



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**“TRATAMIENTO TÉRMICO DE MARTEMPERING EN LA ZAC
DE UN ACERO CON 12% DE CR.”**

T E S I S

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

PRESENTA

FAUSTINO ISABEL GARCÍA MARTÍNEZ

ASESOR: DR. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a fuerzas que a veces no alcanzamos a comprender toda la energía que me fue otorgada para alcanzar este importante objetivo, si el destino está escrito o nosotros mismos lo forjamos eso en este momento no lo podré responder y creo que la mayoría de nosotros tampoco, sin embargo lo que si podemos hacer es elegir el camino y sortear las dificultades de manera digna aceptando las consecuencias de nuestros actos y afrontarlos con coraje, cometí errores pero me dieron aprendizaje y aunque a veces el camino parecía más difícil no decline y supe que siempre estaría allí la oportunidad pues ya se me había brindado y es por eso que quiero agradecer de manera muy personal a las siguientes instituciones.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por el lugar y oportunidad que me brindo para poder estudiar en sus aulas e instalaciones.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán que me abrió las puertas que me permitió adquirir conocimiento, sensatez, juicio, criterio y capacidad de análisis.

A los Directores, Coordinadores de la carrera y laboratorios de IME y el personal administrativo que hicieron posible esta etapa en mi vida.

A todos los profesores y profesoras que me guiaron y transmitieron sus conocimientos ya fuera con las clases o con consejos, los tendré presentes por el resto de mi vida.

Al Colegio de Ciencias y Humanidades "Plantel Azcapotzalco" a sus profesores y personal por ponerme ese peldaño que me dio impulso para estudiar ingeniería.

Al Instituto Benjamín Franklin por permitirme estudiar en sus instalaciones y darme la oportunidad de un segundo idioma, el inglés, a todos los profesores y personal administrativo.

RECONOCIENTOS.

Agradezco a el Dr. Héctor Enrique Curiel Reyna por aceptar ser mi tutor de tesis, por el apoyo brindado y confiarme un proyecto en el cual trabajar para realizar esta importante tarea, por la ayuda a lo largo del proyecto, específicamente en la determinación de los resultados obtenidos, la información que fue necesaria, por todo el tiempo que invirtió en este proyecto y también por haber aceptado que trabajara en su programa de servicio social y además todas las asesorías brindadas y no menos importantes las clases a lo largo de la carrera de introducción a la ingeniería y metalurgia mecánica.

Agradezco mucho a las personas que aceptaron ser mi jurado y las observaciones y consejos brindados para la culminación de mi trabajo de tesis al M.I Jaime Fuentes Sánchez, al ingeniero Roberto Reyes Sánchez, de igual manera al ingeniero Raymundo Morales Márquez y también al M.E.M Carlos Oropeza Legorreta a todos ellos por los conocimientos transmitidos en las aulas de nuestra FES.

A el C. Doctor. Tomas Rangel por las asesorías recibidas en el proceso del trabajo de tesis, gracias también a la orientación en el uso del equipo de laboratorio y sustancias químicas que se requirieron así como la información y la ayuda para el procedimiento del desarrollo experimental del presente trabajo y finalmente agradezco el apoyo en el desarrollo de mi servicio social.

Al M en I. Noé Alberto Cortes Guerrero por las asesorías para en el uso de las máquinas que fueron necesarias en el desarrollo experimental, por las lecciones en la preparación del material, igualmente por el préstamo de herramientas y el apoyo brindado a lo largo de el servicio social y el préstamo de bibliografía de su acervo personal.

A el M en I. Juan José García Ruíz por el apoyo en los laboratorios y el taller.

DEDICATORIAS.

Quiero dedicar el presente trabajo especialmente a ti mamá Emiliana Martínez Delgadillo por haber tenido el coraje de sacarnos adelante a mi y mis hermanas, quiero decirte que hiciste un excelente trabajo cuidándome y educándome, gracias por guiarme a lo largo de mi vida, por no dejarme declinar y por brindarme la oportunidad de estudiar en lugar de trabajar, por apoyarme en todos los problemas que se me presentaron y siempre estar presente allí, por todo el dinero, trabajo y esfuerzo que invertiste en mí. Sabes, eres la mejor mamá que alguien hubiera deseado, por velar por mí, por ser mi apoyo, por ser mi inspiración, por enseñarme el significado de trabajo duro, honradez y esfuerzo, por predicar con el ejemplo. Mamá este documento es prueba fiascente de que tu trabajo no fue en vano y que gracias a ti me convertí en Ingeniero.

Muy personalmente quiero agradecer a mi novia Maribel Alanís Montesinos, tú que me enseñaste el significado del amor y paciencia ya que me apoyaste en momentos difíciles pero también por tus consejos y por darme un ejemplo a seguir, a ti que estuviste presente en todo este tiempo, que sin importar las consecuencias hubieras brincado conmigo al fondo de un precipicio y aun así nunca hubieras soltado mi mano, sé que afrontaste muchas dificultades a mi lado y que a pesar de todo has estado presente con palabras de aliento y que me ayudaste a levantarme cuando perdí las esperanzas me enseñaste el camino para superarme y no darme por vencido. Y finalmente quiero que sepas que admiro tu fuerza para soportar los golpes de la vida y aun así nunca te das por vencida, eres la mejor mujer que un hombre podría desear

en este mundo vil y despiadado, pero sabes no me importa que problemas se avecinen, pues te tengo a ti y tu también cuentas conmigo. Gracias mi chavita por tener fe en mí y por haberme elegido para compartir parte de tu vida conmigo. A tu mami Churita y a tu señor padre José Luis por haber tenido una hija ejemplar y que a pesar de que ya no están con nosotros sé y deseo que algún día nos reunamos con ellos en otra vida ya que el tiempo en esta culminó, pero no en nuestros corazones y sabes que te acompañé en tu dolor pues también perdí a mi Brayancito siendo un inocente ángel aun, pero que de igual manera estará esperándome y acompañándome en mi corazón y mente.

A mis hermanas Laura Nelly García Martínez y YuritShendel García Martínez por haber sido mis compañeras en la niñez a ti Shendel por acompañarme en mis días de primaria y darme unos sobrinos hermosos. A ti Nelly por ser como eres y todo tú apoyo brindado por cuidarme y apoyarme, por hacer entender a mi mamá que nadie es perfecto, pero también porque siempre has velado por ella y por mí todo ese esfuerzo invertido no fue en balde y aquí les entrego una prueba.

A ti Abuelita Loreto Delgadillo Salazar ya que me cuidaste y atendiste, porque siempre tuviste en casa con un plato de comida esperando, también por cuidarme en tiempos de enfermedad, por ser la raíz más vieja de esta familia por elegirnos para estar con nosotros.

A ti Juan Carlos Vallejo Granados por ser un gran compañero y amigo que me brindaste apoyo cada vez que tenías oportunidad, además gracias por tu larga amistad, también por los momentos tan agradables que hemos vivido,

igualmente por brindarme tu hogar y alentarme a finalizar este proyecto, por cuidar a mi hermana y ser su compañero de viaje en esta jornada llamada vida y por cuidar de mis sobrinos Jhovany y Zahira pues yo se no que no es nada fácil.

A todos mis amigos que han permanecido lealmente a mi lado, en los momentos de diversión pero también en los momentos difíciles, cuando nos metíamos en problemas supimos superarlos y seguimos conservando nuestra amistad, a pesar de los ello siempre estaba una buena cerveza para platicar, sé que no fue fácil escucharme y muchas veces cuidarme y brindarme siempre un buen consejo. Todos ustedes que ya son mis viejos amigos a pesar de ser jóvenes aun. A ustedes carnales Coatzen Toledo (Coacho), Quetzal (Kequi) los conocí desde los 10 años a mis carnales Azael Pérez (Elfo, Trompas), Israel Cruz (Seko, Carnalote), Cesar y Carlos Aldana (Agapo y Charly) los conocí desde los 16 años, a ustedes que han añejado nuestra amistad y a pesar de que cada quien a adquirido responsabilidades, siempre han tenido tiempo para juntarnos y platicar.

Y por último a mi gatito Richie que nos acompañó a Mari y a mi por que me enseñó por segunda vez que los animalitos son fieles y también buenos amigos excepto cuando se revelan y quieren morderte, bueno también tienen su temperamento y son pequeñas fierecillas que necesitan amor.

Y quiero finalizar con esto:

¡GOOOYA, GOOOYA, CACHUN, CACHUN, RA, RA, CACHUN, CACHUN, RA, RA, GOYA, UNIVERSIDAD! (A Faus Pimpollo Le gusta esto XD). Compartir.

Contenido.

INTRODUCCION.....	1
TEMA DE INVESTIGACIÓN.	4
OBJETIVO.	4
HIPÓTESIS.	4
CAPITULO I.....	5
GENERALIDADES.....	5
I.1 ¿QUÉ ES EL ACERO?.....	5
I.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES.....	6
I.3 EFECTO DEL CROMO EN ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS....	9
I.4.- SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.....	13
CAPÍTULO II.....	16
PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
II.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
II.2 PROCESO DE LA SOLDADURA DE MARTEMPERING.....	16
II.3 PULIDO.....	18
II.4 DUREZA VICKERS.....	19
II.5 PROCEDIMIENTO.....	<u>20</u>
CAPÍTULO III.....	22
DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	22
III.1 PREPARACION DE LA MUESTRA PARA PRUEBAS.....	22
III.2 LIJADO Y PULIDO DE LA MUESTRA.....	23
III.4 ATAQUE QUIMICO.....	25
III.5 DUREZA VICKERS.....	27
III.6 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA DUREZA VICKERS.....	28

<i>CAPITULO IV.....</i>	<i>31</i>
<i>RESULTADOS OBTENIDOS.....</i>	<i>31</i>
<i>IV.I.RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DUREZA VICKERS.....</i>	<i>31</i>
<i>IV.2 METALOGRAFÍA.....</i>	<i>40</i>
<i>CAPITULO V.</i>	<i>47</i>
<i>V.I. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</i>	<i>47</i>
<i>CONCLUSIONES.....</i>	<i>49</i>
<i>BIBLIOGRAFÍA.....</i>	<i>50</i>

1 INTRODUCCION.

La revolución industrial comenzó a mediados del siglo XVIII en Inglaterra por la ideología de liberalismo económico (mínima intervención del estado en la economía). La invención del horno para refinación del hierro en 1855 por el británico Henry Bessemer, fue quien revoluciono la producción del acero y permitió obtener grandes cantidades de este material, redujo el costo, aumento la cantidad de acero producido, esto permitió desarrollar un mercado más amplio. Otro factor importante fue que poseían múltiples yacimientos de hierro usado para maquinaria, herramientas y construir la red de ferrocarriles y también contaban con numerosas cuencas carboníferas de las cuales se extraía el carbón que abastecía las modernas máquinas.

A mediados del siglo XIX empezó a cobrar importancia en países como Alemania, Estados unidos y otros países cercanos a Gran Bretaña como Francia, Bélgica y Rusia.

Hoy en día los procesos más modernos son el del horno de oxígeno básico y electro horno de arco, estos procesos utilizan oxígeno en lugar de aire y esta es la gran diferencia entre los procesos antiguos y los modernos en la fabricación de los aceros, se les añaden elementos de aleación que proporcionan las características que los consumidores necesitan.

