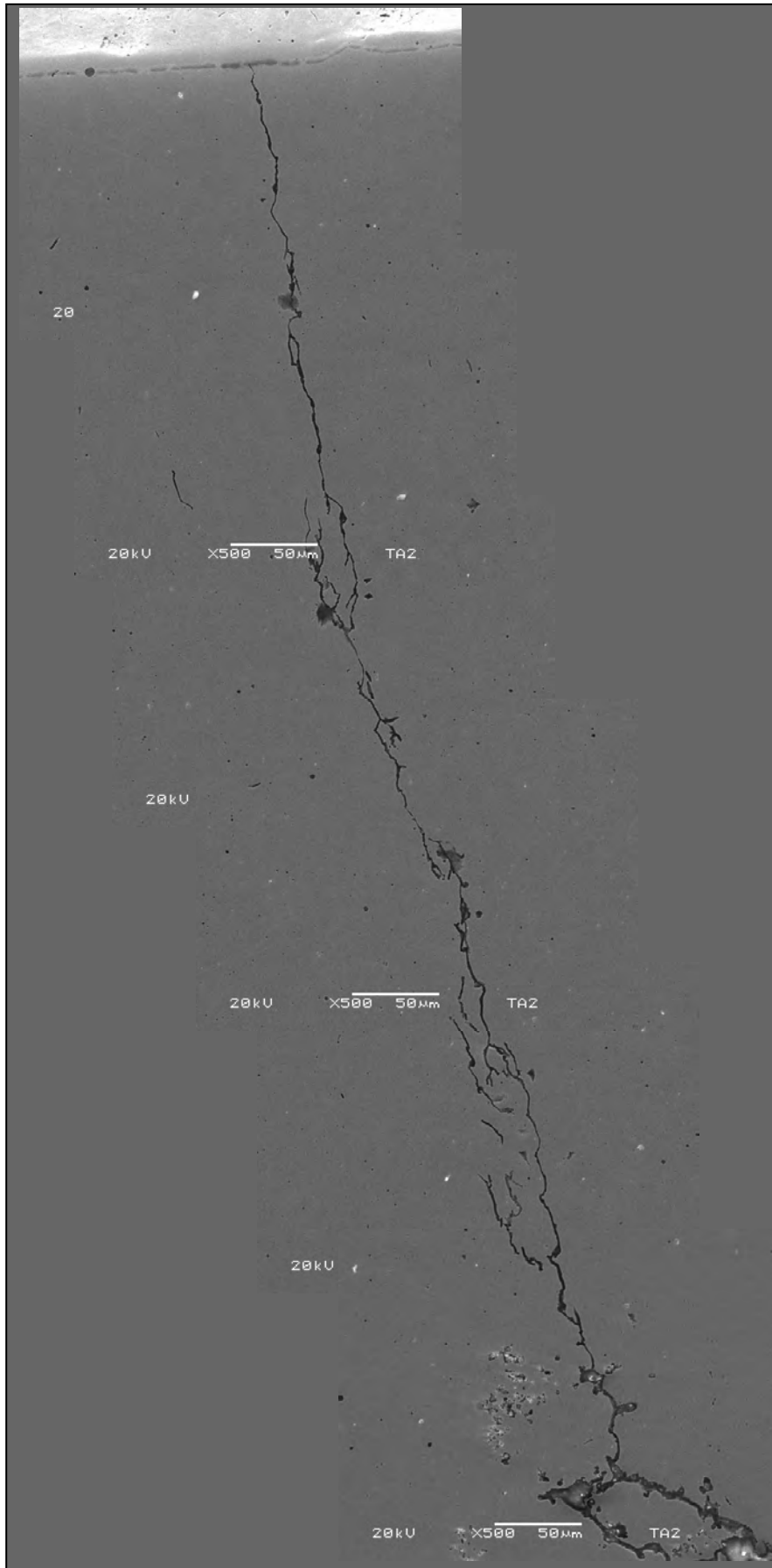


La imagen 4.11 muestra cómo después del temple las fisuras corren entre defectos de fundición que presentó la probeta.



*Figura 4.11. 100X – Material base – ZAC – Material Base (arriba); 400X – ZAC – Material base (abajo)*

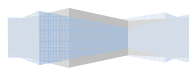




Del lado derecho de la figura 4.12, se muestra como la fractura inicia a partir de la zona afectada por el calor.

La fractura iniciada a partir de la ZAC, vista por medio de la microscopia electrónica de barrido, se puede apreciar que no es una fractura continua, sino que es una fractura que se puede decir intermitente.

