



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

“FUNDICION BLANCA DE ALTO CROMO”

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA

P R E S E N T A:

ALEJANDRO ALVAREZ SANDOVAL

ASESOR: DR. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos
comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Emisión Blanca al Alto Cromo.

que presenta el pasante: Alejandro Alvarez Sandoval
con número de cuenta: 40506808-7 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 ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 6 de Noviembre de 2016

PRESIDENTE Dr. Héctor Enrique Curiel Reyna

VOCAL M.L. José Juan Contreras Espinosa

SECRETARIO M.L. Ramón Osorio Galicia

PRIMER SUPLENTE M.L. Jesús García Lira

SEGUNDO SUPLENTE M.L. Rolando Cortés Montes de Oca

AGRADECIMIENTOS:

A LAS INSTITUCIONES

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad De Estudios Superiores Cuautitlán

A MI ASESOR DR. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA:

Por haber aceptado ser mi asesor de tesis y brindarme gran parte de su tiempo compartiendo sus conocimientos, por la paciencia que tuvo hacia mí para corregir los problemas que se presentaron y por la dedicación mostrada para poder realizar esta tesis..... Gracias Dr.

AL CDR. TOMÁS RANGEL ORTIZ:

Por todos los consejos que me dio para poder realizar esta tesis y llevarla a cabo de una forma correcta, por su tiempo, por compartir sus conocimientos de forma incondicional y por todos los momentos agradables.

AL M. en I. JOSÉ JUAN CONTRERAS ESPINOSA:

Por ser un gran maestro y compartir sus conocimientos durante toda la carrera, por sus consejos y darme motivación para poder conseguir lograr mis metas.

AL ING. NOÉ ALBERTO CORTÉS GUERRERO:

Por el apoyo brindado en la elaboración de las muestras y manejo en los equipos de laboratorio.

DEDICATORIAS:

A Dios

Por permitirme llegar hasta este punto en que me encuentro, haberme dado salud y poder experimentar todas las cosas buenas y malas en esta vida.

A mis padres

A quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: Amor. A quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho. A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aun con las riquezas más grandes del mundo.

Por esto y más.....Gracias.

A Nadia Vázquez Campistrano

Gracias por haber aparecido en mi vida y por todos aquellos momentos maravillosos que pasamos juntos y que donde quiera que te encuentres siempre te llevare en mi corazón.....Gracias niña linda.

A mis hermanos

Balam y Oscar Daniel por apoyarme todo el tiempo en los momentos difíciles y por ser una parte muy importante en mi vida.

A la familia Vázquez Campistrano

Por todo el apoyo que me han brindado durante todo el tiempo de haberlos conocido, por todos esos momentos alegres y divertidos en los que hemos convivido y aunque hemos pasado por cosas difíciles siempre estaremos unidos.

A mi amigo

Pedro Antonio Ramírez por ofrecerme su incondicional amistad durante todo el tiempo en que nos hemos conocido.

A mis grandes amigos

Javier Gonzáles, Rigoberto Velásquez y Oscar Vázquez por todas las cosas buenas y malas que hemos pasado juntos.

A mis compañeros y amigos.

Hugo López, Miguel Ángel Hernández, Moisés Hernández, Erick Zenil, Diego García, Fabián Palomino, Carlos Hernández, Aldo Reyes, Anabel Avilés y Anahí Chávez, por su amistad y por todos los momentos agradables que pasamos.

Gracias a todos ustedes...

ÍNDICE

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1 Tratamientos Térmicos.....	3
2.1.2 Recocido.....	4
2.1.2.1 Recocido Supercrítico.....	4
2.1.2.2 Recocido Subcrítico.....	5
2.1.2.1 Recocido Isotérmico.....	5
2.1.3 Temple.....	6
2.1.4 Revenido.....	9
2.1.5 Normalizado.....	11
2.2 Pruebas de dureza.....	14
2.2.1 Pruebas de dureza Brinell.....	14
2.2.2 Pruebas de dureza Rockwell.....	16
2.2.3 Pruebas de dureza superficial Rockwell.....	18
2.2.4 Pruebas de dureza Vickers.....	19
2.3 Microscopia Óptica.....	20
2.3.1 Introducción.....	20
2.3.2 Partes del microscopio óptico y sus funciones.....	21
2.3.3 Aplicaciones del microscopio óptico.....	22
2.3.4 Métodos básicos.....	23

CAPITULO III

EXPERIMENTACIÓN

3.1 Preparación de muestras.....	25
3.2 Fotografías.....	29
3.3 Pruebas de dureza.....	33
3.4 Resultados obtenidos.....	35
3.5 Discusión de resultados.....	36
3.6 Conclusiones.....	37
3.7 Bibliografía.....	38

CAPITULO I

INTRODUCCION

Se denomina fundición al proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas pero también de plástico, el cual consiste en fundir un material e introducirlo en una cavidad llamada molde, donde se solidifica.

Las fundiciones son aleaciones Fierro-Carbono donde el contenido de Carbono varía entre 2.14% y 6.67%. Son metales poco maleables o dúctiles, pero más fusibles que el Fierro. Su punto de fusión varía entre los 1100°C y 1300°C. Proviene de los altos hornos, como primera etapa de la producción de Hierros y aceros. De acuerdo con la apariencia de su fractura, las fundiciones pueden ser grises, blancas, atruchadas, aunque también existen las fundiciones maleables, nodulares y especiales o aleadas.

Fundición blanca:

La fundición blanca contiene de 2.5 a 3.0% de Carbono, funde entre los 1100° y 1200°C, es menos fluida que la gris, se contrae algo al solidificarse y el Carbono se presenta en forma de carburo de Fierro (Cementita).

Es muy dura, carece de maleabilidad, es frágil y de estructura fibrosa de grano chico; la superficie de fractura es de color blanco. Se utiliza para la fabricación de Hierros y aceros por afinado, método Bessemer, Thomas o Siemens Martín.

Estas fundiciones se caracterizan por su dureza y resistencia al desgaste, siendo sumamente quebradiza y difícil de mecanizar. Esta fragilidad y falta de maquinabilidad limita la utilización industrial de las fundiciones "totalmente blancas", quedando reducido su empleo a aquellos casos en que no se quiera ductilidad como en las camisas interiores de las hormigoneras, molinos de bolas, algunos tipos de dados de estirar y en las boquillas de extrusión.

También se utiliza en grandes cantidades, como material de partida, para la fabricación de fundición maleable.

Las fundiciones blancas con alto Cromo, suelen utilizarse en varias ramas de la industria, como la minera, siderurgica, cementera, entre otras, ya que es un material que cuenta con una alta dureza y tiene una resistencia al desgaste, resistencia a la oxidación y tenacidad a temperaturas elevadas.

Este tipo de materiales se obtiene mediante un proceso llamada moldeo a partir del caldo líquido, este se solidifica dando paso a la formación de dendritas de Austenita y se caracteriza por poseer una microestructura formadas a base de un alto contenido de carburo eutéctico.

La presente investigación es realizada con el fin de observar y comparar que efectos ocurren en una fundición blanca al alto Cromo, si se cuenta con una muestra original y se le aplica a otra muestra un tratamiento térmico como es un normalizado.

Ver los cambios ocurridos en la estructura y obtener su dureza por el método Vickers y Rockwell C.

Características y composición química del material.

Este trabajo se realizo sobre una fundición blanca de alto Cromo, cuyas probetas se obtuvieron de un buje para un sistema de bombeo que se utiliza para la extracción de lodos abrasivos.