El acero inoxidable fue inventado a mediados del siglo XX y el ingrediente clave es el cromo, que forma una capa protectora invisible en la superficie y esto le da un aspecto brillante formando una película pasivante, para conseguir propiedades inoxidables el contenido mínimo de cromo debe ser de 12%. Los aceros inoxidables eran obtenidos de minerales, pero en la actualidad la mayor producción es a partir del reciclaje de chatarra, la mayoría de acero es obtenida de autos que terminan su vida útil; después de pasar por varios procesos de trituración y separación el acero es vaciado en grandes máquinas de colada continua para derretirlos y después insuflar argón y oxígeno, con esto algunas impurezas se convierten en gas y otras flotan en la superficie y así se pueden retirar, después el acero derretido es vaciado en lingoteras para formar grandes barras, la propiedad de maleabilidad es aprovechada para pasar el acero por varios rodillos hasta adquirir el espesor deseado y hacerlo cada vez más delgado, el acero es sometido a varios procesos controlados de calentado, ablandándolo, liberando tensiones y lo hace flexible para envolverlo en bobinas y someterlo a nuevos procedimientos. Las empresas acereras se adaptan a las necesidades de cada cliente con el propósito para el cual es fabricado, existen infinidad de aleaciones que los hacen más resistentes, ligeros y maleables, manteniendo bajos los precios de producción proporcionando aceros de mayor calidad a un mejor costo.

Los aceros inoxidables tienen una gran demanda, principalmente por la alta resistencia a la corrosión y su apariencia. El gran abanico de aplicaciones en la industria petrolera, estructural, alimenticia, aeronáutica, automotriz, almacenaje de materias primas, tuberías,

decoración, manejo de gases y materiales líquidos hacen de este producto uno de los más utilizados en todo el mundo.

Los aceros inoxidable tienen una aceptable resistencia a la corrosión y diversas condiciones ambientales, pero cuando este tipo de materiales se soldan sufren algunas modificaciones en su estructura cristalina, principalmente en la ZAC (Zona Afectada por el Calor), entonces es indispensable estudiar el comportamiento del material expuesto a altas temperaturas, predecir el comportamiento y encontrar nuevas aplicaciones o soluciones a problemas que pudiesen existir en el proceso de soldadura.

En la presente investigación, se empezó por cortar una probeta de acero CA15 410 con dimensiones de $\frac{3}{4}$ " X $\frac{3}{4}$ " con un contenido de 12% en peso de cromo, este acero fue sometido a un tratamiento térmico TTT (Tiempo, Temperatura, Transformación), más tarde se creó un cordón de soldadura con material de aporte del mismo material (electrodo revestido) precalentando primero el acero. Después se pulió hasta alcanzar un acabado espejo y mas tarde fue atacado químicamente con una solución corrosiva (nital al 90%) este procedimiento revela el material base, el material de aporte y la ZAC del acero. El acero se sometió a 80 pruebas de dureza Vickers atravesando por las tres diferentes áreas para poder estudiarlas una a una y saber si este tratamiento térmico y precalentado funcionó en el procedimiento de soldadura manteniendo las características del material original.

TEMA DE INVESTIGACIÓN.

Tratamiento térmico de Martempering en la ZAC de un acero con 12% de Cr.

OBJETIVO.

Determinar el cambio de tamaño de grano, deformaciones y las posibles fracturas en los límites de la ZAC de un acero 410 con 12% de Cr. Se pretende mantener las características del acero integras sin que la soldadura afecte el comportamiento del material.

HIPÓTESIS.

El acero martensítico que será sometido a un proceso de soldadura sufrirá de fracturas y el tamaño de grano se incrementará por este proceso.

CAPITULO I.

GENERALIDADES.

¿QUÉ ES EL ACERO?

El Acero es básicamente una combinación de hierro y carbono (alrededor de 0.05% hasta menos de un 2%). Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cr (Cromo) o Ni (Níquel) se agregan con propósitos determinados.

Ya que el acero es básicamente hierro altamente refinado (más de un 98%), su fabricación comienza con la reducción de hierro (producción de arrabio) el cual se convierte más tarde en acero. El hierro puro es uno de los elementos del acero, por lo tanto consiste solamente de un tipo de átomos. No se encuentra libre en la naturaleza ya que químicamente reacciona con facilidad con el oxígeno del aire para formar óxido de hierro o herrumbre. El óxido se encuentra en cantidades significativas en el mineral de hierro, el cual es una concentración de óxido de hierro con impurezas y otros materiales.

Los metales y las aleaciones empleadas en la industria pueden dividirse en dos grupos principales: materiales ferrosos y no ferrosos. Por lo tanto, los materiales ferrosos son aquellos que contienen hierro como su ingrediente principal; es decir, las numerosas calidades del hierro.

Los materiales No Ferrosos no contienen hierro. Estos incluyen el aluminio, magnesio, zinc, cobre, plomo y otros elementos metálicos. Las aleaciones el latón y el bronce, son una combinación de algunos de estos metales No Ferrosos y se les denomina aleaciones No Ferrosas.

Uno de los materiales de fabricación y construcción más versátil, más adaptable y más ampliamente usado es el acero. El acero combina la resistencia y la posibilidad de ser trabajado, lo que se presta para fabricaciones mediante muchos métodos. Además, sus propiedades pueden ser manejadas de acuerdo a las necesidades específicas mediante tratamientos con calor, trabajo mecánico, o mediante aleaciones.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

Los aceros inoxidable se clasifican según su composición química y su comportamiento estructural a diferentes temperaturas teniendo como principales componentes el sistema Hierro-Cromo en este grupo encontramos los aceros martensíticos y ferríticos mientras que en el sistema Hierro-Cromo-Níquel se encuentran los aceros austeníticos.

Existe un cuarto grupo el de los aceros dúplex son aquellos cuya microestructura bifásica está compuesta por ferrita y austenita. La ferrita es la responsable de la resistencia mientras que la austenita asegura un elevado valor en la tenacidad en este sistema Hierro-Cromo-Níquel-X el porcentaje de Cromo esta entre 18% y 26%, Ni entre 4.5% y 6.5% y menos de 0.3% de C. La

X corresponde a elementos como N, Si, Cu, W para mejorar la resistencia a la corrosión.

Aceros inoxidables austeníticos: Los aceros inoxidables austeníticos no son magnéticos y no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico. Son muy dúctiles y presentan excelente soldabilidad.

El acero inoxidable austenítico más popular es el Tipo 304, que contiene básicamente 18% de cromo y 8% de níquel, con una cantidad de carbono limitado a un máximo de 0.08%. Tiene gran aplicación en las industrias químicas, farmacéuticas, de alcohol, aeronáutica, naval, uso en arquitectura, alimenticia, y de transporte. Es también utilizado en cubiertos, vajillas, piletas, revestimientos de ascensores y en un sin número de aplicaciones.

- Presentan excelentes propiedades de tenacidad y ductilidad.
- Tienen resistencia a la corrosión y soldabilidad.
- No se endurecen por tratamiento térmico (temple), sino únicamente por deformación en frío o en caliente.
- Son los más conocidos y utilizados.

Aceros inoxidables martensíticos: Son esencialmente aleaciones de cromo y carbono. El contenido de Cr es generalmente de 10.5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1.2%.

Son la primera rama de los aceros inoxidables simplemente al cromo. Representan una porción de la serie 400 y en nuestra investigación utilizamos

uno de esta serie, el 410 y sus características son:

- Moderada resistencia a la corrosión.
- Endurecibles por tratamiento térmico y por lo tanto se pueden desarrollar altos niveles de resistencia mecánica y dureza.
- Son magnéticos.
- Debido al alto contenido de carbono y a la naturaleza de su dureza, es de pobre soldabilidad.

Aceros inoxidables ferríticos: Estos aceros se comportan como aleaciones Hierro-Cromo con suficiente cromo como para permanecer fuera de la zona gamma. Son esencialmente ferríticos con todo el rango de temperaturas en estado sólido y en consecuencia no son endurecibles por enfriamiento rápido pero si endurecibles con trabajo en frío.

Tienen una aceptable resistencia a la corrosión que es natural, tienen buena resistencia mecánica por lo que son muy maleables, también resisten altas temperaturas y temperaturas bajo cero y tienen buena apariencia física.

- Resistencia a la corrosión de moderada a buena, la cual se incrementa con el contenido de cromo y algunas aleaciones de molibdeno.
- Endurecidos moderadamente por trabajo en frío: no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico
- Son magnéticos
- Su soldabilidad es pobre por lo que generalmente se eliminan las

uniones por soldadura a calibres delgados

- Usualmente se les aplica un tratamiento de recocido con lo que obtienen mayor suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión.
- Debido a su pobre dureza, el uso se limita generalmente a procesos de formado en frío.

1.3 EFECTO DEL CROMO EN ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.

El cromo es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados, usándose indistintamente en los aceros de construcción, de herramientas, inoxidable y en los de resistencia en caliente. Se emplea en cantidades diversas desde 11% a 30% de cromo según los casos, y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste y la inoxidable.

El cromo es añadido como aleante durante la fundición y cuando se enfría deja el acero con un acabado espectacular, debido a que se cierran los poros y el cromo se mezcla con el oxígeno del ambiente, formando esa capa de óxido de cromo que transforma al acero en inoxidable.

En la figura 1.1 se muestra una parte del diagrama de equilibrio de las aleaciones Hierro-Cromo. En la zona del diagrama que corresponde al estado sólido se observan tres regiones:

1.- Una porción limitada por una línea curva a la que se le conoce como *zona de gamma* en la cual la fase austenítica es estable (*fase gamma*) con una estructura cristalina cúbica centrada en las caras.

2.- Una porción situada fuera del área curva que abarca la zona gamma, en donde la fase ferrítica (que solidifica con una estructura cristalina cubica 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 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.

3.- El área ubicada entre las dos regiones anteriores es de donde la ferrita y la austenita pueden coexistir. Las proporciones respectivas de cada fase dependen de las leyes de los diagramas de equilibrio.

De la figura 1 se puede inferir que un incremento en el contenido de cromo da por resultado un decremento en el rango de la temperatura sobre el que la austenita es estable. Solo hasta que el contenido de cromo es de aproximadamente, un 11% se presenta transformaciones normales de austenita a ferrita (en enfriamiento), y de ferrita a austenita (en calentamiento). Un contenido de cromo por encima del 13% evita que ocurran transformaciones durante enfriamiento o calentamiento y, por esta razón las aleaciones permanecen ferríticas a todas las temperaturas.

En la (fig.1.1) se pueden identificar dos categorías de aceros inoxidables los martensíticos y ferríticos:

Los aceros inoxidables martensíticos son similares a las de las aleaciones de Hierro-Cromo que contienen menos del 12% de cromo. Estos aceros solidifican como Ferrita delta, aunque se transforman completamente en Austenita durante enfriamiento. Cuando el enfriamiento es suficientemente lento, la Austenita se puede transformar en Ferrita alfa.

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.