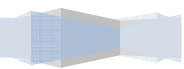
*Figura 4.12. a 500X, la fractura corre hacia el material base*



# **CAPÍTULO**

# **5**

## **"DISCUSIÓN DE RESULTADOS"**



## V.1 DUREZA

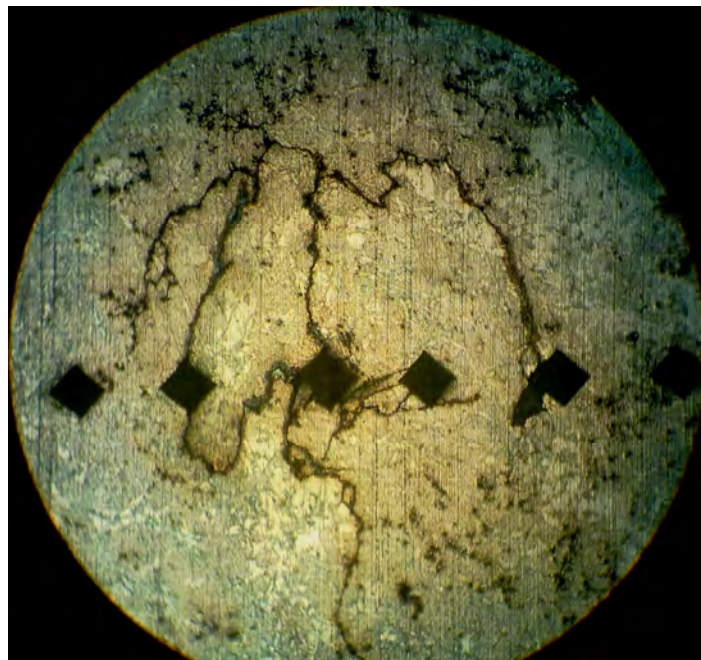
### METAL BASE

La dureza en el material base se comporta de manera uniforme pero hay que considerar las lecturas superiores e inferiores a este comportamiento, tal y como se describe a continuación:

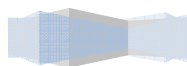
Todas las lecturas se encuentran alrededor o próximas a la media de 180HV2 y con una desviación estándar de entre 8 y 9 grados respectivamente; con esto podemos pensar que la dureza del material en general es homogénea.

Por otra parte las durezas superiores a la mayoría de ellas podemos pensar que fueron tomadas en una zona que es muy probable que existió pura Martensita y por consiguiente la dureza se manifestó superior a las demás (Lectura 56 y 57).

Por otro lado de la lectura 63 a la 66, fueron ensayadas en zonas de fractura, siendo estas las durezas más bajas; por consiguiente el penetrador no tuvo ninguna resistencia para tomar la lectura. Figura 5.1.



*Figura 5.1. En la imagen se puede observar como de la lectura 63 a 66 fueron ensayadas sobre una fractura.*



## ZAC

El comportamiento de la ZAC en ambos lados, tienen un patrón similar ya que las durezas más altas se localizan cerca de la línea de fusión, mientras que las durezas más bajas son las que se encuentran cerca al metal base. Con esto podemos pensar que existen diferencias de tipo morfológica en la Martensita que se formó.

## MATERIAL DE APORTE

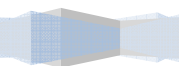
El comportamiento de la dureza del material de aporte entre puntos es significativa, sin embargo estas medidas en todas ellas representa un material endurecido y este endurecimiento se puede llegar a pensar que se debe a una estructura martensítica con una morfología dendrítica, Las lecturas no tienen un comportamiento definido.

De las tres zonas que se encontraron en soldadura, esta es la zona que presenta mayor dureza de las tres. En general haciendo un análisis de las medias de las tres zonas podemos pensar que las diferencias de dureza tienen una relevancia significativa.

## V.2. METALOGRAFÍA

En la metalografía se puede observar que la estructura que predomina desde el material base es la Martensita revenida, sin embargo, el tamaño de la Martensita cambia, es más fina en la ZAC y más gruesa en el metal base.

Es de suponer que por el choque térmico y la transformación metalúrgica que sufre el acero 410 sean grandes los esfuerzos que se producen entre el

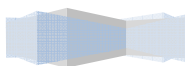




material de aporte y la ZAC, localizados a partir de la línea de fusión, por lo que la generación de fisuras es favorecida. Aunado a esto, la presencia de defectos constitucionales (sulfuros) es más factible que se dé por resultado fracturas en este material.

### **V.3. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO**

La fractura obtenida por medio de microscopía electrónica de barrido nos indica que el material presenta diferentes puntos de alta tensión y por esa razón la fractura no es continua, pero nos puede indicar también que el esfuerzo generado tiene una dirección, y que debido a esa dirección podemos pensar que va desde la línea de fusión hacia el material base pasando por la ZAC.



## **CONCLUSIONES**

Se puede concluir que este material cumplió con ser un metal con dureza homogénea después de llevar a cabo la experimentación del temple al agua, debido al comportamiento de su dureza observado en el área del material base.

La dureza en la ZAC representa cambios significativos en el área que esta abarca.

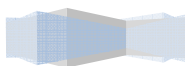
La dureza en el material de aporte a pesar de presentar diferencias no contiene patrón alguno en cuanto a sus resultados.

Si no se controla la salida de energía térmica generada por el fenómeno de soldadura en un acero como lo es el 410 martensítico, El cuál posee una alta respuesta térmica.

La presencia de la falla por fisuras y fracturas es inevitable

## **CONCLUSIÓN GENERAL**

“Cuando por cualquier motivo se deba aplicar soldadura en un acero martensítico tipo 410, se debe conocer su comportamiento térmico para evitar la ruptura del acero”.



## BIBLIOGRAFIA

- 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](http://www.instron.us/wa/applications/test_types/hardness/vickers.aspx)

