INFLUENCIA DEL TEMPLE A TEMPERATURAS INTERCRITICAS Y REVENIDO POR ENCIMA DE Ms EN LA RESISTENCIA AL IMPACTO DE UN ACERO ASTM A131

CLAUDIA YULIETH BUITRAGO RODRIGUEZ

CRISTHIAN CAMILO BEJARANO ROMERO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2017

INFLUENCIA DEL TEMPLE A TEMPERATURAS INTERCRITICAS Y REVENIDO POR ENCIMA DE Ms EN LA RESISTENCIA AL IMPACTO DE UN ACERO ASTM A131

CLAUDIA YULIETH BUITRAGO RODRIGUEZ
CRISTHIAN CAMILO BEJARANO ROMERO

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico

Tutor
Carlos Arturo Bohórquez Ávila
Ingeniera Mecánica

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2017

Nota de aceptación

_____
_____
_____
_____

_____
Tutor

_____
Jurado

_____
Jurado

Bogotá D.C., 2017.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por permitirnos culminar esta etapa de nuestras vidas, igualmente a nuestras familias quienes fueron un apoyo incondicional durante todo este proceso, a nuestro tutor Carlos Arturo Bohórquez y al profesor Mauricio Sierra quienes nos aportaron su conocimiento para el desarrollo del proyecto. A la Universidad Distrital Facultad Tecnológica que nos facilitó sus instalaciones para llevar a cabo las practicas requeridas, por ultimo y no menos importante agradecemos a nuestro novio/a por el apoyo brindado durante toda la etapa universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11
3. JUSTIFICACIÓN 12
4. OBJETIVO GENERAL 13
5. ESTADO DEL ARTE 14
6. MARCO TEÓRICO 15
7. PROCEDIMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL 24
   - 7.1. Metodología y desarrollo 24
   - 7.2. Método de investigación 24
   - 7.3. Composición química 25
   - 7.4. Selección del material 26
   - 7.5. Equipos empleados 26
   - 7.5.2. Cortadora abrasiva manual METKON METACUT 250 27
   - 7.5.3. Prensa de montaje automático METKON ECOPRESS 50 27
   - 7.5.4. Sistema de esmerilado y pulido METKON FORCIPOL 2V 28
   - 7.5.5. Durómetro GNEHM SWISS ROCK 28
   - 7.5.6. Microscopio AXIO OBSERVER D1M 29
   - 7.5.7. Microdurometro SHIMADZU HMV-2 29
   - 7.5.8. Estereoscopio DISCOVERY V8 30
   - 7.5.9. Péndulo de impacto SATEC SI-1A 31
   - 7.6. CANTIDAD PROBETAS 31
   - 7.7. DESARROLLO EXPERIMENTAL 32
8. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS 38
   - 8.1. METALOGRAFÍA 38
   - 8.2. DUREZAS 44
   - 8.3. MICRODUREZA 49
   - 8.4. MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO 52
   - 8.5. IMPACTO 58

8.6. ESTEREOSCOPIA 61
8.7. ENERGIA ABSORBIDA VS DUREZA 64
CONCLUSIONES.....65
BIBLIOGRAFIA.....66

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de acero ASTM A131fuerza ordinaria 15

Tabla 2. Composición química de acero ASTM A131 fuerza ordinaria 15

Tabla 3. Composición química acero ASTM A-131 25

Tabla 4. Dureza material base 45

Tabla 5. Dureza material templado 46

Tabla 6. Dureza material templado y revenido 48

Tabla 7. Microdureza material base 49

Tabla 8. Microdureza material templado 50

Tabla 9. Microdureza material templado y revenido 51

Tabla 10. Valores obtenidos prueba de impacto material base 58

Tabla 11. Valores obtenidos prueba de impacto material templado 59

Tabla 12. Valores obtenidos prueba de impacto material templado y revenido 60

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Montaje de probeta para prueba de impacto tipo Charpy 18