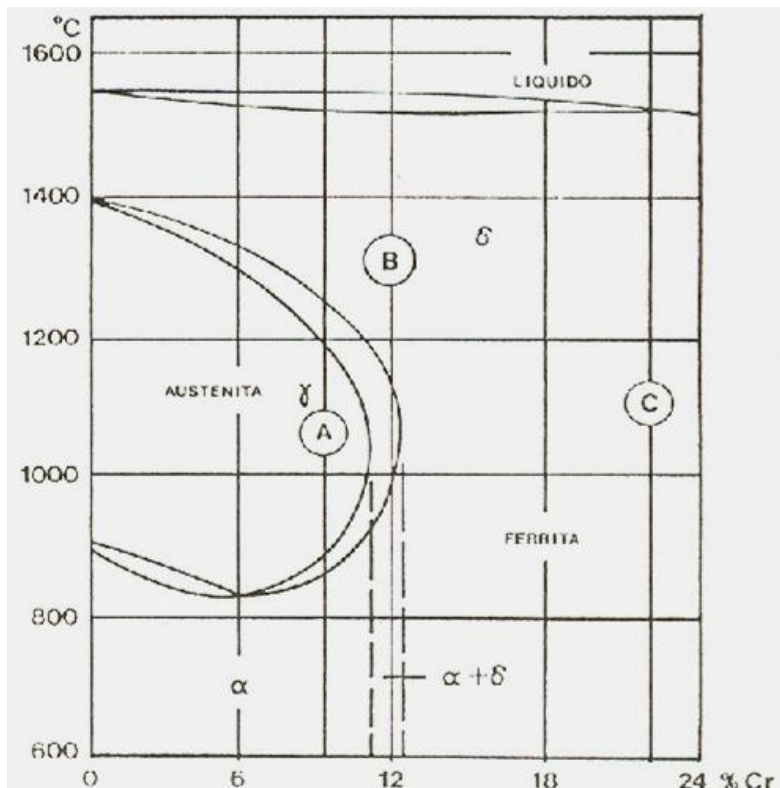


Figura 1.1 Imagen de Mexinox. Diagrama de equilibrio de las aleaciones hierro cromo.

Los aceros inoxidable ferríticos se comportan como aleaciones de Hierro-Cromo 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 Hierro-Cromo 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 las 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 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 inoxidable martensíticos en los que se aprovecha la capacidad de desplazamiento que algunos elementos aleantes tienen sobre la fase gamma. Por ejemplo el Níquel modifica las fronteras de existencia de la fase gamma hacia mayores temperaturas y contenidos de cromo.

En la imagen anterior podemos observar que el acero inoxidable martensítico contiene 20%Cr menos del 0.15%C y 4%Ni, este acero se transforma en austenita a altas temperaturas durante el enfriamiento. Posteriormente, la austenita se puede transformar en martensita dependiendo de su velocidad de enfriamiento a temperatura ambiente.

Los aceros inoxidables 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.

1.4.- SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.

Los aceros inoxidables martensíticos son los que presentan mayor número de dificultades para soldarse. Ello es debido a que sufren el cambio de fase de austenita a martensita (es decir, de una estructura cúbica centrada en las caras a una cúbica centrada en el cuerpo), el cual se presenta en la ZAC durante el enfriamiento de la soldadura.

Los aceros inoxidables martensíticos deben su resistencia a la corrosión al contenido de cromo: de 11.5 al 18 %. El cromo es un fuerte formador de Ferrita, por ello, los aceros con mayor contenido de cromo requieren de un incremento de carbono, lo que ayudará a obtener la formación de Martensita durante el tratamiento térmico y soldadura. Debido al incremento en el contenido de carbono se promueven también problemas de fractura en la ZAC durante la operación de soldadura.

La forma más eficaz para aminorar la tendencia a fracturas consiste en el precalentamiento y control de temperatura del interpaso. El rango de temperaturas de precalentamiento más común para los aceros inoxidable martensíticos oscila entre 250° y 316°C (400° a 600°F). En estos aceros se utiliza el contenido carbono como criterio para determinar si se requiere o no el precalentamiento. Para contenidos de carbono menores de 0.10% no se emplea precalentamiento ni tratamiento térmico post-soldadura. Para contenidos de carbono entre 0.10 y 0.20 % se requieren precalentamientos hasta 260° C (500° F). Esta familia de aceros siempre se soldan en condiciones de recocido, ya que si se soldan después del tratamiento térmico de templado, se obtendrá una estructura martensítica, la cual es dura y frágil. La martensita no tiene la ductilidad suficiente para soportar los esfuerzos generados por los cambios térmicos provocados por la operación de soldadura; por lo que, si se soldaran en estas condiciones (con la estructura martensítica), habría una alta probabilidad de que se presentaran fracturas severas. Los aceros inoxidable martensíticos han sido diseñados para obtener productos con alta resistencia mecánica.

Con objeto de obtener esta resistencia se deberá someter a estos aceros a un tratamiento térmico post-soldadura. Dicho tratamiento consiste en calentar el material a una temperatura lo suficientemente alta hasta que logre formarse una estructura totalmente austenítica. De esa temperatura se deberá enfriar rápidamente (templado) a temperatura ambiente. El medio de temple o enfriamiento rápido puede ser aire (en el caso de espesores delgados) o algún aceite (para espesores más gruesos). Se deberá tener

cuidado con las ondulaciones o distorsiones que se presentan por efecto de templado. Estos defectos se pueden minimizar utilizando un sistema de sujeción o diseño de la pieza adecuada después del tratamiento de temple. Se deberá dar un revenido (relevado de esfuerzos) a la estructura con la finalidad de poder aprovechar adecuadamente las características mecánicas del material.

Adicionalmente, durante el tratamiento térmico de las piezas, éstas deberán protegerse de la oxidación (formación de escamas de óxidos de altas temperaturas). Ello se logra por medio de una atmósfera inerte en el horno lograda a base de Helio o Argón (que son gases costosos). Pero si se desea abatir los costos se pueden usar gases exotérmicos o endotérmicos, los cuales proveen igualmente una buena protección como el oxígeno, hidrógeno y nitrógeno.

CAPÍTULO II.

PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.

II.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Para la presente investigación se procede con el desarrollo experimental que constó en la elaboración de una probeta de acero martensítico 410 con 12%Cr con dimensiones de $1 \frac{3}{4}$ " X $1 \frac{3}{4}$ " previamente fue tratada térmicamente y revenida. A esta probeta se le realizó un cordón de soldadura con un electrodo revestido de la misma aleación según la norma AWS D1.1, (*Structural Welding Code – Steel*) Código de Soldadura Estructural. Acero con (*electrodos en un diámetro de 5/16"*) y después fue cortada una probeta con las dimensiones de $\frac{3}{4}$ " de largo X $\frac{3}{4}$ " de ancho.

II.2 PROCESO DE LA SOLDADURA DE MARTEMPERING.

A este acero se le sometió a un proceso de soldadura con electrodos revestidos de la misma aleación según la AWS (electrodos de un diámetro de $5/16$ ") depositado para unir el metal base tipo CA-15 se elaboró un proceso de precalentamiento y un tratamiento térmico de post-calentamiento a la soldadura.

Los datos nos brindaran información confiable, ya que el material es uniforme y con las pruebas obtendremos 3 zonas distintas que con un

ataquequímico se revelaran. Entonces, podremos observar con bastante claridad con el fin de estudiarlas cada una por separado y se analizaran en conjunto.

El tratamiento de martempering consistió en un calentamiento a 350°C durante una hora, después se realizó un revenido a 200°C, se mantuvo a esta temperatura por un periodo de una hora, luego se recalentó hasta 600°C y se mantuvo a esta temperatura por un periodo de una hora y finalmente se dejó revenir dentro del horno hasta la temperatura ambiente. Este tratamiento térmico se realizó para estudiar el comportamiento del material sometido a altas temperaturas.

En el proceso de soldadura se deben fundir los metales para unirlos y esto crea esfuerzos internos en el acero y en la unión se produce una zona que en ingeniería se le conoce como ZAC, nuestro estudio se va a basar en esta zona específica para poder saber de qué manera se comporta nuestro acero. (Fig. 2.1.)

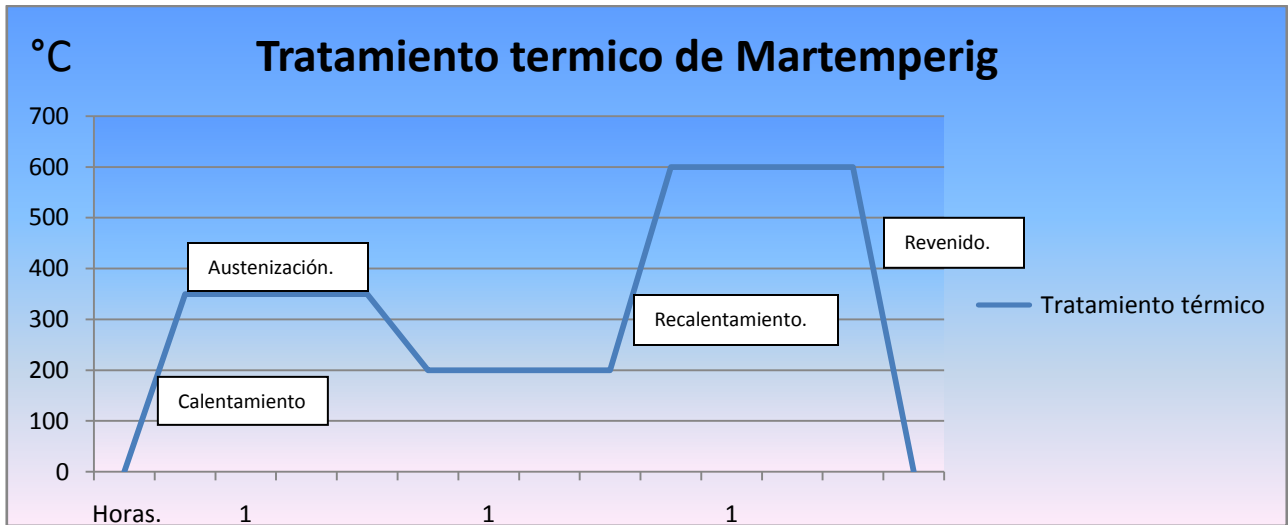


Fig. 2.1 Tratamiento Térmico de un acero CA15 410 Martemperig con 12%Cr.

II.3 PULIDO.

Una vez obtenida la probeta será necesario someterla a un proceso de rectificado y luego de pulido. Ya que el procedimiento de soldadura y corte nos dejó un material áspero y con irregularidades, pero se necesita obtener una superficie pareja y luego con acabado de espejo.

Se le realizara un estudio metalográfico el cual consistirá en atacar el material con un químico corrosivo que simulara los años de uso del material además de que con este procedimiento nos permitirá revelar la ZAC, los límites de grano, microestructura de la cual está compuesta el acero y las posibles fisuras que nos haya dejado nuestro tratamiento térmico. Todo esto será visible mediante la toma de fotos con diferentes aumentos y diferentes velocidades.

II.4 DUREZA VICKERS.

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.

En esta investigación se practicara un ensayo de dureza Vickers que consistirá en hacer 80 marcas con una distancia de 0.0125" de distancia con respecto una de otra atravesando por el material base la ZAC y el material de aporte para averiguar el comportamiento del material. El número de muestras se determinó de acuerdo a la longitud de la probeta de acero.