Su composición química se muestra en la siguiente Tabla:

3.81 %C	14.75 % Cr	2.50 % Mo	CR / C = 3.87
---------	------------	-----------	---------------

Tabla 1 Composición química fundición blanca con alto contenido de Cromo (% en peso)

CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1 Tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos son el proceso al que se someten los metales u otros sólidos con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y tenacidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, al acero y fundición, formados por Hierro y Carbono.

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido a temperaturas y condiciones determinadas para cambiar sus propiedades mecánicas y no se alteran las propiedades químicas

Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el Hierro y Carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos.

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión. El tiempo y la temperatura son los factores principales y hay que fijarlos de antemano de acuerdo con la composición del acero, forma, tamaño de las piezas y características que se desean obtener

2.1.2 Recocido

Su objetivo principal es "ablandar" el acero para facilitar su mecanizado posterior. También es utilizado para regenerar el grano o eliminar las tensiones internas. Se debe tener en cuenta que los recocidos no proporcionan generalmente las características más adecuadas para la utilización del acero y casi siempre el material sufre un tratamiento posterior con vistas a obtener las características óptimas del mismo. Cuando esto sucede el recocido se llama también "tratamiento térmico preliminar" y al tratamiento final como "tratamiento térmico de calidad". Los tipos de recocidos son los siguientes: recocido de regeneración, recocido de engrosamiento de grano, recocidos globulares o esferoidales (recocido globular Subcrítico, recocido regular de austenización incompleta o recocido globular oscilante), recocido de homogenización, recocidos subcríticos (de ablandamiento o de acritud), recocido isotérmico y recocido blanco.

2.1.2.1 Recocido Supercríticos

De austenización completa (recocido de regeneración): se calienta el acero a temperaturas superiores a las críticas Ac_3 ó A_{cm} para transformar el material en Austenita, mayormente se utilizan para los aceros que presentan efectos de fatiga. De austenización incompleta (recocido globular de austenización incompleta): se realizan a solo temperaturas superiores a las Ac_1 y Ac_{3-2-1} se convierte la Ferrita en Austenita.

2.1.2.2 Recocido Subcrítico

Se calientan los materiales a temperaturas inferiores a las temperaturas críticas Ac_1 ó Ac_{3-2-1} . Este a su vez se clasifica en: recocido globular que consigue la Cementita de estructura globular mas perfecta; recocido de ablandamiento; recocido contra acritud se realiza para mejorar la ductilidad y maleabilidad del acero y poder someterlo a nuevos procesos de laminación; recocido de estabilización

Recocido Isotérmico

A diferencia de todos los anteriores se trasforma la Austenita en Perlita a una temperatura constante. En el recocido de segundo genero o de austenitización completa, se calienta el material por encima del punto critico superior y se mantiene caliente hasta lograr una homogenización del material, luego producimos un enfriamiento lento para conseguir que el acero quede blando, cuanto mas lento sea el enfriamiento mas blando será el acero, si se aumenta la velocidad de enfriamiento al atravesar el acero la zona critica, se aumenta la dureza, si esta velocidad sobrepasa la velocidad critica, la Austenita comienza a transformarse en otros constituyentes. El acero se puede sacar del horno cuando ya los cristales de Austenita se han transformado completamente en Perlita blanda, este punto depende de la velocidad de enfriamiento, por ejemplo a una velocidad de 10 grados/hora, el proceso de transformación ocurre sobre los 700-680 °C, y a 20 grados/hora, la transformación ocurre a 680-650 °C.

2.1.3 Temple

El Temple es un tratamiento térmico que consiste en enfriar muy rápidamente, la mezcla Austenita homogénea, que tenemos después de calentar el acero, con este enfriamiento rápido se consigue un aumento de dureza, ya que el resultado microscópico final es una mezcla martensítica. La temperatura de temple para los aceros hipoeutectoides son de 30-50 °C, por encima de esta temperatura, el grano de Austenita crece mucho, obteniéndose Austenita basta de baja tenacidad. El tiempo de enfriamiento debe de ser rápido pero solo en el intervalo de temperatura de 650-400 °C, que es donde la Austenita es menos estable y es donde se forma la mezcla de ferrita y Cementita , por encima de 650 °C la velocidad puede ser mas lenta , pero no tanto que permita la precipitación de ferrita o la transformación de Austenita en perlita , por debajo de los 400 °C comienza la zona de estabilidad de la Austenita , y el enfriamiento puede volver a ser lento, y en el intervalo de 200-300 grados, el enfriamiento debe de ser lento para evitar tensiones térmicas resultantes de un enfriamiento rápido. En los aceros hipereutectoides el Temple se suele realizar con calentamiento de austenización incompleta, en la masa original caliente hay Austenita y una cantidad de Cementita y carburos aleados, después del enfriamiento se obtiene Martensita y carburos, este proceso produce mejores resultados en la practica industrial. Factores que influyen en el temple de los aceros son la composición, tamaño de grano y tamaño de las piezas.

El estudio de las velocidades críticas del temple debe de hacerse con ayuda de las curvas de la "S" de enfriamiento continuo, las cuales reflejan la influencia de la composición sobre la velocidad de enfriamiento, al aumentar el porcentaje de Manganeso y Cromo, las curvas se desplazan hacia la derecha y por tanto las velocidades críticas del temple disminuyen. El tamaño de grano modifica la situación y forma de la curva "S", en aceros de la misma composición, las velocidades del temple de grano grueso son menores que las velocidades de grano fino.

El tamaño, volumen y espesor de las piezas tiene gran importancia, ya que si enfriamos una pieza grande primero se enfría la superficie exterior rápidamente, pero las capas interiores tardan más, ya que el calor debe de atravesar las capas exteriores y estas capas tienen una conductividad limitada, con lo cual perfiles delgados enfrían antes que gruesos. El medio de enfriamiento también influye siendo este proceso por etapas, en la primera el acero al sumergirse en el líquido se forma una capa de vapor, al ser su temperatura muy alta, que rodea el metal y el enfriamiento se hace por conducción y radiación a través de la capa gaseosa, siendo un enfriamiento muy lento. En la segunda etapa cuando desciende la temperatura de superficie del metal, la película de vapor va desapareciendo, pero el líquido hierve alrededor de las piezas y se forman burbujas que transportan el vapor por conducción. En la tercera etapa el enfriamiento lo hace el líquido por conducción y convección, cuando la diferencia de temperatura del líquido y la pieza es pequeña, con lo que el líquido influye en la velocidad según su temperatura de ebullición, conductividad térmica, viscosidad, calor específico y calor de vaporización.

Si se realiza un temple mal, podemos encontrar defectos en la pieza como una dureza insuficiente para nuestros propósitos, que se hayan formados puntos blandos, piezas con mucha fragilidad, descarburación, grietas etc.

La escasa dureza y la formación de puntos blandos se explican por la falta de calentamiento, por no haber alcanzado la temperatura necesaria o por no haber permanecido el suficiente tiempo en ella, la fragilidad excesiva es por un temple a temperaturas altas, etc. por lo cual hay que extremar los cuidados a la hora de iniciar un proceso de temple y realizarlo correctamente, ya que son muchos los factores que pueden echar a perder las piezas y que no sean válidas para nuestros propósitos.