Figura 2. Montaje de probeta para prueba de impacto tipo Izod 19

Figura 3. Diagrama de hierro-carbono 20

Figura 4. Microestructura ferrita 21

Figura 5. Microestructura cementita 21

Figura 6. Microestructura perlita 22

Figura 7. Microestructura austenita 22

Figura 8. Microestructura martensita 23

Figura 9. Mufla eléctrica LABTECH/LEF-P TYPE 26

Figura 10. Cortadora METKON METACUL 250 27

Figura 11. Prensa de montaje automático METKON ECOPRESS 50 27

Figura 12. SISTEMA DE ESMERILADO Y PULIDO METKON FORCIPOL 2V 28

Figura 13. Durómetro GNEHM SWISS ROCK 28

Figura 14. Microscopio AXIO OBSERVER D1M 29

Figura 15. Microdurometro SHIMADZU HMV-2 30

Figura 16. Estereoscopio DISCOVERY V8 30

Figura 17. Péndulo de impacto SATEC SI-1ª 31

Figura 18. Dimensiones de probetas 31

Figura 19. Temperatura de temple vs Tiempo 34

Figura 20. Temperatura de revenido vs Tiempo 20

Figura 21. Encapsulamiento material original 35

Figura 22. Encapsulamiento material original 35

Figura 23. Encapsulamiento material templado y revenido 36

Figura 24. Material base probeta 1 aumento de 100X, 500X, 1000X 38

Figura 25. Material base probeta 2 aumento de 100X, 500X, 1000X 39

Figura 26. Material templado probeta 1 aumento de 100X, 500X, 1000X 40

Figura 27. Material templado probeta 2 aumento de 100X, 500X, 1000X 41

Figura 28. Material templado y revenido probeta 1 aumento de 100X, 500X, 1000X 42

Figura 29. Material templado y revenido probeta 2 aumento de 100X, 500X, 1000X 43

Figura 30. Microdureza material base 49

Figura 31. Microdureza material templado 50

Figura 32. Microdureza material templado y revenido 51

Figura 33. Microscopia electrónica de barrido material base 1500, 2500, 3500, 5000 y 10000 53

Figura 34. Microscopia electrónica de barrido material base composición química 54

Figura 35. Microscopia electrónica de barrido material base zona clara composición química 55

Figura 36. Microscopia electrónica de barrido material templado y revenido 1500, 2500, 3500, 5000 y 10000 56

Figura 37. Microscopia electrónica de barrido material templado y revenido zona clara composición química 57

Figura 38. Estereoscopia fractura material base 61

Figura 39. Estereoscopia fractura material templado 62

Figura 40. Estereoscopia fractura material templado y revenido 63

Figura 41. Análisis Energía absorbida vs Dureza 64

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal el análisis de varias probetas de acero A-131 templadas a temperatura intercritica y revenidas por encima de Ms, ambos tratamientos con un tiempo de duración de media hora. Se realizo la metalografía, composición química, durezas, microdurezas y microscopia electrónica de barrido (MEB) del material. La finalidad se centra en analizar los datos obtenidos en la prueba de impacto luego de realizar los tratamientos y así reconocer la influencia que tiene el revenido en la tenacidad del material comparando los datos obtenidos al material base y al tratado térmicamente.

1. INTRODUCCIÓN

El acero es un material con gran variedad de propiedades mecánicas y fácil acceso en el mercado además de sus amplias aplicaciones a nivel industrial. Por ello cuando este es aleado con otros elementos se le proporciona mejoras considerables en sus propiedades y que según la aplicación para la cual se va a usar hace que día a día el estudio de nuevas aleaciones y mejoras en sus características mecánicas sean más rigurosas y constantes.

Los tratamientos térmicos como ya se mencionó buscan mejorar las propiedades de los aceros. Dos de estos son el temple y el revenido, con el primero se busca calentar el material a temperaturas de austenización para después enfriarlo rápidamente, con esto se obtiene estructura martensítica resistente y dura. A través del revenido buscamos mejorar la dureza y resistencia del material.

Una de estas aleaciones es el acero A-131, en donde su principal uso es en la fabricación de barras, remaches, laminas, cubiertas de la industria naval. Esta aleación posee un alto contenido de manganeso que lo que facilita su laminación aumenta su dureza y resistencia al desgaste.