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 para el caso de una huella "ideal" cuando $d = 0.375$. 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.

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

Donde d es la media aritmética de las diagonales d_1 y d_2 . Debido a que el valor del ángulo es $\alpha=136^\circ$, 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 de pirámide de diamante	$\alpha = 136^\circ$
Carga (P):	1...120kgf
Duración de la carga	$t= 10...15$ s

Para la selección de la magnitud de la carga se basan en criterios de conveniencia; 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 y forma una huella distorsionada, 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 la muestra se aplicó una carga de 2 kgf, así la huella tendrá una medida adecuada y su profundidad de penetración será moderada.

II.5 PROCEDIMIENTO.

El estándar ASTM E 92-82 (American Society Testing Materials) 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. (Fig. 2.2)

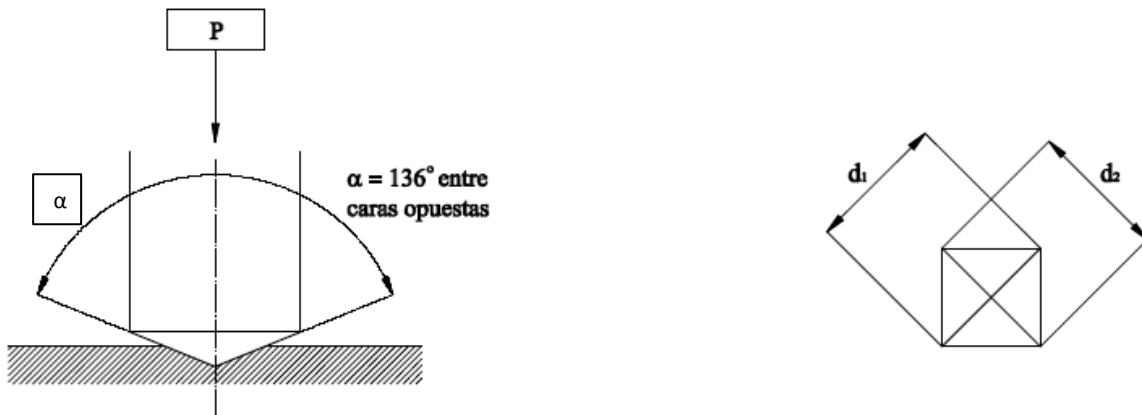


Fig. 2.2. Ensayo Vickers (tomado del estándar ASTM E-92)

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 para obtener el valor de la dureza Vickers. Todos los resultados obtenidos serán comparados con fotografías, gráficas y tablas, estas darán información que será analizada e interpretada, también se compararan y se destacaran las características más importantes para determinar si el proceso que se empleo funciono de manera adecuada de acuerdo a los resultados obtenidos. Entonces se llegara a una conclusión y servirá de base para otros trabajos futuros así como se tomaron antecedentes para la presente investigación que fue principalmente el tratamiento térmico.

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

III.1 PREPARACION DE LA MUESTRA PARA PRUEBAS.

Tenemos una probeta acero inoxidable de medidas de $\frac{3}{4}$ " con 12% de cromo para realizar diversas pruebas. Esta probeta en la parte superior fue soldada con un material de aporte del mismo material del acero con el propósito de que el electrodo no afecte con residuos de otro material que pudiera intervenir en los experimentos posteriores (Fig.3.1).



Fig. 3.1 Realización de cordón de soldadura.

III.2 LIJADO Y PULIDO DE LA MUESTRA.

Para el desbaste de la probeta se utilizó una pulidora de la marca LECO de doble disco, con capacidad de 1000rpm, pero por seguridad del material de desbaste se utiliza solo la mitad de la capacidad para garantizar un pulido parejo de la probeta (Fig. 3.2)

El material se encuentra con irregularidades por lo que la muestra debe de rectificarse con lijas de CSi (Carburo de Silicio) de Fandelli con un diámetro aproximado de 15cm para ponerlas en una pulidora.



Fig. 3.2 Pulidora marca LECO, capacidad de 1000rpm

La primera lija tiene un número de grano de 180, esto quiere decir que por cada mm^2 el tamaño de el material de desbaste es más grueso, esto para que el lijado de la probeta sea rápido al inicio y así ir eliminando las irregularidades que tiene en este momento, posteriormente se somete al

mismo proceso de lijado pero con un número más grande de lija, conforme se vaya aumentando el número de la lija el tamaño del grano va a ser muchísimo más fino para evitar rallar el material con otro material distinto y así someterlo a un proceso de pulido. Cada vez que la probeta se somete aun lijado con el material de desbaste, se observa al microscopio para ver las irregularidades que hace falta eliminar en la probeta. Con la primera lija se pudo observar un rayado muy abundante pero con líneas diagonales que se ven parejas y esto nos indica que nuestra muestra ya cuenta únicamente con una “cara”, El acero fue desbastado con las lijas con números 220, 360, 400, 500, 800, 1000 y 1200 lijas respectivamente dejando un ligero rayado (Fig.3.4).



Fig. 3.4 Lijas Fandeli de 15cm de diámetro y desbaste de la probeta de acero.

El lijado es acompañado de un chorro de agua continuo para permitir que la superficie no cree suficiente fricción que pudiera romper nuestro material de desbaste. Hasta este punto nuestra pieza esta rectificada de tal

forma que podemos observar algunas líneas en el acero (Fig. 3.5).

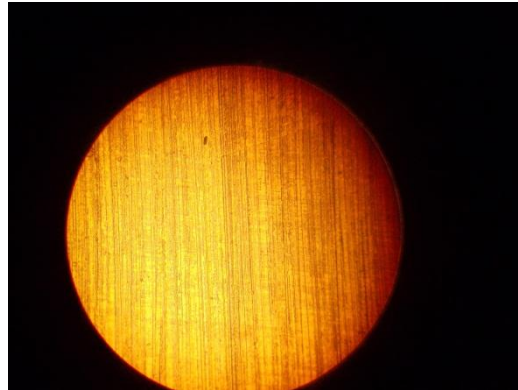


Fig. 3.5 Probeta desbastada con lijas de SiC.

Estas líneas se dejan para poder observar en el durómetro AMSLER y así poder ver la probeta en una pantalla circular y realizar la prueba de dureza Vickers.

III.4 ATAQUE QUIMICO.

El propósito del ataque químico es hacer visibles las características estructurales del metal o aleación. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la micro estructura. Esto se logra mediante un reactivo apropiado que somete a la superficie pulida a una acción química con nital al 10% (HCl) que es una solución corrosiva.

Después de este proceso se procederá a hacer otro proceso de pulido de la misma forma que en la primera parte pero esta vez con el objetivo de atacar nuestra muestra con Cloruro Férrico ($\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$) después fue

atacada con ácido clorhídrico (HCl-5% Alcohol). Estas soluciones se utilizaron para atacar corrosivamente nuestra probeta (Fig. 3.6), para poder analizar en el microscopio y observar su comportamiento.

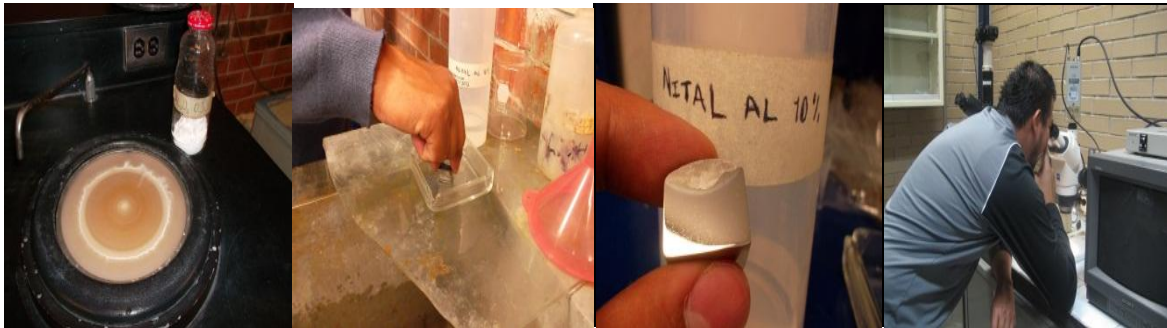


Fig. 3.6 Secuencia de pulido, ataque químico y observación en el microscopio estereoscópico.

Al observar al microscopio se puede ver claramente como el nital nos dejó ver la estructura microscópica del material e incluso como las pruebas de la dureza efectivamente se realizaron en la ZAC. Se pueden observar las zonas del material base el material de aporte y la ZAC. (Fig. 7)

a)

b)

c)

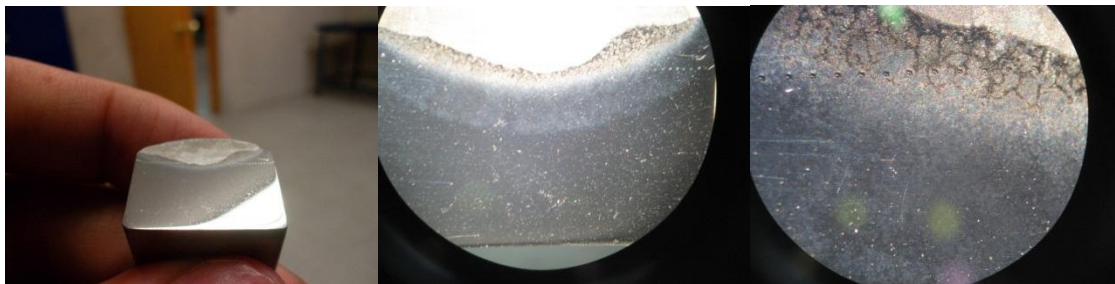


Fig. 3.7 Probeta de acero 410 observado al microscopio estereoscópico, foto b) con un aumento de 1.6X material base, ZAC y material de aporte de izquierda a derecha respetivamente, la foto c) muestra un aumento de 3.2X donde se observa la ZAC y algunas marcas de la prueba de dureza.

III.5 DUREZA VICKERS.

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.

La siguiente prueba será realizada en un durómetro AMSLER (Fig. 3.8) con una carga de referencia de 2kg pasado sobre la ZAC de nuestra muestra para observar el comportamiento en esta zona. Los punzones tienen una distancia de 0.0125” entre si y la prueba consta de 80 punzones en la muestra.



Fig. 3.8 Durómetro AMSLER

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 de 136° . La pirámide se mantiene por un tiempo de 10 a 12 segundos bajo la carga P (Fig. 3.9).



Fig. 3.9 Durómetro realizando una impronta en la muestra.

Luego de retirada la carga se miden las dos diagonales de la huella dejada, con ayuda de un microscopio (Fig. 3.11).

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 80 improntas en total.

III.6 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA DUREZA VICKERS.

- 1.- Conectar el durómetro en una toma corriente de 127v c/a.
- 2.- Colocar un tubo de acero de 10cm de diámetro y la base de acero.