Existe un proceso llamado temple superficial que se usa para endurecer superficialmente ciertas piezas de acero conservando la tenacidad de su núcleo, el proceso consiste en calentar las capas superficiales a una temperatura superior a los puntos críticos y enfriar rápidamente siguiendo la sección de la pieza, como las diferentes capas interiores de la pieza se han calentado a diferentes temperaturas, se ha producido en la pieza diferentes temples, en la superficie el temple será completo, en el interior, incompleto y en el centro inexistente.

Hay diferentes métodos como el de calentamiento por llama oxiacetilénica, recomendado para piezas que por su forma o tamaño, no se pueden aplicar otros métodos, la ventaja de este método es que se pueden templar incluso partes de una pieza, el método de inducción, que usa el flujo magnético creado por una corriente alterna de alta frecuencia que pasa por un inductor, la característica más importante de este método es que para cada forma de pieza. Se le colocan unas espiras de una forma determinada, es el método más empleado ya que no se quema el carbono, no se produce oxidación y no se forma cascarilla, el inconveniente principal es que no se puede utilizar para piezas únicas, ya que hay que crear un inductor específico para cada forma.

2.1.4 Revenido

Después del temple, los aceros suelen quedar demasiado duros y frágiles para los usos a los que están destinados. Esto se corrige con el proceso del revenido, este proceso consiste en calentar el acero a una temperatura mas baja que su temperatura crítica inferior, enfriándolo luego al aire, en aceite o en agua, con esto no se eliminan los efectos del temple, solo se modifican, se consigue disminuir la dureza, resistencia y las tensiones internas y se aumenta la tenacidad. El acero, después del temple, esta compuesto por cristales de Martensita, si se vuelve a calentar a diferentes temperaturas, entre temperatura ambiente y 700°C y después se enfría al aire, la resistencia a la tracción disminuye a medida que la temperatura del revenido aumenta y al mismo tiempo aumenta la ductilidad y tenacidad, resistencia al choque o resiliencia, que es baja cuando el revenido se hace a temperatura inferiores a 450°C, aumenta cuando se hace a temperatura más elevadas. En ciertos aceros en los que después del temple queda Austenita residual, se presenta un aumento de dureza, cuando el revenido se hace entre 350°C y 550°C, transformándose la Austenita en otros constituyentes. Los aceros después del revenido, por lo general se contraen estas variaciones de propiedades que suceden en el revenido, se deben a los cambios microestructurales, que consisten en la descomposición de la Martensita que se había obtenido en el temple y que se transforma en otros constituyentes más estables. La estructura obtenida en un revenido a 200-250°C es de Martensita de red cúbica, a 400°C se observa un oscurecimiento fuerte, al aumentar a 600-650° se desarrolla la coalescencia de la Cementita

Con ayuda del microscopio electrónico se ha podido llegar a la conclusión que el revenido se hace en tres etapas:

La primera etapa se realiza a bajas temperaturas, menores de 300°C y se precipita carburo de Hierro epsilon y el porcentaje de carbono en la Martensita baja a 0.25%, el carburo de Hierro cristaliza en el sistema hexagonal, en los límites de los subgranos de la Austenita y la Martensita cambia su red tetragonal a red cúbica

En la segunda etapa, solo se presenta cuando hay Austenita retenida en la microestructura del acero, la cual se transforma en vainita, que al ser calentada a altas temperaturas también precipita en carburo de Hierro, con formación final de Cementita y ferrita.

En la tercera etapa, el carburo de Hierro que apareció en la primera etapa, se transforma en Cementita, cuando sube la temperatura, se forma un precipitado de Cementita en los límites y en el interior de las agujas de Martensita, la cual al aumentar la temperaturas se redisuelve la del interior y se engruesa la del exterior, al subir más la temperaturas se rompe la Cementita exterior y a 600°C la matriz queda constituida por Ferrita. Al final la Martensita se ha transformado en Cementita y Ferrita. En los revenidos la Martensita obtenida al temple, va perdiendo Carbono que aparece en forma de carburo epsilon, y Cementita. Cuando después del temple aparece Austenita residual, los cambios microestructurales cuando empieza a calentar, son iguales a los anteriores, pero a 225°C comienza la descomposición de la Austenita hasta los 400°C, produciéndose un oscurecimiento de la estructura. Cuanto mas baja sea la temperatura del temple, la Austenita residual será menos refractaria y a más temperatura del temple será más difícil conseguir la transformación isotérmica de la Austenita. Esta Austenita sufre una precipitación de carburos complejos de alta aleación y disminuye el contenido en Carbono, después de esta precipitación y al enfriar, se transforma en Bainita.

2.1.5 Normalizado

El tratamiento térmico de normalización del acero, se lleva a cabo al calentar aproximadamente a 20°C por encima de la línea de temperatura crítica superior, seguida de un enfriamiento al aire hasta la temperatura ambiente. El propósito de la normalización es producir un acero más duro y más fuerte que con el recocido total, de manera que para algunas aplicaciones éste sea el tratamiento térmico final. Sin embargo, la normalización puede utilizarse para mejorar la maquinabilidad, modificar y refinar las estructuras dendríticas de piezas de fundición, refinar el grano y homogeneizar la microestructura, para mejorar la respuesta en las operaciones de endurecimiento.

El hecho de enfriar más rápidamente el acero, hace que la transformación de la Austenita y la microestructura resultante se vean alteradas, ya que como el enfriamiento no se produce en condiciones de equilibrio, el diagrama Fierro-Carburo de Fierro, no es aplicable para predecir las proporciones de Ferrita y Perlita proeutectoide que existirán a temperatura ambiente. Ahora, se tendrá menos tiempo para la formación de la Ferrita proeutectoide, en consecuencia, habrá menos cantidad de esta en comparación con los aceros recocidos. Aparte de influir en la cantidad de constituyente proeutectoide que se formará, la mayor rapidez de enfriamiento en el normalizado también afectará a la temperatura de transformación de Austenita y en la fineza de la Perlita. El hecho de que la Perlita (que es una mezcla eutectoide de Ferrita y Cementita) se haga más fina implica que las placas de Cementita están más próximas entre sí, lo que tiende a endurecer la ferrita, de modo que esta no cederá tan fácilmente, aumentando así la dureza. El enfriamiento fuera del equilibrio también cambia el punto eutectoide hacia una proporción de Carbono más baja en los aceros hipoeutectoides y más alta en los aceros hipereutectoides. El efecto neto del normalizado es que produce una estructura de Perlita más fina y más abundante que la obtenida por el recocido, resultando un acero más duro y más fuerte.