La presente investigación se centrará en analizar los cambios que tuvo el material en las propiedades iniciales que posee, luego de haber sido sometido a un temple a una temperatura intercritica y un revenido por encima de M_S. Se realizará la composición química al material original y microscopia electrónica de barrido para conocer la estructura del material tanto en su estado original como luego de ser tratado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento a nivel industrial a llevado a que se implementen materiales que se adapten a las aplicaciones requeridas. Para lograr obtener las propiedades mecánicas y químicas se llevan a cabo tratamientos térmicos que buscan mejorar estas características.

El efecto que causa el tratamiento térmico en un material cambia sus propiedades mecánicas, por lo que el aporte suministrado por estos tratamientos hace que los materiales aumenten o disminuyan sus propiedades dependiendo de las características del material que se necesite, sin embargo, el revenido es utilizado para tener una relación de dureza y resistencia según la aplicación del material. Así estos procesos entran a mejorar las condiciones específicas, en este caso el acero A-131 para sus determinados usos.

3. JUSTIFICACIÓN

Por medio de esta investigación se pretende conocer la influencia que tienen estos tratamientos en el acero A-131 y que mejorías se obtienen en las propiedades mecánicas.

El análisis en las probetas de acero A-131 de las propiedades evaluadas con la MEB y la prueba de impacto, son una metodología adecuada para observar los cambios ocurridos por el proceso de revenido, sin embargo, se hace necesario encontrar los intervalos óptimos de tiempo para la duración del tratamiento térmico y temperatura a la cual se va a realizar el procedimiento, entre otros.

4. OBJETIVO GENERAL

Establecer la influencia del temple a temperaturas intercriticas y revenido por encima de Ms en la resistencia al impacto de un acero ASTM A131

4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la secuencia de tiempos y temperaturas para realizar el tratamiento a las probetas.
- Realizar un temple desde temperaturas intercriticas y posteriormente revenido por encima de Ms
- Realizar pruebas de impacto según la norma ASTM E-23, para establecer la influencia del tiempo de revenido en la resistencia al impacto del material y establecer un modo de fallo.

5. ESTADO DEL ARTE

En el año 2015 en la universidad Libre de Colombia. Facultad de ingeniería, el Departamento de Ingeniería Mecánica llevo a cabo por medio de los estudiantes Jairo Alberto Rada Mejía y Álvaro Javier Reyes, un estudio bajo el nombre de Estudio de soldabilidad de un acero ASTM A-131 grado DH36 mediante del proceso GMAW_PULSADO, para determinar las condiciones mecánicas de las zonas afectadas por el calor. El ensayo pudo comprobar que las probetas soldadas con argón mejoraron la resistencia máxima a la tensión, el esfuerzo de fluencia y la dureza.[1]

Mientras tanto en la universidad Tecnológica de Pereira, en el año 2007 llevo a cabo la Caracterización mecánica y microestructural del acero ASTM A-131A sometidos a cargas explosivas, se hizo un estudio mediante la realización de ensayos destructivos y no destructivos con el cual se estableció el comportamiento mecánico de las estructuras navales que se someten a estas cargas, luego de realizar pruebas de impacto no se encontró mayor variación en las propiedades y composición estructural del material.[2]

[1]Universidad Libre, Estudio de sostenibilidad de un acero ASTM a 131 grado DH 36 mediante el proceso gmaw pulsado, disponible en http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/7856

[2] Universidad Tecnológica de Pereira, Caracterización Mecánica y Micro-Estructural del Acero ASTM A 131A Sometidos a Cargas Explosivas, disponible http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/5189/2309

6. MARCO TEÓRICO

6.1. ACERO ASTM A131

Este acero se consigue generalmente en placas, barras y remaches que se utilizan en la construcción de buques, está disponible en las siguientes categorías.