- 3.- Centrar la probeta debajo del indentador para asegurar una prueba simétrica y que pase por la ZAC.
- 4.- Subir la manilla giratoria hasta obtener una distancia que permita hacer la prueba sin que la probeta se mueva con la presión del punzón.
- 5.- Colocar el tornillo regulador de carga para la prueba 2kg.
- 6.- Comenzar la primera prueba por la parte izquierda o derecha.
- 7.- Mover la palanca de carga para permitir que el indentador penetre la probeta.
- 8.- Observar en la pantalla la marca dejada.
- 9.- Anotar los resultados de la diagonal y la vertical de la prueba.
- 10.- Obtener el promedio de la lectura mediante la siguiente ecuación.

$$D1+D2/2$$

- 11.- Se busca en la tabla de Vickers Hv2---- F=19.61N o 2kp.
- 12.- Se gira la perilla hasta obtener una distancia de 0.0125" para la siguiente prueba.
- 13.- Se repite el proceso desde el punto 7 hasta completar el "n" número de pruebas deseadas en nuestro caso 80 (Fig. 3.10).

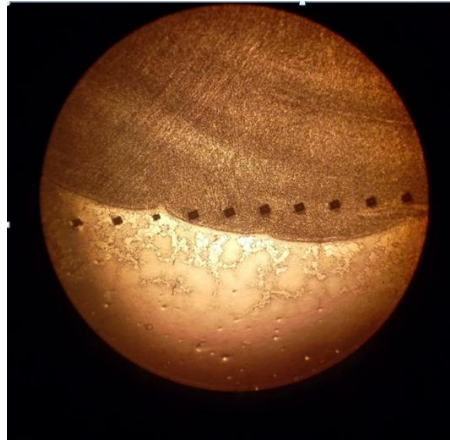


Fig. 3.10 Pruebas de dureza Vickers pasando por ZAC y material de aporte de izquierda a derecha. Aumento 20X

Cada una de las pruebas se observan en la pantalla circular del durómetro, el indentador de diamante deja una marca con forma de pirámide, después se miden las diagonales empezando por la horizontal y después la vertical para obtener el promedio de las marcas dejadas. (Fig.3.11).



Fig. 3.11 Medición de la marca dejada por un indentador de diamante de pirámide con diagonales bien definidas en el durómetro AMSLER.

CAPITULO IV.

RESULTADOS OBTENIDOS.

IV.I.RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA DUREZA VICKERS.

Para la determinación de los ensayos de dureza se utilizó una probeta donde se le realizaron 80 ensayos de dureza con una separación de 0.005", 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 realizó con la escala de Vickers 2kg en el material base, zona afectada por el calor y material de aporte del acero con 12% de Cromo que fue soldado y tratado térmicamente con un tratamiento Martempering, cuyos resultados fueron los siguientes:

La tabla 1 muestra las lecturas medidas de la dureza, según la fórmula para calcular la dureza Vickers, además de los resultados de cálculos de la media, varianza y desviación estándar. Así como la grafica 1 del número de ensayo contra la dureza calculada.

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

Media:	$\mu = \frac{\sum (1+2+3+\dots+n)}{n}$
Varianza:	$S^2 = \frac{\sum (X_i - \mu)^2}{n}$
Desviación estándar	$S = \sqrt{S^2}$

TABLA 4.1 Resultados de Dureza y cálculos estadísticos.

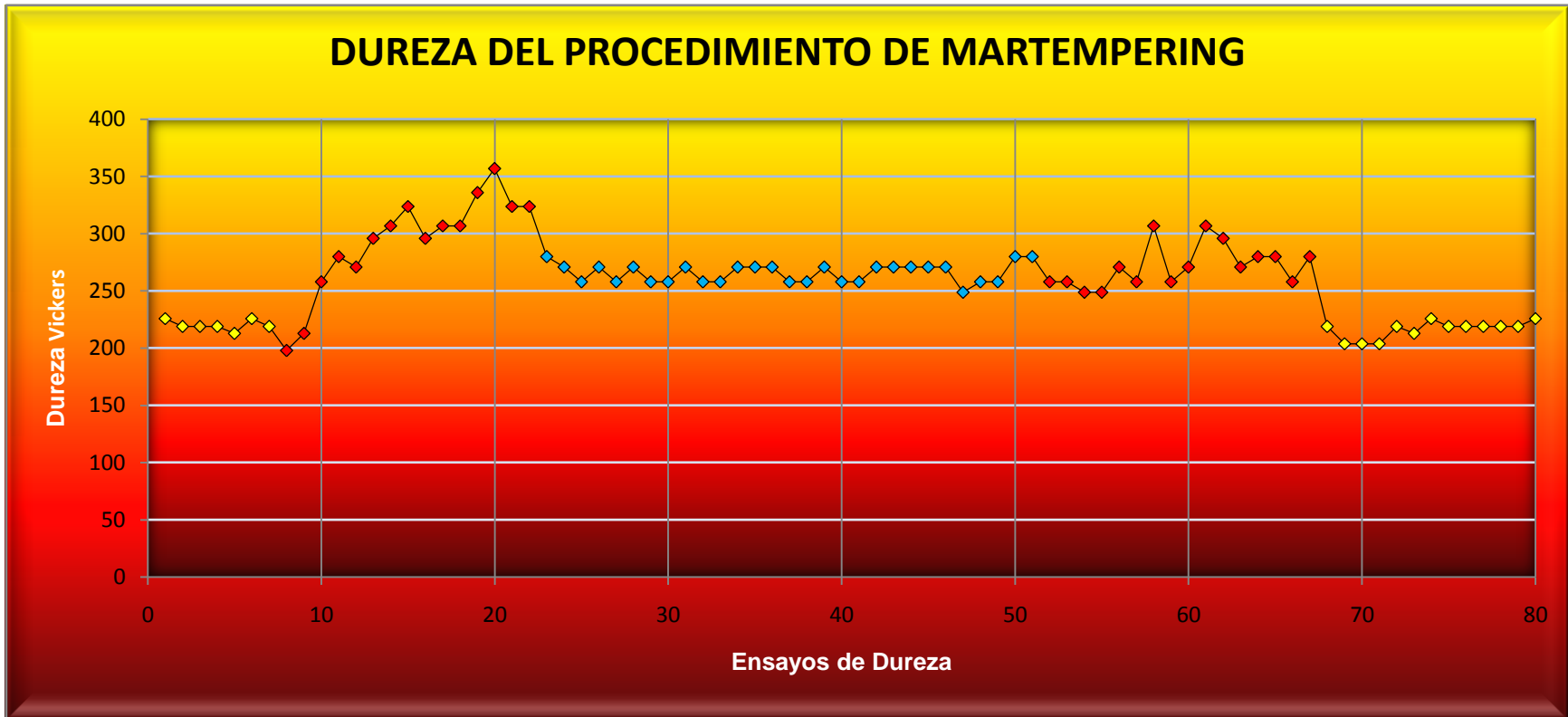
NÚM.	DUREZA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR	MEDIA
1	226	11.25	3.35	256
2	219	17.11	4.14	256
3	219	17.11	4.14	256
4	219	17.11	4.14	256
5	213	23.11	4.81	256
6	226	11.25	3.35	256
7	219	17.11	4.14	256
8	198	42.05	6.48	256
9	213	23.11	4.81	256
10	258	0.05	0.22	256
11	280	7.20	2.68	256
12	271	2.81	1.68	256
13	296	20.00	4.47	256
14	307	32.51	5.70	256
15	324	57.80	7.60	256
16	296	20	4.47	256
17	307	32.51	5.70	256
18	307	32.51	5.70	256
19	336	80.00	8.94	256
20	357	127.51	11.29	256
21	324	57.80	7.60	256
22	324	57.8	7.60	256
23	280	7.20	2.68	256
24	271	2.81	1.68	256
25	258	0.05	0.22	256
26	271	2.81	1.68	256
27	258	0.05	0.22	256
28	271	2.81	1.68	256
29	258	0.05	0.22	256
30	258	0.05	0.22	256
31	271	2.81	1.68	256

32	258	0.05	0.22	256
33	258	0.05	0.22	256
34	271	2.81	1.68	256
35	271	2.81	1.68	256
36	271	2.81	1.68	256
37	258	0.05	0.22	256
38	258	0.05	0.22	256
39	271	2.81	1.68	256
40	258	0.05	0.22	256
41	258	0.05	0.22	256
42	271	2.81	1.68	256
43	271	2.81	1.68	256
44	271	2.81	1.68	256
45	271	2.81	1.68	256
46	271	2.81	1.68	256
47	249	0.61	0.78	256
48	258	0.05	0.22	256
49	258	0.05	0.22	256
50	280	7.2	2.68	256
51	280	7.20	2.68	256
52	258	0.05	0.22	256
53	258	0.05	0.22	256
54	249	0.61	0.78	256
55	249	0.61	0.78	256
56	271	2.81	1.68	256
57	258	0.05	0.22	256
58	307	32.51	5.70	256
59	258	0.05	0.22	256
60	271	2.81	1.68	256
61	307	32.51	5.70	256
62	296	20	4.47	256
63	271	2.81	1.68	256
64	280	7.2	2.68	256
65	280	7.20	2.68	256

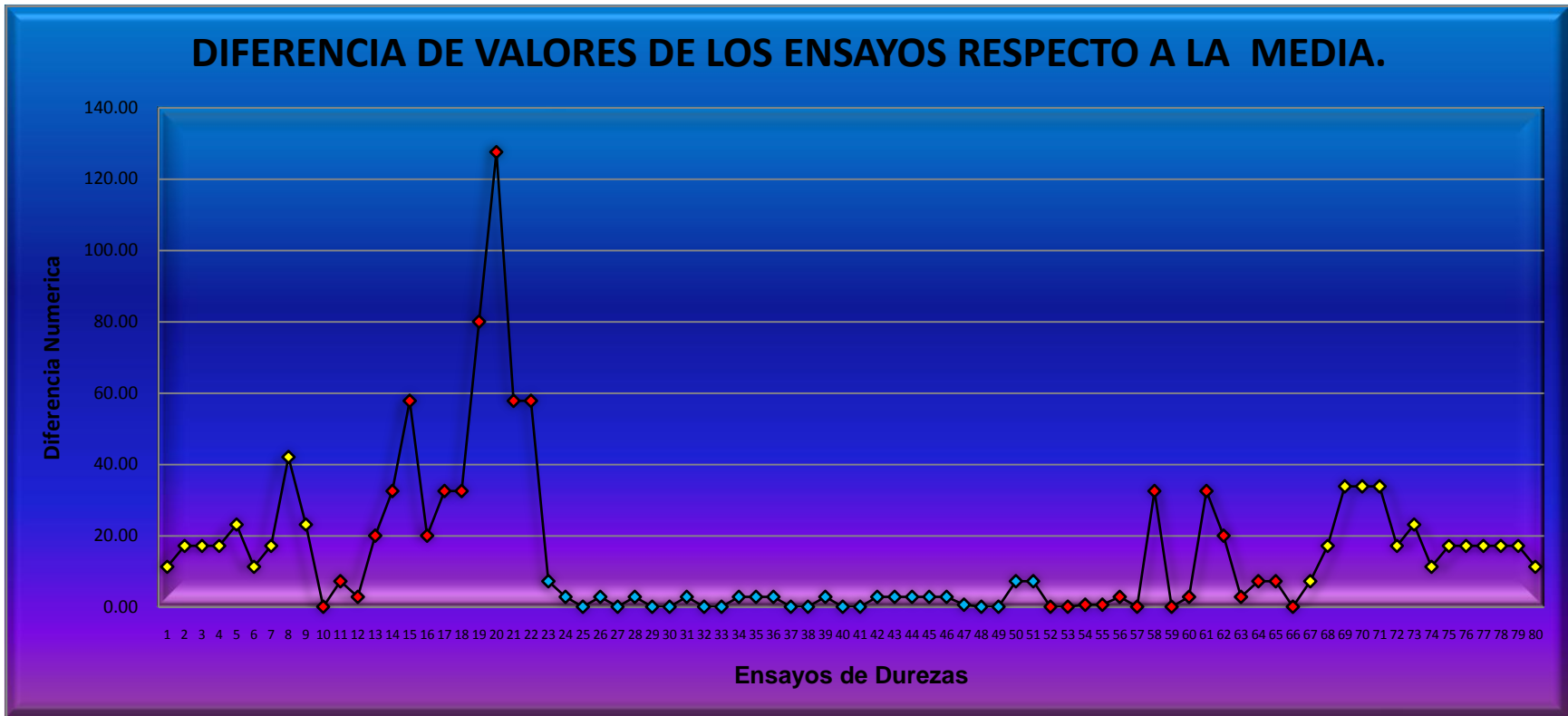
66	258	0.05	0.22	256
67	280	7.20	2.68	256
68	219	17.11	4.14	256
69	204	33.80	5.81	256
70	204	33.8	5.81	256
71	204	33.80	5.81	256
72	219	17.11	4.14	256
73	213	23.11	4.81	256
74	226	11.25	3.35	256
75	219	17.11	4.14	256
76	219	17.11	4.14	256
77	219	17.11	4.14	256
78	219	17.11	4.14	256
79	219	17.11	4.14	256
80	226	11.25	3.35	256