Diagramas de Transformación

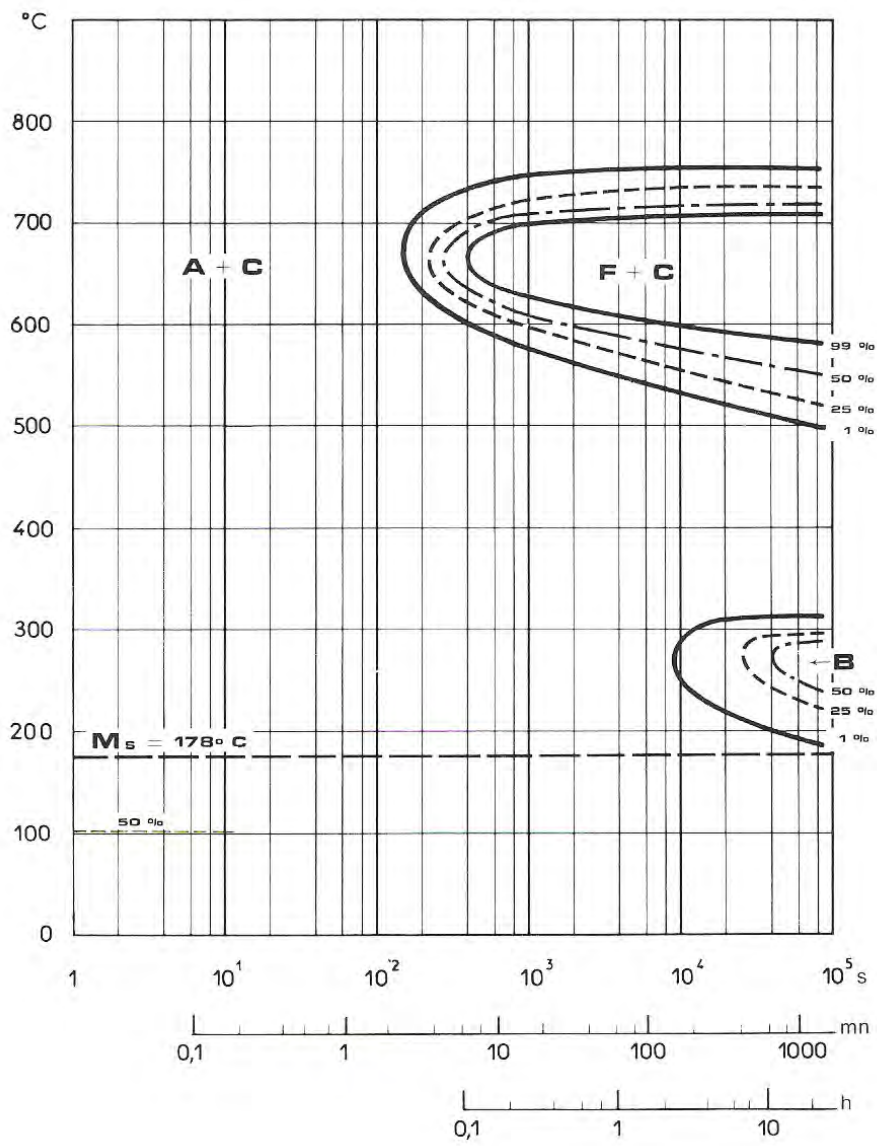


Figura 1 Curva isotérmica de transformación a 800 ° C

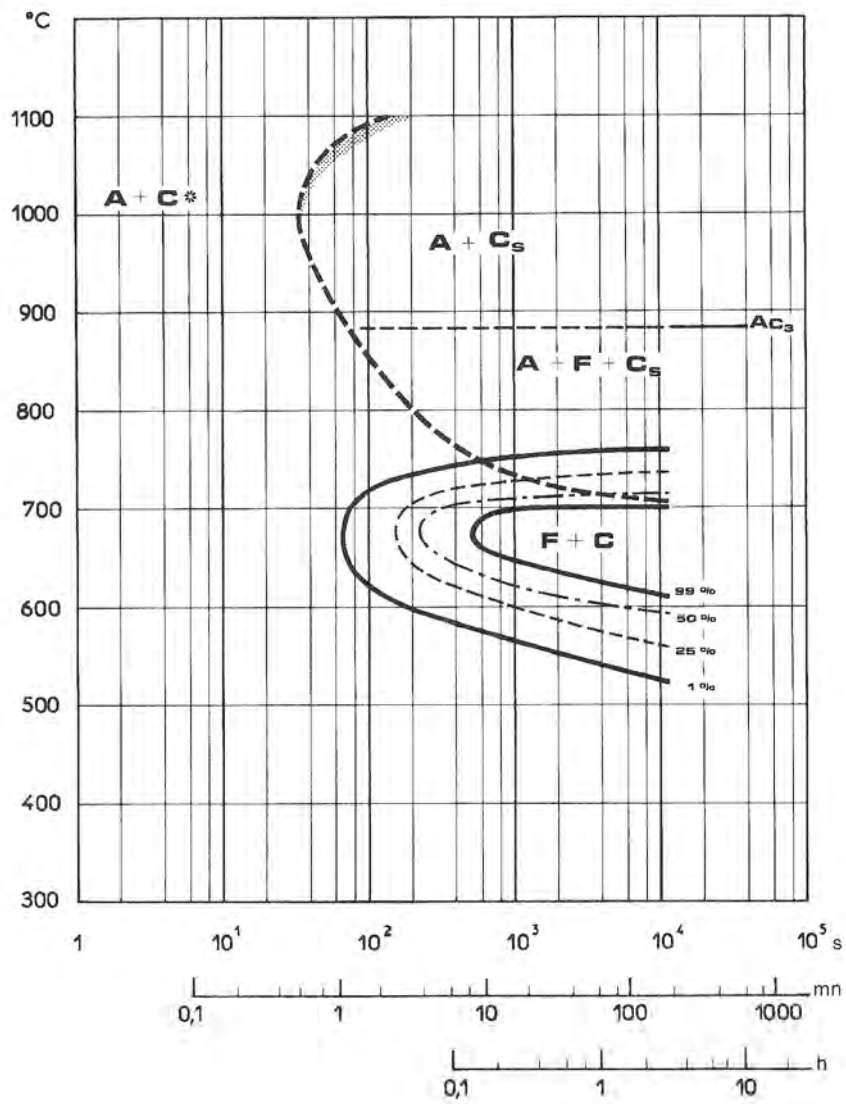


Figura 2 Curva isotérmica de transformación a 1100 ° C

2.2 Pruebas de Dureza.

La dureza se define como la resistencia a la penetración, esta resistencia es la función de las propiedades mecánicas del material, sobre todo de su límite elástico y en menor grado, de su tendencia al endurecimiento de trabajo y del módulo de elasticidad; por lo tanto, las pruebas de dureza pueden proporcionar datos de los que se pueden derivar muchas propiedades mecánicas importantes, puesto que las pruebas de dureza se pueden llevar a cabo fácil y rápidamente, se usan ampliamente y se emplean para controlar procesos, así como para inspeccionar y determinar la aceptación de materiales y componentes.

Las pruebas de dureza comunes se basan en la aplicación lenta de una carga fija a un indentador que se abre paso sobre la superficie lisa de la muestra. Una vez que se quita la carga, se mide el área o bien la profundidad de la penetración, lo cual indica la resistencia a la carga.

A continuación se analizan las tres principales clases de pruebas que se llevan a cabo.

2.2.1 Prueba de Dureza Brinell

La prueba de Brinell se basa en cargas mecánicas o hidráulicas hasta de 3,000 kg, que actúan a través de una bola de 10 mm de acero endurecido o de carburo. A fin de compensar las variaciones en la respuesta de los materiales a la aplicación de la carga, se debe especificar el tiempo que ésta se aplica. Para materiales duros, tales como el acero, un período de carga de quince segundos es el apropiado. Los metales y las aleaciones más blandos, por ejemplo el bronce, requieren alrededor de treinta segundos y el magnesio, aproximadamente dos minutos, después de quitar la carga, el diámetro de la impresión hecha por la bola se mide en milímetros.

El número de dureza de Brinell, cuya abreviatura es BHN, es el cociente de la carga P , dividido por el área A de la impresión:

$$\text{BHN} = \frac{P}{D \sqrt{(D^2 - d^2) \pi D / 2}}$$

En donde D es el diámetro de la bola y d el de la impresión.

En la práctica, el BHN se lee directamente en una tabla en la que se enumeran valores diferentes de d para varios valores de P .