- Fuerza ordinaria: en esta clasificación se encuentran los grados A,B,D,CS y E, con un límite de elasticidad de 34 ksi (235 MPa), en la tabla 1 se observa la composición química de este grupo.
- Fuerza superior: dentro de esta clasificación se encuentran los grados AH, DH, EH Y FH, con un límite de rendimiento minimo especificado de 46 ksi (315Mpa), en la tabla 2 se observa la composición química de este grupo.[3]

Grade	A	B	D	E	CS
Deoxidation	Killed or Semi-Killed[A] t ≤ 2.0 in.. [50 mm] Killed t > 2.0 in. [50 mm]	Killed or Semi-Killed t ≤ 2.0 in.. [50 mm] Killed t > 2.0 in. [50 mm]	Killed t ≤ 1.0 in.. [25 mm] Killed and Fine Grain t > 1.0 in. [25 mm][B]	Killed and Fine Grain[B]	Killed and Fine Grain[B]
	Chemical composition (ladle analysis), % max, unless specified otherwise[C]				
C	0.21[D]	0.21	0.21	0.18	0.16
Mn_{min}	2.5 × C	0.80[E]	0.60	0.70	1.00
Si	0.50	0.35	0.10–0.35[F]	0.10–0.35[F]	0.10–0.35[F]
P	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
S	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
Ni	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]
Cr	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]
Mo	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]
Cu	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]	See Footnote[G]
C + Mn/6	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

Tabla 1. Composición química de acero ASTM A131fuerza ordinaria

Grades	AH/DH/EH 32, AH/DH/EH 36 and AH/DH/EH 40	FH 32/36/40
Deoxidation	Killed, Fine Grain Practice[A]	Killed, Fine Grain Practice[A]
	Chemical composition[B] (ladle analysis), % max, unless specified in range	
C	0.18	0.16
Mn	0.90–1.60[C]	0.90–1.60
Si	0.10–0.50[D]	0.10–0.50[D]
P	0.035	0.025
S	0.035	0.025
Al (acid soluble), min[E,F]	0.015	0.015
Nb[F,G]	0.02–0.05	0.02–0.05
V[F,G]	0.05–0.10	0.05–0.10
Ti	0.02	0.02
Cu[H]	0.35	0.35
Cr[H]	0.20	0.20
Ni[H]	0.40	0.40
Mo[H]	0.08	0.08
N	...	0.009 0.012 (if Al present)

Tabla 2. Composición química de acero ASTM A131 fuerza ordinaria

[3] Norma ASTM A131

6.2. ESPECTOMETRIA DE EMISION

Es una técnica espectroscópica que analiza las longitudes de onda de los fotones emitidos por los átomos desde un estado excitado a un estado de energía inferior, cada elemento emite un conjunto de ondas característico de cada uno, por medio de la observación de estas ondas puede determinarse la composición del elemento que se está analizando.[4]

6.3. TRATAMIENTOS TERMICOS

Los tratamientos térmicos se basan en cambiar la temperatura del material, con el objetivo de mejorar sus propiedades. Existen diferentes tipos de tratamientos, que tienen diversas aplicaciones en los materiales.

6.3.1. Temple

Se utiliza para tener aceros de alta dureza, consiste en elevar la temperatura del material hasta cerca de los 1000 °C y posteriormente enfriarlo rápidamente por medio de agua, aceite o aire.

La templabilidad es la capacidad de los aceros dependiendo de su composición química, para transformarse en martensita durante el temple.

Cuando se obtienen aceros martensíticos, se pretende aumentar la dureza, lo malo es que el acero resultante será frágil y poco dúctil ya que existen altas tensiones internas.[5]

6.3.1.1. Tipos de temple

- Temple continuo de austenización completa: es aplicado a los aceros hipereutectoides, se calienta el material a 50 °C por encima de la temperatura critica superior enfriando de la manera adecuada para obtener martensita.
- Temple continuo de austenización incompleta: se calienta el material hasta Ac1 + 50 °C, transformándose en la perlita en austenita y deja la cementita

[4] Espectrometría, disponible en http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_emisin

[5] Tratamientos térmicos de los metales, disponible en https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/09/tratamientos-termicos.pdf

intacta. Se enfría a temperatura superior a la crítica, por lo que la estructura resultante es de martensita y cementita.