La tabla 4.1 muestra en la segunda columna la distribución de las 80 lecturas de la toma de dureza de las zonas de la soldadura del acero 12% Cromo, dividiéndolas en: Material base, Zona Afectada por el Calor y material de aporte.

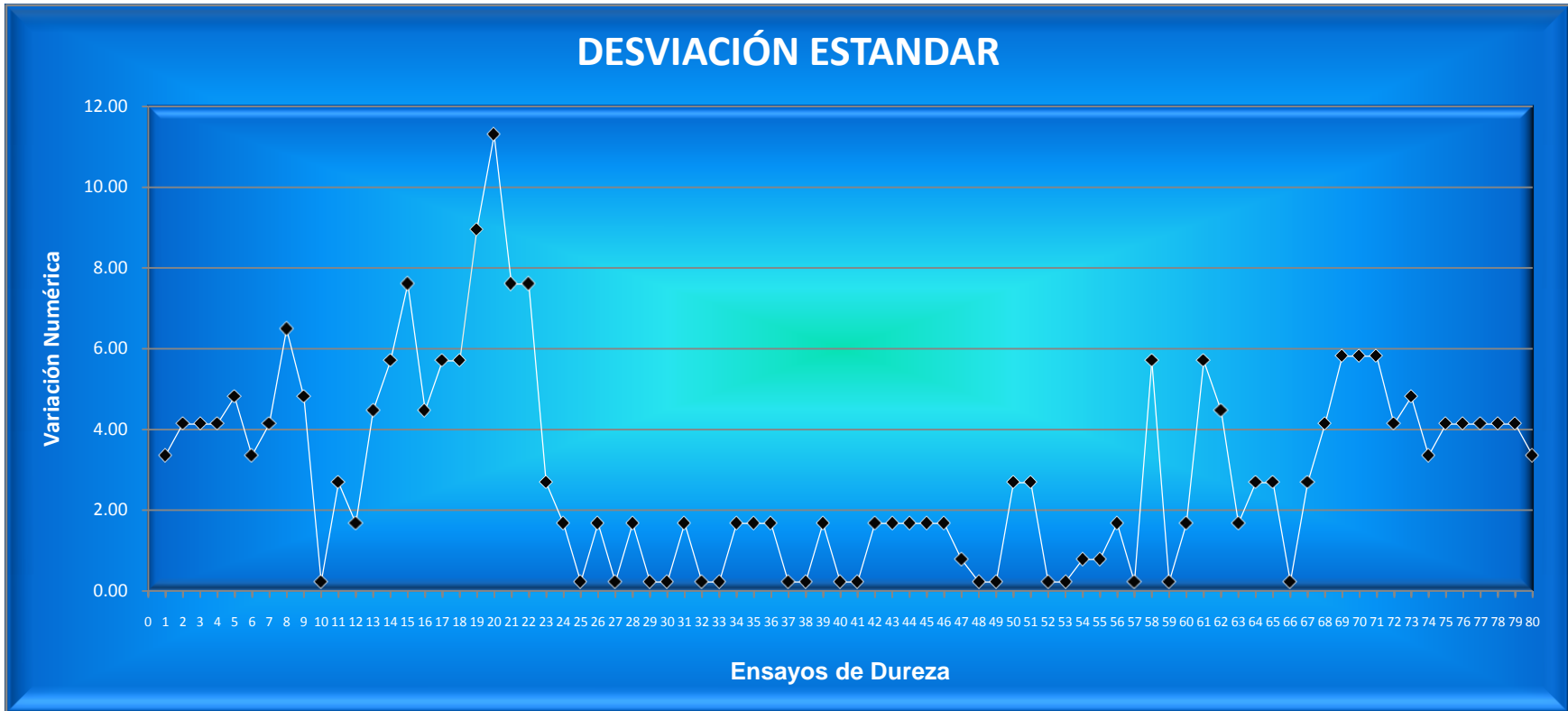
- Las lecturas del material base son de la marca 1 a 9 y de la marca 68 a la 80. (marcados de color amarillo).
- Las lecturas de la ZAC fueron de la marca 10 a la 23 y de la marca 53 a la 67. (marcados de color rojo).
- Las lecturas del material de aporte son de la marca 24 a la marca 52. (marcados de color azul).



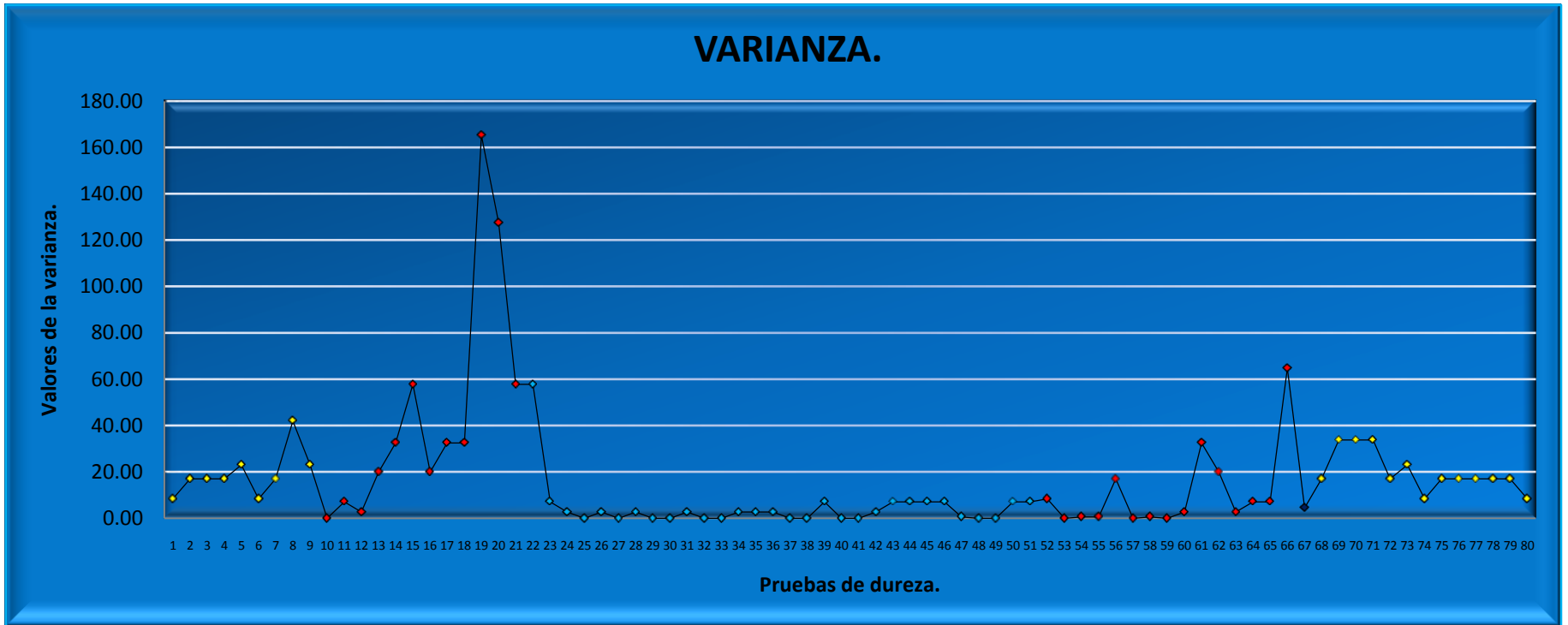
Grafica 4.1.- Gráfica del Procedimiento de soldadura con Tratamiento Térmico de Martempering y Revenido. Los puntos amarillos pertenecen al metal base, los puntos rojos son de la ZAC y los puntos azules son del material de aporte.



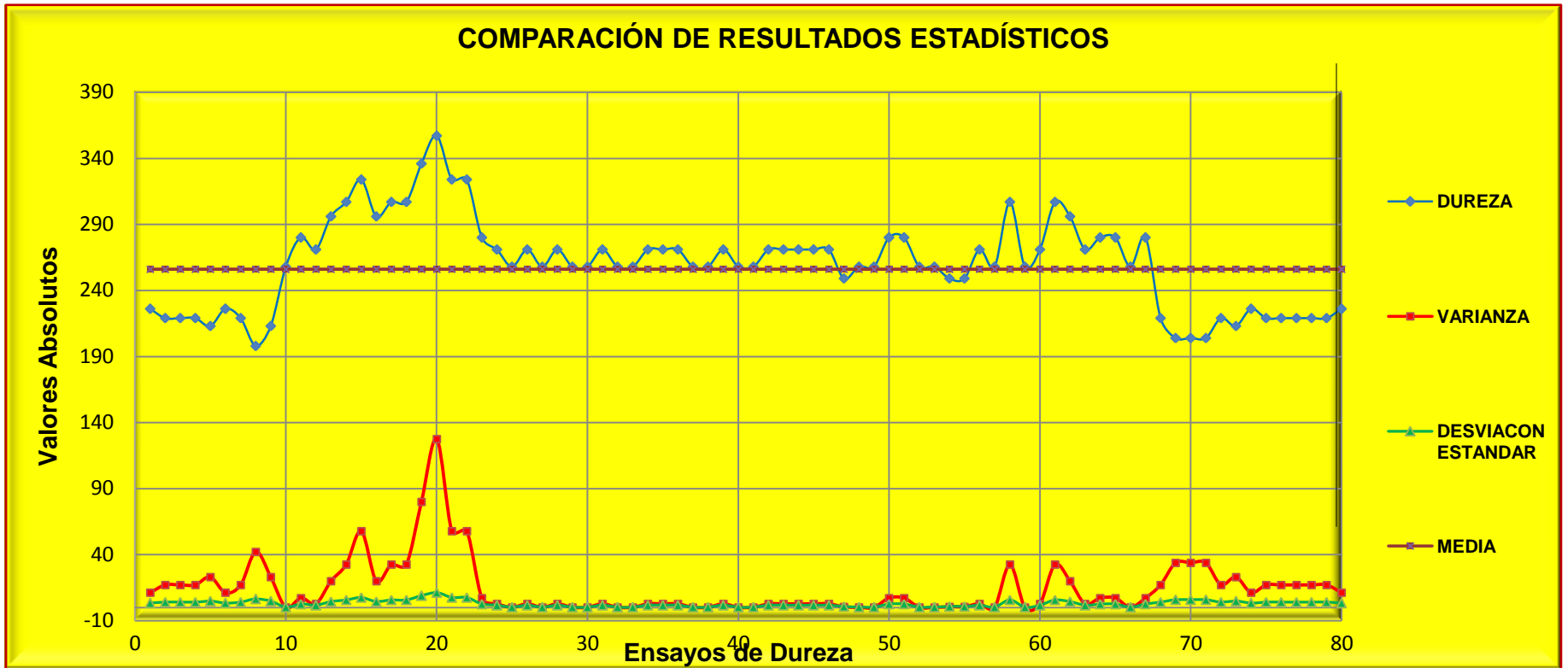
Gráfica 4.2.- Gráfica de la Diferencia en valores absolutos de la dureza en todo el ensayo de Dureza.