El método de dureza Brinell tiene como ventaja en comparación con la mayoría de otros métodos de medición, el determinar un valor de la dureza en un área relativamente grande, reduciendo entonces las inconsistencias causadas por defectos, imperfecciones y falta de homogeneidad en el material.

La principal desventaja del método Brinell es que la máquina para suministrar la carga para imprimir la bola en el material con frecuencia es estorbosa y no siempre se puede realizar la impresión donde se requiere, la bola no puede imprimirse en materiales muy delgados y en muestras extremadamente pequeñas.

2.2.2 Pruebas de Dureza Rockwell

Las pruebas de Rockwell dependen de la medición de la profundidad diferencial de una deformación permanente, producida por la aplicación y la eliminación de cargas diferenciales. Se usan varias combinaciones de penetrador y carga, para adaptar las distintas pruebas de Rockwell a materiales de diversa dureza y espesor. Entre los penetradores se incluyen diamantes de forma cónica, conocidos como Brale y bolas de acero duro, cuyos diámetros varían 1/16" a 1/2". El diamante cónico tiene un ángulo de abertura de 120° y un radio de 0.2 mm, en la punta.

Las pruebas Rockwell estándar requieren que se emplee una carga ligera de 10 kg, para asentar firmemente el penetrador en la superficie de la muestra; esto se conoce como carga menor. Después de la aplicación de la carga menor, se pone a cero el calibrador de profundidad y se aplica y se retira una carga mayor, llamada carga principal. Mientras está actuando todavía la carga menor, se mide la profundidad de penetración permanente. El indicador de profundidad, que sirve para medir la penetración, se calibra en forma tal que su lectura se haga directamente en índices de dureza, en vez de pulgadas. Las cargas más usuales para las pruebas Rockwell estándar son de 60, 100 y 150 Kg.

En la siguiente tabla se muestran las relaciones entre la designación de la escala, las cargas y los penetradores.

Símbolo de la escala	Penetrador	Carga mayor (kg)	Aplicaciones
A	Diamante	60	Aceros tratados y sin tratar. Materiales muy duros. Chapas duras y delgadas.
B	Bola de 1/16 pulgada	100	Aceros recocidos y normalizados.
C	Diamante	150	Aceros tratados térmicamente.
D	Diamante	100	Aceros cementados.
E	Bola de 1/8 pulgada	100	Metales blandos y antifricción.
F	Bola de 1/16 pulgada	60	Bronce recocido.
G	Bola de 1/16 pulgada	150	Bronce fosforoso y otros materiales.
H	Bola de 1/8 pulgada	60	Metales blandos con poca homogeneidad, fundiciones con base hierro.
K	Bola de 1/8 pulgada	150	Aplicaciones análogas al tipo anterior.

Tabla 2 Relaciones entre la designación de la escala, cargas y penetradores

El penetrador usado y el tamaño de la carga de impresión en la prueba del material se definen por una letra que es parte de la lectura Rockwell.

La letra designa las condiciones de la prueba es una parte importante de la notación de la dureza, porque el número sólo puede representar varias condiciones diferentes de dureza.

2.2.3 Pruebas de Dureza Superficial Rockwell

Las pruebas Rockwell superficiales se utilizan para medir la dureza de muestras delgadas y de otras que sólo tienen una capa delgada de endurecimiento superficial. Los penetradores existentes para las pruebas superficiales son los mismos que los que se emplean para las pruebas estándar. Las cargas para las pruebas superficiales son mucho más ligeras que para pruebas estándar; la carga menor es de 3 kg y la mayor de 15, 30 ó 45 Kg.

La siguiente tabla nos muestra las condiciones para determinar la dureza superficial Rockwell.

Símbolo de la escala	Penetrador	Carga mayor (kg)	Aplicaciones
15N	Diamante	15	Aceros nitrurados, cementados y herramientas de gran dureza.
30N	Diamante	30	Aplicaciones análogas al tipo anterior.
45N	Diamante	45	Aplicaciones análogas al tipo anterior.
15T	Bola de 1/16 pulgada	15	Bronce, latón y aceros blandos
30T	Bola de 1/16 pulgada	30	Bronce, latón y aceros blandos
45T	Bola de 1/16 pulgada	45	Bronce, latón y aceros blandos
15W	Bola de 1/8 pulgada	15	Bronce, latón y aceros blandos
30W	Bola de 1/8 pulgada	30	Bronce, latón y aceros blandos
45W	Bola de 1/8 pulgada	45	Bronce, latón y aceros blandos

Tabla 3 Muestra las condiciones para determinar la dureza superficial Rockwell

2.2.4 Pruebas de Dureza Vickers

Es difícil la medición del diámetro de la impresión hecha con la bola de Brinell. La ventaja de un penetrador piramidal sobre el de bola, reside en la facilidad relativa con que se mide la diagonal de la impresión.

En la prueba de dureza de Vickers se utiliza como indentador un diamante tallado en forma de pirámide de base cuadrada invertida. Se aplican cargas ligeras por medio de un sistema de pesas y palancas. La impresión de la prueba de Vickers se mide utilizando un microscopio y es tan pequeña que se la puede considerar como una medición microscópica de dureza. La dureza de Vickers se calcula dividiendo la carga por el área proyectada de la impresión. En la práctica, el índice de dureza se determina a partir de tablas de carga y mediciones diagonales.

El principio de Vickers ha sido aplicado al microscopio, habiéndose podido determinar la dureza de los constituyentes estructurales utilizando cargas muy pequeñas desde 1 a 100gr.

Puede utilizarse para toda clase de materiales, blandos, duros, también para chapas muy delgadas, piezas cementadas, nitruradas, endurecidas superficialmente, etc. Por todas estas razones es el procedimiento que se emplea para determinar las durezas en todos los estudios e investigaciones científicas.

La forma de operar es muy sencilla; la carga es aplicada por medio de un juego de palancas que mueven una leva, después de haber mantenido la carga durante un cierto tiempo relativamente corto, se coloca automáticamente un microscopio sobre la huella a la vez que se levanta la punta del diamante.

La huella formada es muy pequeña y sus bordes forman en la superficie ensayada un cuadrado cuyas diagonales se miden en una retícula graduada y luego en una tabla se halla la dureza.

2.3 Microscopia óptica

2.3.1 Introducción

Microscopio es una palabra derivada del griego cuyo significado literal es “visión de lo pequeño”; como bien lo indica su nombre, nos permite visualizar elementos que a simple vista no son visibles o difíciles de ver en detalle.

La utilización de lentes para observar elementos aumentados se conocía desde tiempos de Arquímedes, pero la óptica como disciplina se vino a desarrollar durante el siglo XIII. La invención del microscopio compuesto (combinación de varios lentes) permitió el desarrollo de la microscopía y de avances en materia como la botánica y biología celular.

Actualmente el microscopio es un instrumento de uso cotidiano en el laboratorio de diagnóstico e investigación, en diversas áreas como la bacteriológica, patología, micología y como en nuestro caso, en la metalografía.

Por eso es necesario conocer sus componentes y principios de funcionamiento.

Sistema de iluminación: fuente de luz, filtros y diafragma.

Sistema mecánico: base, brazo, platina, tornillos, revolver, tubo y cabezal.

Sistema óptico: condensador, objetivos y oculares.

2.3.2 Partes del microscopio óptico y sus funciones

Ocular: lente situada cerca del ojo del observador. Capta y amplía la imagen formada en los objetivos.