- Temple superficial: se consigue que solo la superficie del material se transforme en martensita

6.3.2. Revenido

El revenido se realiza luego del temple con el fin de disminuir las tensiones internas que se generan el material para reducir la fragilidad, la dureza se ve afectada un poco, pero se evita que quede frágil, consiste en calentar hasta cierta temperatura la pieza templada.

6.3.3. Recocido

Consiste en calentar un material hasta una determinada temperatura y luego enfriarlo lentamente, al igual que el revenido se utiliza para disminuir los defectos luego del temple.

6.3.4. Normalizado

Consiste en calentar rápidamente el material hasta una temperatura crítica y mantenerlo ahí durante un tiempo, la estructura interna se vuelve más uniforme y aumenta la tenacidad del material. Este tratamiento es empleado para eliminar las tensiones internas luego de una conformación mecánica como la forja, el laminado.[6]

6.4. IMPACTO

El ensayo de impacto determina la fragilidad o capacidad de absorber carga de un material, se realizan generalmente en máquinas denominadas péndulos o martillos pendulares en las que se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida la cual se deja caer desde una altura determinada, se puede realizar de dos maneras diferentes, el método Izod y el método Charpy. Por cual cualquiera de los dos métodos que se decida utilizar la rotura se produce por flexionamiento de la probeta, la diferencia radica en la posición de la probeta.

La probeta posee una muesca estándar para facilitar el inicio de la fisura. Luego de golpear la probeta, el péndulo sigue su camino alcanzando cierta altura que

[6] Tratamientos térmicos, disponible en http://www.tecnosefarad.com/wp-content/archivos/bach_2/materiales/T3_tratamientos_termicos.pdf

depende de la cantidad de energía absorbida por la probeta durante el impacto. Las probetas que fallan en forma frágil se rompen en dos mitades, en cambio aquellas con mayor ductilidad (baja fragilidad) se doblan sin romperse. Este comportamiento es muy dependiente de la temperatura y la composición química[7]

6.4.1. Ensayo tipo Charpy

Este ensayo consiste en romper una probeta simplemente apoyada en posición horizontal, por medio de un golpe en su punto medio, en donde previamente se le ha hecho una muesca. El martillo golpea en dirección opuesta a la muesca. El goniómetro de máximos permite conocer los ángulos de salida y llegada para establecer cuanta energía absorbe la probeta antes y durante la ruptura. (Ver Figura No.1)

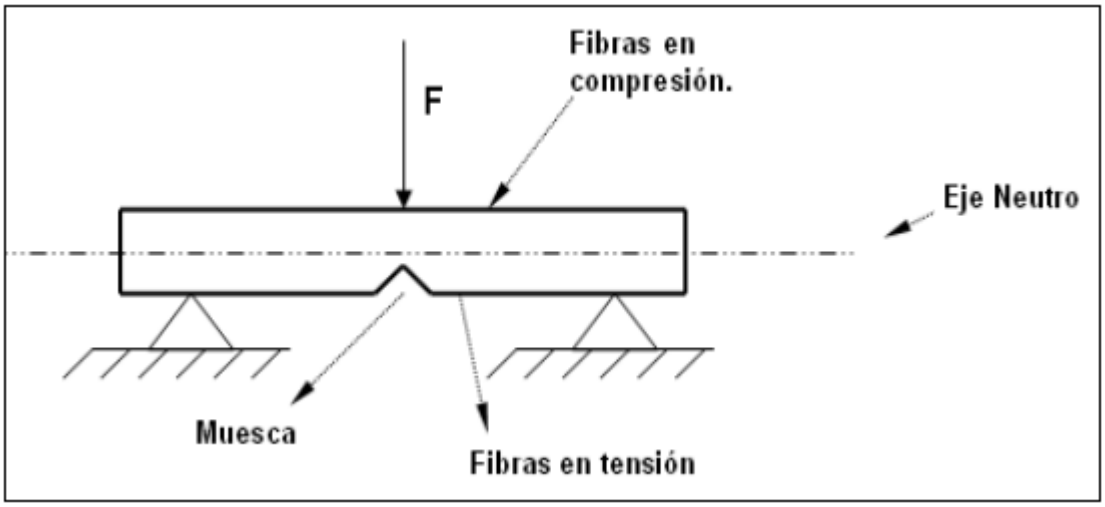


Figura 1. Montaje de probeta para prueba de impacto tipo Charpy

6.4.2. Ensayo tipo Izod

Este ensayo consiste en romper la probeta sostenida en voladizo en posición horizontal, por medio de un golpe en su extremo libre. En su base, a esta probeta también se le hace una muesca, sin embargo, esta es realizada a toda una sección transversal de la probeta. El goniómetro de máximos marca los ángulos