Gráfica 4.3.- Gráfica de la Desviación Estándar de los valores obtenidos en la Dureza.



Gráfica 4.4. Gráfica de la Varianza de los valores obtenidos en la Dureza.



Grafica 4.5. Gráficas comparativas de los cálculos estadísticos con los valores obtenidos en la dureza.

IV.2 METALOGRAFÍA.

En esta sección se analizaron las fotografías tomadas a la muestra pulida en los límites de la ZAC, así como el material base y el material de aporte.

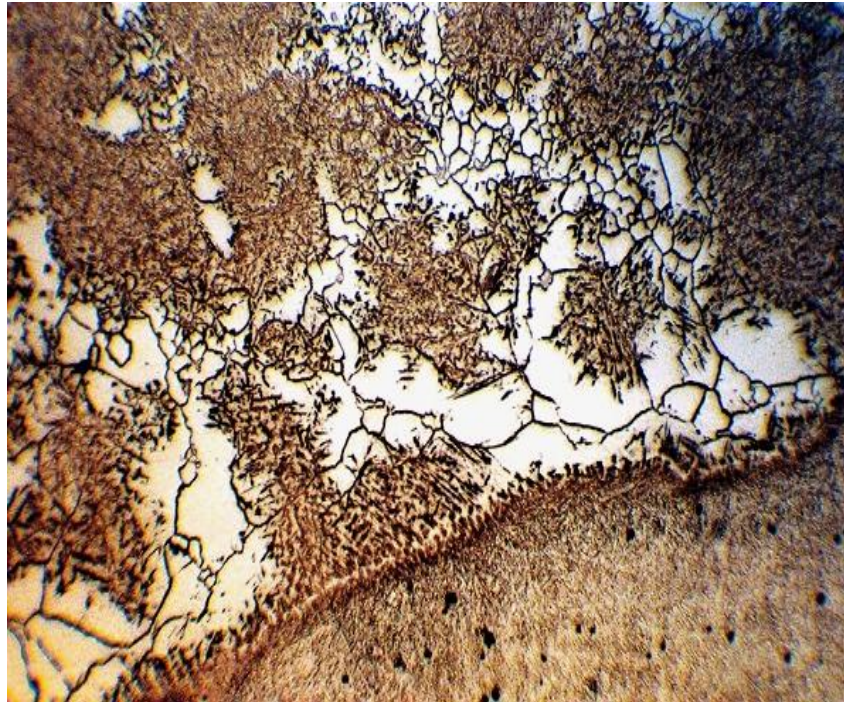


Fig. 4.1. Se observa el material de aporte, línea de fusión y la Zona Afectada por el Calor. La estructura de la ZAC contiene granos de Ferrita, con una estructura de Martensita, también se nota que los granos de Ferrita se encuentra rodeados de un precipitado o de fisuras. Fotografía tomada a 50X.

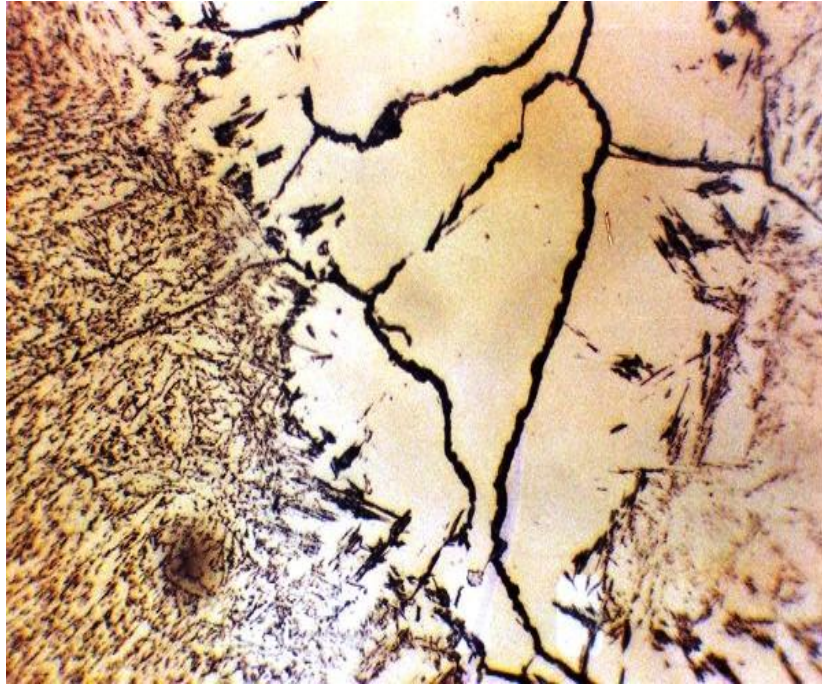


Fig. 4.2. En la presente fotografía se observa la línea de fusión, donde existen cristales de Martensita en ambos lados del material de aporte y la ZAC. El material de aporte con una estructura de Martensita. En la ZAC los cristales de Ferrita se encuentran rodeados de una fase y no se aprecian fisuras; la presencia de Martensita en esta zona de la ZAC es escasa. Fotografía tomada a 200X

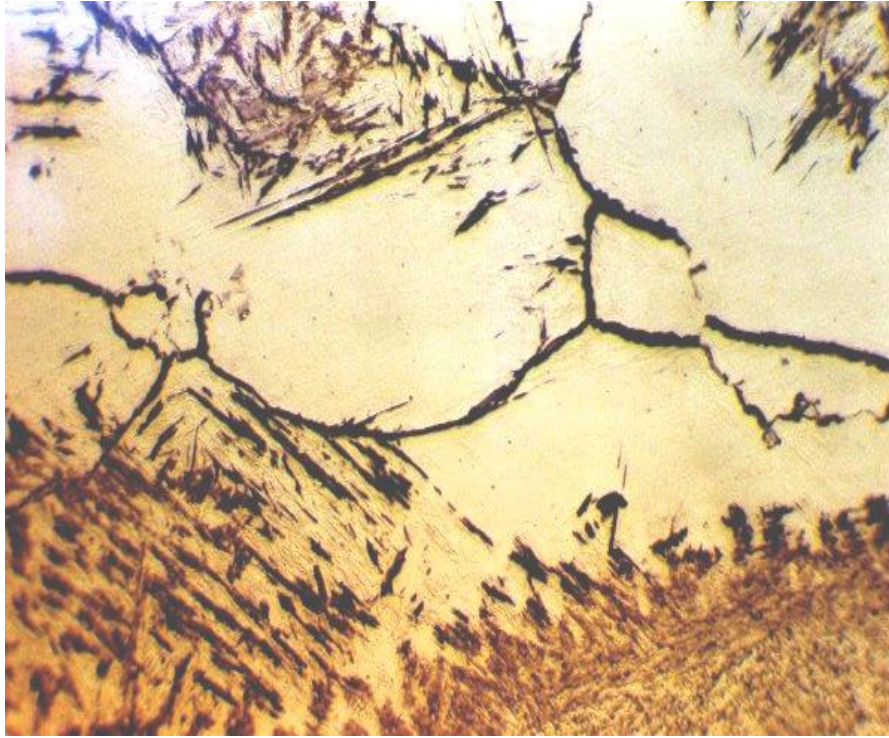


Fig. 4.3. En la presente fotografía donde se observa la línea de fusión, con islas de Martensita y la presencia de granos de Ferrita rodeados de una fase oscura que se puede suponer que es la existencia de carburos de Cromo, hay que hacer notar que la Martensita, tiene una morfología del tipo acicular o agujas. Tomada a 400X.

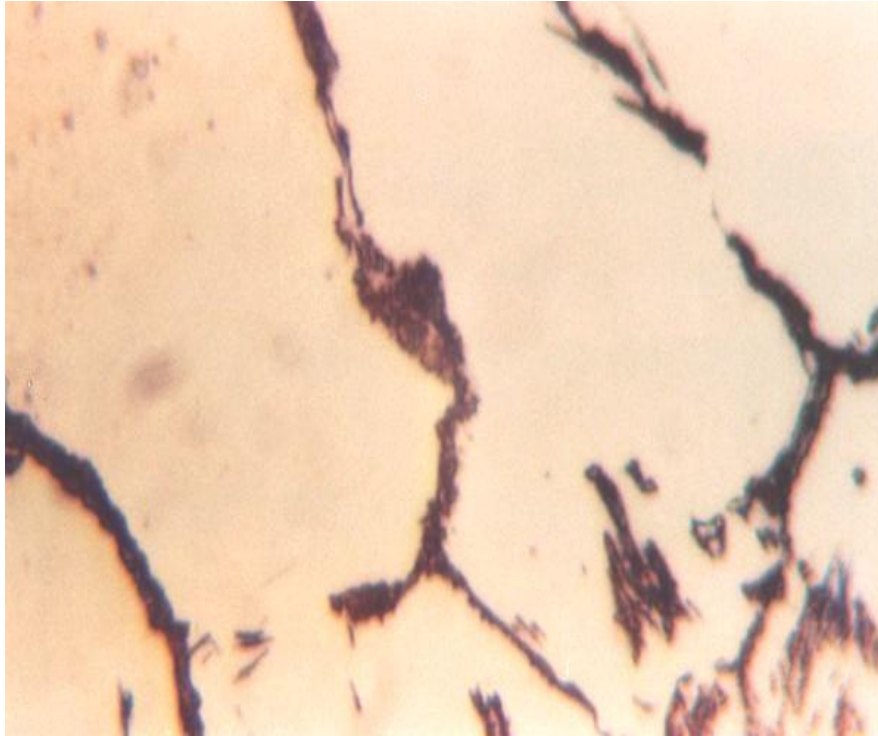


Fig. 4.4. Fotografía donde se observan granos de Ferrita rodeados de carburos de Cromo, y escasos granos de Martensita de tipo acicular. Tomada a 800X