Objetivo: lente situada cerca de la preparación. Amplía la imagen de ésta, lo que significa que es muy importante este elemento del microscopio, es un elemento vital que permite ver a través de los oculares

Condensador: lente que concentra los rayos luminosos sobre la preparación.

Diafragma: regula la cantidad de luz que entra en el condensador.

Foco: dirige los rayos luminosos hacia el condensador.

Tubo: es una cámara oscura unida al brazo mediante una cremallera.

Revólver: Es un sistema que coge los objetivos, y que rota para utilizar un objetivo u otro.

Tornillos macro y micrométrico: Son tornillos de enfoque, mueven la platina hacia arriba y hacia abajo. El macrométrico lo hace de forma rápida y el micrométrico de forma lenta. Llevan incorporado un mando de bloqueo que fija la platina a una determinada altura.

Platina: Es una plataforma horizontal con un orificio central, sobre el que se coloca la preparación, que permite el paso de los rayos procedentes de la fuente de iluminación situada por debajo. Dos pinzas sirven para retener el portaobjetos sobre la platina y un sistema de cremallera guiado por dos tornillos de desplazamiento permite mover la preparación de delante hacia atrás o de izquierda a derecha y viceversa.

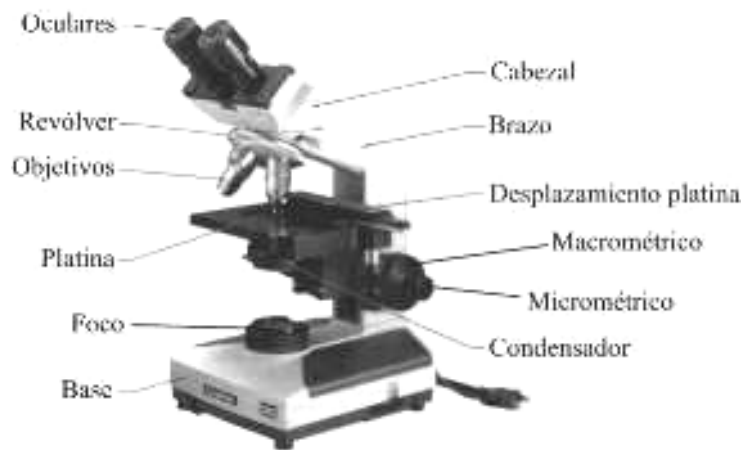


Figura 3 Microscopio Óptico

2.3.3 Aplicaciones del microscopio óptico

Este instrumento ha sido de gran utilidad, sobre todo en los campos de la ciencia en donde la estructura y organización microscópica es importante, incorporándose con éxito a investigaciones dentro del área de la química en el estudio de cristales, la física (en la investigación de las propiedades físicas de los materiales), la geología en el análisis de la composición mineralógica de algunas rocas y por supuesto, en el campo de la biología en el estudio de estructuras microscópicas de la materia viva, por citar algunas disciplinas de la ciencia.

Un adaptador óptico mecánico es importante en fotografía. Dicho adaptador sirve de enlace entre la cámara y el microscopio. Es especialmente importante que la conexión mecánica sea firme, pues cualquier movimiento mínimo, es decir, vibraciones de la cámara, reduciría la calidad de la imagen notablemente. Adicionalmente, se requiere un adaptador óptico para el trayecto de luz con el que se logrará así que el sensor CCD/CMOS de la cámara proyecte una imagen de total nitidez e iluminación.

Con un microscopio de calidad adecuada, como los que se encuentran en el laboratorio, cuyas características son marca Olympus Tokio, P 120v, 2 AMP, Frecuencia de 50–60 Hz, hecho en Japón, se pueden realizar fotomicrografiás de una calidad razonable, utilizando una cámara de uso general, de objetivo fijo o intercambiable.

2.3.4 Métodos básicos

Hay dos métodos básicos de tomar fotografías por medio del microscopio. En el primer método el objetivo de la cámara realiza una función parecida a la del cristalino del ojo y proyecta sobre el sensor una imagen real de la imagen virtual que se ve por el ocular del microscopio. Este método es el único adecuado para utilización de cámaras con objetivo fijo, esto es, no intercambiable.

El segundo método, adecuado para cámaras con objetivo intercambiable, implica retirar el objetivo de la cámara y ajustar el microscopio de modo que el ocular forme una imagen directamente sobre el sensor.

La calidad de la óptica de un microscopio (objetivo y ocular) es fundamental en la determinación de la calidad de una imagen fotográfica. Los objetivos y oculares de microscopio se encuentran en diferentes calidades, determinadas por la precisión con que han sido corregidos de aberraciones.

Conceptos importantes en microscopía

Escala de reproducción: es la relación lineal que existe entre el tamaño del objeto y su imagen. Por ejemplo, 4:1, 10:1, 40:1.

Aumento: es la proporción entre el tamaño de la imagen observada al microscopio y el tamaño real del objeto. Aumento total se calcula multiplicando aumento de ocular por el del objetivo.

Distancia focal: distancia entre el objeto observado y la lente del objetivo utilizado, cuando se encuentra bien enfocada la muestra. Es inversamente proporcional al aumento.

Profundidad de campo o de foco, o poder de penetración: espesor del preparado que se observa con nitidez, o profundidad de planos que están en foco en un momento dado. Con aumentos más grandes se observa sólo pequeños espesores con nitidez, mientras que por arriba y debajo de estos la imagen se desvanece, por lo tanto, también es inversa al aumento.

Campo observado: porción del preparado incluida en la imagen, su tamaño también es inverso al aumento utilizado y va determinado por el área de campo visual de cada objetivo.

Poder de resolución (PR): capacidad de los lentes de mostrar separados con nitidez dos puntos, si el PR es mayor quiere decir que la distancia que separa estos dos puntos es menor, por lo tanto da una imagen más detallada.

Límite de resolución: distancia mínima que debe existir para que dos puntos del objeto se visualicen por separado.

Apertura numérica: medida de la capacidad del microscopio de agrupar las refracciones de la luz producidas por los finos detalles del objeto, es propia de cada objetivo

CAPITULO III

EXPERIMENTACION

3.1 Preparación de Muestras

Para poder obtener las probetas de fundición blanca, se hizo un corte de una pulgada a un rodillo, el cual suele emplearse como un buje para un sistema de bombeo para la extracción de lodos abrasivos; por medio del cortador, una vez realizado el corte se tomaron 2 muestras, para después proceder a rectificar cada una de ellas, en la parte superior.

Estas probetas fueron tratadas de la siguiente manera:

La primer probeta no se sometió a ningún tratamiento ya que esta iba a servir como base para poderla compararla con la otra

A la segunda probeta se le realizo un tratamiento isotérmico, el cual consistió a llevarla a una temperatura de 1050 °C, durante 30 minutos, por medio de una mufla marca Lindberg, hecha en México, con una temperatura máxima de 1200 °C, potencia de 1850 W, para después sacarla y enfriarla al aire.



Figura 4 Mufla marca Lindberg



Figura 5 Probeta a 1050 °C

Así se obtuvieron las 2 probetas; una que es la probeta original y la otra que se sometió a un tratamiento, para poder llevar a cabo su estudio y poder comparar los efectos que en estas muestras ocurran.

Después se procedió a llevar a cabo la preparación metalográfica de las muestras la cual consistió, en hacerles un desbaste de la superficie, utilizando lijas de agua, empleándolas de menor a mayor grado, comenzando con la del número 100, 180, 220, 350, 550, 600, 800, 1000, 1200 y 1500.