[7] Curso de materiales maquina de impacto, http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/MATE/PROTOCOLO%20IMPACTO.pdf

de salida y llegada con los cuales se establece la energía absorbida por la probeta de determinado material.[8] (Ver Figura 2)

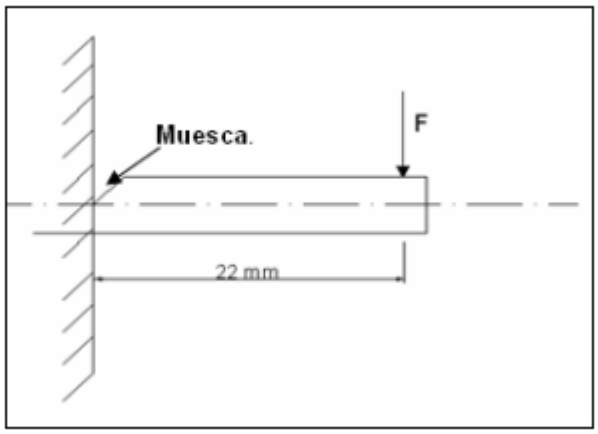


Figura 2. Montaje de probeta para prueba de impacto tipo Izod

6.5. DUREZA

Es la oposición que presenta un material a ser rayado, la dureza es diferente a la resistencia mecánica ya que esta es la propiedad a ser deformado el material, por lo general entre mayor dureza en los materiales se presenta mejores propiedades de abrasión a otros.[9]

6.5.1. Ensayo de dureza

Suele llevarse a cabo midiendo la profundidad de penetración o midiendo el tamaño de la impresión dejada.

Los métodos más comunes de medir la dureza son:

- Rockwell: es un método rápido, cuenta con una lectura directa de los resultados, se calcula midiendo la profundidad de penetración después de haber forzado un penetrador en el material a una determinada carga.
- Vickers: se calcula midiendo las longitudes diagonales causadas por la penetración, al introducir un penetrador piramidal de diamante con una carga dada, el tamaño de las diagonales se lee ópticamente para determinar la dureza usando una tabla o formulas.

[8] Ensayo de impacto charpy, disponible http://www.udistrital.edu.co:8080/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+IMPACTO.pdf

[9] Ensinger, dureza, disponible en http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/propiedades-mecanicas/dureza

- Brinell: la penetración ofrece una impresión de tamaño relativamente grande con una bola de carbón de tungsteno, el tamaño de la penetración se lee ópticamente, la aplicación de este ensayo es en forjados y fundidos, cuyas estructuras son demasiado toscas para someterse a otros ensayos.[10]

6.6. TRANSFORMACIONES DE LOS ACEROS

Existen diferentes tipos de transformaciones en los aceros, en su gran mayoría por constituyentes que se encargan de darles sus características finales, para sus diversas aplicaciones. Dichos constituyentes pueden variar según sus formas, tamaños y composición, lo que los hace diferenciarse, cuando se logra observar la microestructura del material trabajado. Dentro de los constituyentes encontramos los siguientes: Ferrita (Hierro puro), Austenita, Martensita, Perlita, Bainita, Cementita, entre otros. La representación de transformación se encuentra en el diagrama Fe-C (Hierro-Carbono) que se observa a continuación en la figura 3.