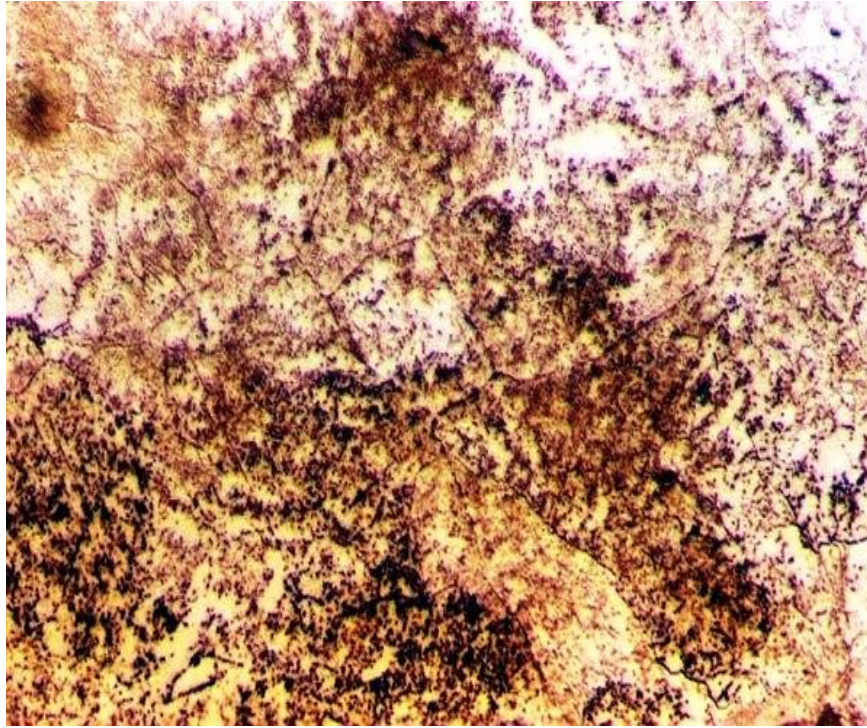


Fig. 4.5.- En la presente fotografía muestra la zona de la ZAC, que se encuentra alejada de la línea de fusión, donde ya no existen granos de Ferrita sin la presencia de Martensita, pero existen gran cantidad de carburos globulizados en una matriz de Ferrita. Tomada a 200X

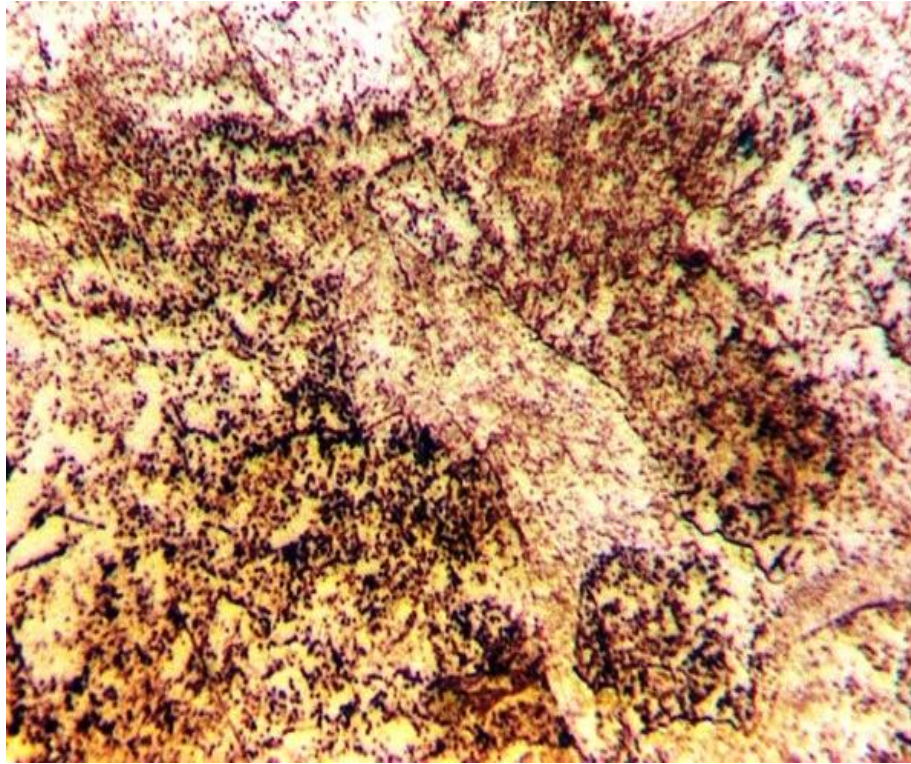


Fig. 4.6. En la presente fotografía es un acercamiento de la zona de la ZAC, donde ya existen granos de Ferrita, pero también existen gran cantidad de carburos globulizados en una matriz de Ferrita. Tomada a 400X

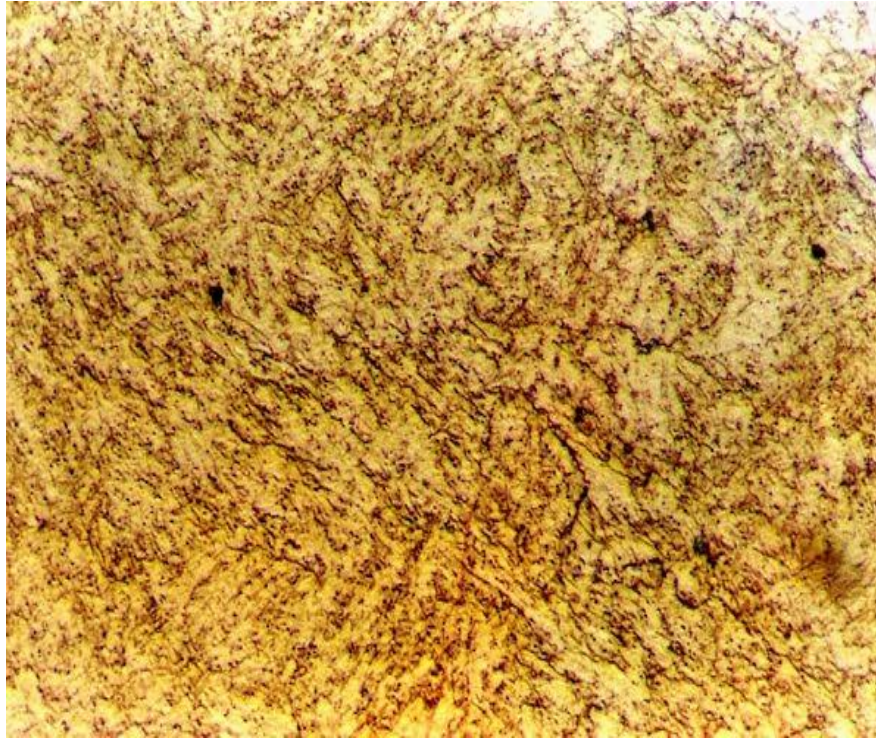


Fig. 4.7. En la presente fotografía muestra el material base, donde existe la presencia de Martensita masiva revenida. Tomada a 400X.

Para las fotografías se utilizó una cámara Canon modelo AE-1 Program, luz fría (Figura 3.12).



Figura 3.12. Cámara Canon AE1 program.

CAPITULO V.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

V.1 RESULTADOS OBTENIDOS.

El procedimiento de la dureza, permitió ver que existen tres zonas bien definidas que tienen un comportamiento homogéneo en las durezas de ellas que se obtuvieron, estas zonas son las características de la soldadura, que son: Metal Base, Material de Aporte y Zona Afectada por el Calor, de las tres zonas la ZAC es la que tiene la mayor dureza.

Si se considera las medias aritméticas de las tres diferentes zonas, se encontró que la media del Metal Base es 206.5 HV-2, Material de Aporte 256.14 HV-2 y ZAC 286.8 HV-2, esto permite ver que la ZAC es 39% más dura que el Metal Base y 12% más dura que el Material de Aporte, y el Material de aporte es 24% más duro que el Material Base.

De acuerdo con los cálculos estadísticos de la Desviación Estándar y la Varianza, la ZAC es la que presenta la mayor diferencia en ambos cálculos, esto quiere decir, que es la que posee la mayor dureza, por otro lado la zona que presenta casi la misma cantidad es el material de aporte, y la zona que presenta una variación por debajo de la media es el Material Base, es decir la que tiene la menor dureza.

La Metalografía muestra una franja donde se observa una mezcla de las estructuras de Ferrita y Martensita, esta franja se localiza adjunta a la línea de fusión. Los granos de Ferrita se encuentran rodeados de una fase, que posiblemente se dura y que se trate de carburos de Cromo.

La estructura que se encuentra más retirada de la línea de fusión es de una Martensita retenida que se genera por el tratamiento de Revenido, que consiste de una estructura de Ferrita con carburos de Cromo

Por último, hay que hacer notar que este tratamiento es para desarrollar un procedimiento de soldadura para el acero CA-15 martensítico, no existen fisuras intercristalinas en la Ferrita y tampoco en la estructura martensítica.

CONCLUSIONES.

El ensayo de dureza indica que el material se comportó como una soldadura clásica, en donde la Zona Afectada por el Calor, es la que presenta la mayor dureza cuando se realiza un proceso de soldadura.

Las soldadura por su dureza se comporta homogéneamente en cada una de las zonas, es decir el Metal Base, Metal de Aporte y Zona Afectada por el Calor son homogéneas en ellas.

Las diferencias son significativas y clásicas en su comportamiento.

La metalografía mostro cambios en la línea de fusión poco conocidos y esto se debe por el fenómeno de la soldadura.

La estructura que se presenta, retirada de la línea de fusión, es la esperada de una Martensita Revenida, por lo tanto, este comportamiento es normal.

La conclusión más importante es que él, material o sea el acero CA-15 no presenta fisuras ni grietas de ningún tipo, esto quiere decir que el acero tiene una alta sanidad.

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.
- Ciencia e ingeniería de los materiales -Donald R. Askeland.Publicación México: International Thomson Editores. 1998.
- Soldadura de aceros inoxidable Mexinox, folletos técnicos edición #2.
- Practical metallurgy and materials of industry, John E. Neely.
- ASTM-E-3-01 Standard Practice for Preparation of MetallographicSpecimens.
- Handbook of Stainless Steel. Donald Peckner and I.M. Berstein, McGrawHill, 1977.
- American Society for Metals. Heat Treater's Guide: Standar Practices and procesures for Steel. October, 1982.
- Metalurgia Mecánica, González, Noriega Limusa, 2003
- R. Calvo Rodes. Prontuario Metalotécnico, Tomo 1: Fundamentos. INTA, 1963.
- J. D. Verhoeven. Fundamentos de Metalurgia Física. Limusa, 1987.
- Engineering Materials. Prentice Hall, 1998.
- ASTM-E-407-99 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.
- http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm.

- http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_inoxidable.