Posteriormente se le realizó un pulido fino de la superficie de la muestra, agregando alúmina de grano fino (0.3 μ m). Todo esto a través de una pulidora de disco modelo DAP- U marca Strues, hecha en Dinamarca



Figura 6 Pulido de la superficie de la muestra

Una vez pulidas perfectamente, se realizo un ataque químico por inmersión durante 10 segundos, el cual consiste en sumergir cada una de las probetas en una solución de Cloruro ferrico ($\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$)



Figura 7 Probeta fundición blanca



Figura 8 Probeta enfriada al aire



Figura 9 Probeta tratamiento térmico normalizado

3.2 Fotografías.

De cada muestra se tomaron fotografías en diferentes aumentos (100X y 200X)

Los resultados metalográficos de las muestras las podemos observar en las fotografías que a continuación se muestran.

Probeta original

En la fotografía de la probeta de fundición blanca original (figura 10 y 11), se puede observar la estructura obtenida que muestra la presencia de carburos de Cromo Cr_3C y Cr_7C_3 , Ferrita y Perlita.

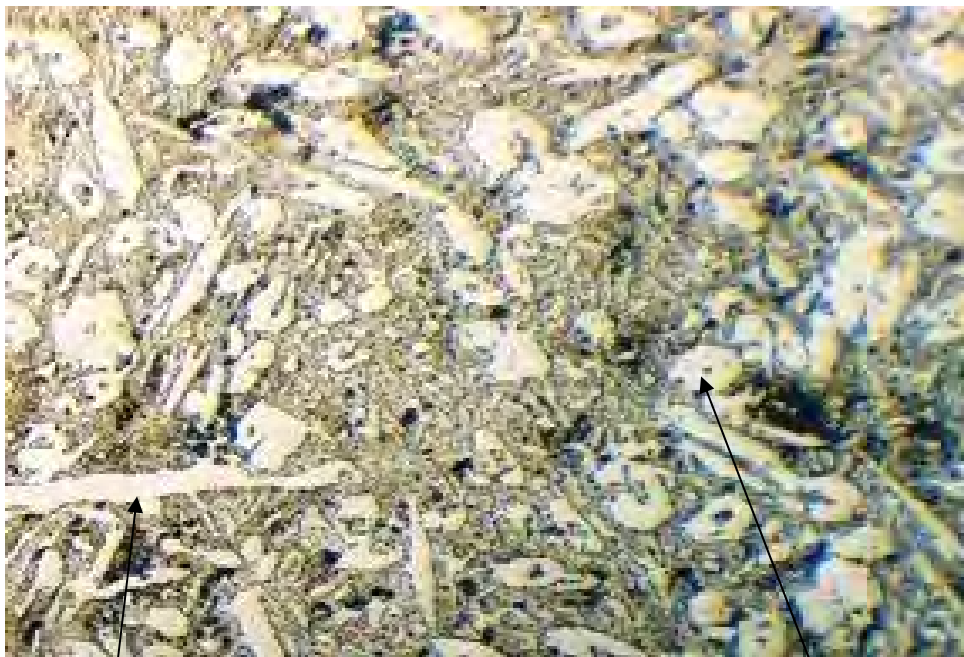


Figura 10 Fotografía con 100 X

1

2

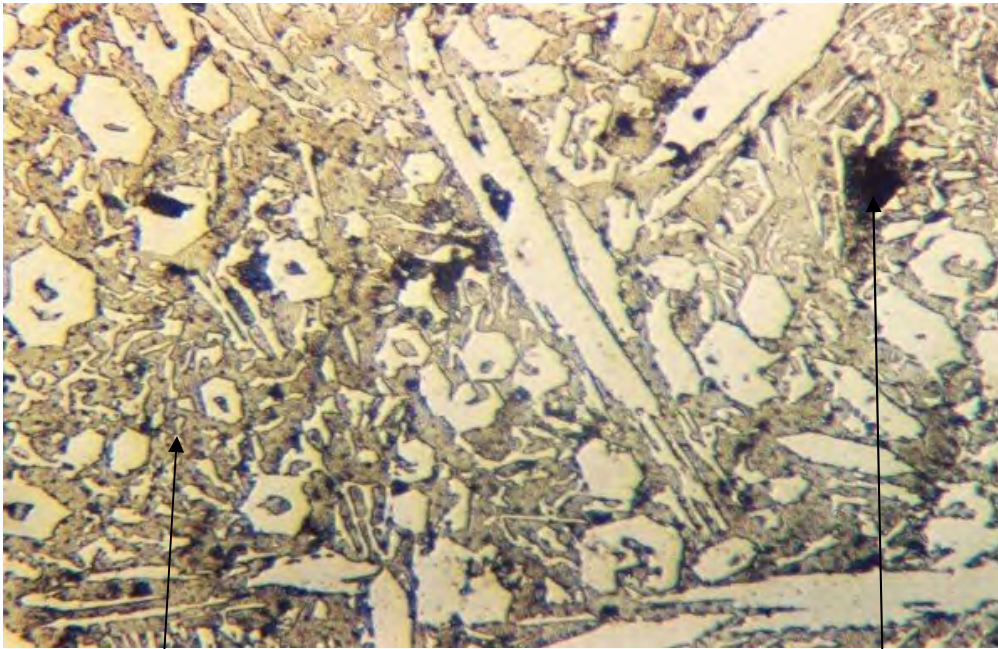


Figura 11 Fotografía con 200 X

3

4

Tipos de fases que se muestran en las fotos:

- 1.- Carburos de Cromo Cr_3C
- 2.- Carburos de Cromo Cr_7C_3
- 3.- Ferrita
- 4.- Perlita

Probeta enfriada al aire

En la fotografía de la probeta de fundición blanca enfriada al aire (figura 12 y 13), se puede observar la estructura obtenida que muestra la presencia de carburos de Cromo Cr_3C y Cr_7C_3 , Ferrita y Perlita.

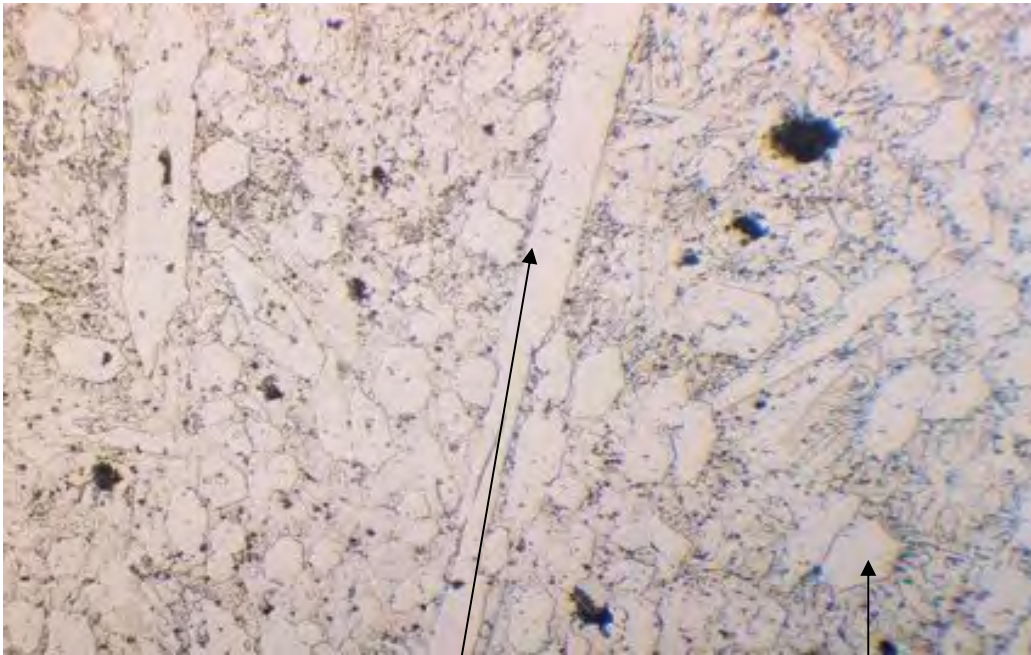
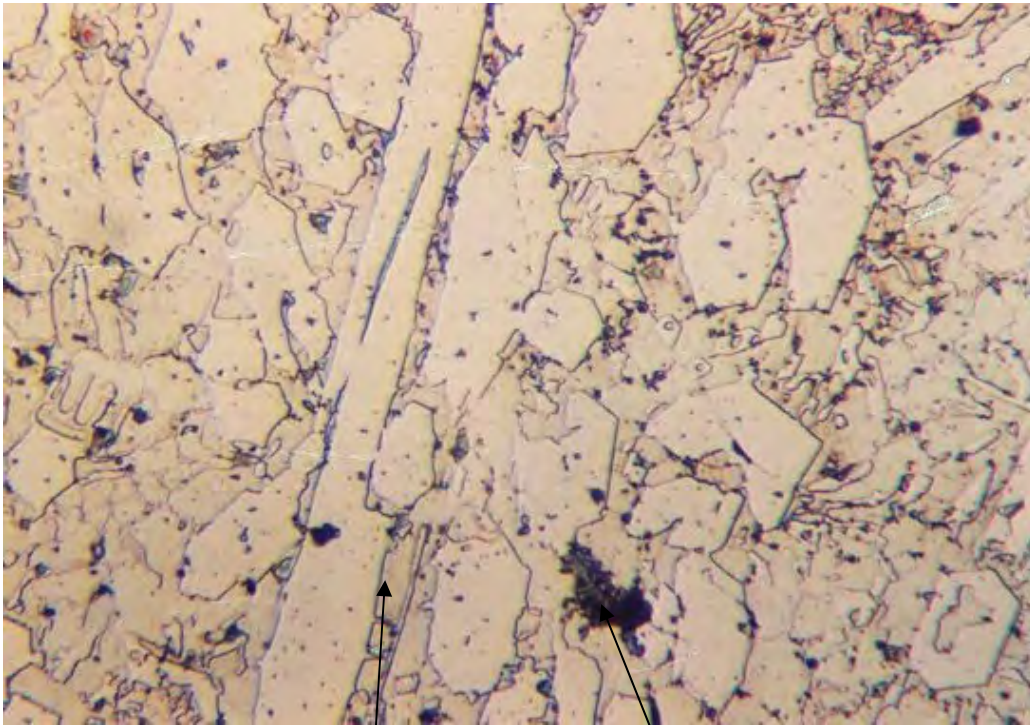


Figura 12 Fotografía con 100 X

1

2



Fotografía con 200 X

3

4

Tipos de fases que se muestran en las fotos:

- 1.- Carburos de Cromo Cr_3C
- 2.- Carburos de Cromo Cr_7C_3
- 3.- Ferrita
- 4.- Perlita

3.3 Pruebas de Dureza.

Finalmente se realizó la prueba de dureza con un durómetro marca Amsler Otto Wolper modelo D-6700, fabricado en Alemania, que puede determinar durezas en escala Vickers, Brinell y Rockwell.

Dicho equipo se ocupó para medir la dureza en escala Vickers-2, por medio de un penetrador punta de diamante en forma de pirámide, aplicando una carga de 2 kg, en cada una de las probetas.

También se realizó la dureza en escala Rockwell C, por medio de un penetrador de diamante, aplicando una carga de 150 kg y una precarga de 10 kg en cada una de las probetas,



Figura 14 Durómetro marca Amsler Otto Wolper



Figura 15 Pantalla de medición de la huella obtenida por el penetrador

Los resultados obtenidos se observan en la siguiente tabla:

	Longitud de la Diagonal.									
Numero de lecturas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Probeta Original	0.1	0.085	0.0925	0.08	0.0925	0.0925	0.0925	0.085	0.09	0.0975
Probeta enfriada al aire	0.0875	0.0725	0.070	0.0775	0.085	0.0725	0.0925	0.0825	0.0775	0.0775

Tabla 4. Numero de lecturas y longitudes de las diagonales.

3.4 Resultados obtenidos.

De la tabla anterior se aplica la siguiente fórmula para obtener la dureza promedio por muestra:

La fórmula usada para la dureza Vickers está dada por:

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

De la cual:

L = carga aplicada expresada en kg.

d = longitud de la diagonal del cuadrado de la huella de la impresión dada en mm.

Obteniendo los siguientes resultados en escala Vickers-2:

Probeta Original: Dureza promedio obtenida HV= 450.

Probeta Tratamiento Termico de Normalizado: Dureza o promedio obtenida HV= 591.

Obteniendo los siguientes resultados en escala Rockwell C:

Probeta Original: Dureza promedio obtenida HV= 52.1 Rockwell C:

Probeta Tratamiento Termico de Normalizado: Dureza o promedio obtenida HV= 67.3 Rockwell C:.

3.5 Discusión de Resultados

El resultado obtenido de la probeta la cual se sometió a un tratamiento térmico de normalizado, respecto a la probeta original fue el siguiente:

En las 2 muestras tratadas se observaron carburos de Cromo Cr_3C y Cr_7C_3 , la presencia de ferrita y perlita.

En la probeta original de fundición blanca existió mas presencia de Perlita a comparación con la que se sometió al tratamiento térmico. En la probeta de tratamiento térmico hubo un incremento en su dureza,

3.6 Conclusiones

Del trabajo experimental de normalizado, en comparación de la muestra original nos muestra:

La Perlita y Ferrita cambian en cuanto tamaño y cantidad.

La dureza escala Vickers-2, en el tratamiento de normalizado se incrementa un 31.3 % más, respecto con la muestra original.

La dureza escala Rockwell C, en el tratamiento de normalizado se incrementa un 29.17 % más, respecto con la muestra original.

Los resultados reales obtenidos de la prueba de dureza varían relativamente respecto a los porcentajes que se encuentran en las tablas.

Bibliografía

1. "Metals Handbook", vol. 1, 9ª. Edición, American Society for Metals, 1983.
2. "Metals Handbook", vol. 2, 9ª. Edición, American Society for Metals, 1983.
3. "Metals Handbook", vol. 3, 9ª. Edición, American Society for Metals, 1987.
4. "Introducción a la metalurgia física", 2ª Edición Sydney H. Avner, McGraw Hill, 1984.
5. American Society for Metals, Symposium On Applications Of Modern Metallographic Techniques (1969: Filadelfia, Filadelfia).
6. American Welding Society, In Situ Determination of Transformation Temperatures in the Weld Haz, By Phillip R. H., January, 1983
7. Metallography Principles and Practice. Ed. Mc Graw Hill, Vandert Voort
8. Atlas. F. Maratray, R. Usseglio- Nanot "La ciencia e Ingeniería de los Materiales", Donal R. Askeland, Grupo editorial Iberoamérica.
9. "Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones", Richard A. Flinn, McGraw Hill, 1979.
10. Avner, S., "Introducción a la metalurgia Física", McGraw-Hill, 1988.