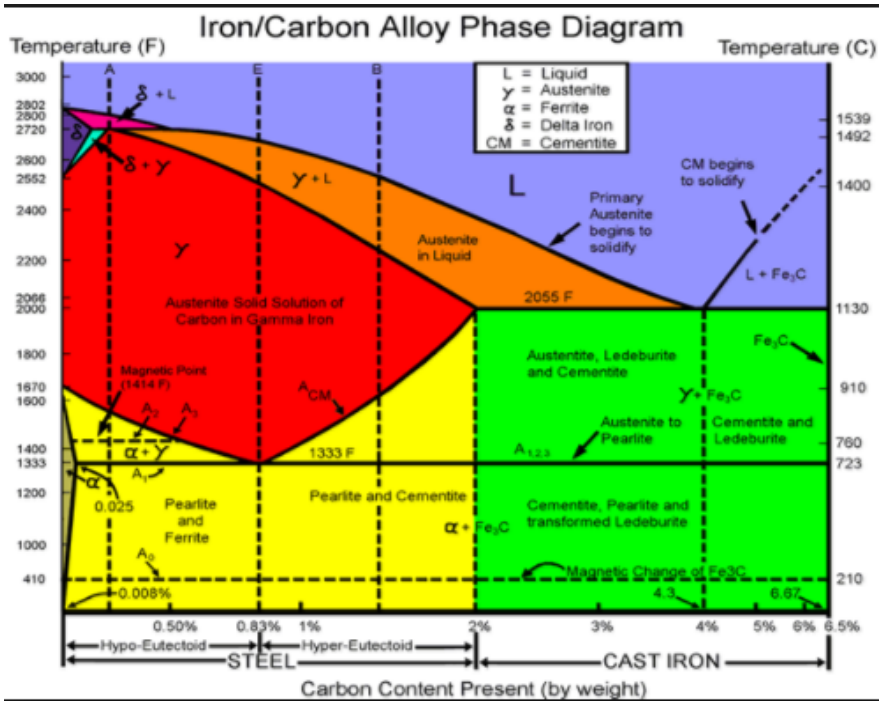


Figura 3. Diagrama de hierro-carbono[11]

[10] Struers, ensayos de dureza, http://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Hardness-testing#
[11] Metallurgy

6.6.1. Ferrita

Es la fase más blanda y dúctil de los aceros cristaliza en la red BBC, su solubilidad a temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por lo que se considera hierro puro. Tiene una dureza de 90 Vickers y una resistencia a la tracción de 28kg/mm^2.[12]

En el microscopio se observa como granos poligonales claros, como se observa en la figura 4.

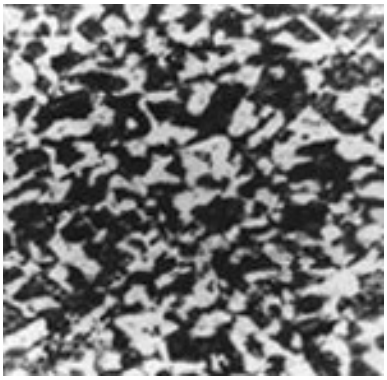


Figura 4. Microestructura ferrita

6.6.2. Cementita

Es el microconstituyente más duro y frágil, logrando alcanzar una dureza de 937 Vickers, contiene un 6,67% de C, cristaliza en red ortorrombica, a continuación, en la imagen se observa como se evidencia en el microscopio.

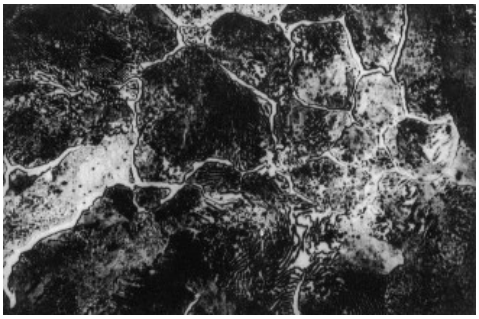


Figura 5. Microestructura cementita

[12] Estructuras del acero, https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5_anio/metalografia/5-_Estructuras_del_acero_v2.pdf

6.6.3. Perlita

Está formada por capas alternadas de ferrita y cementita. Compuesta por el 88 % de ferrita y 12 % de cementita, contiene el 0.8%C. Tiene una dureza de 250 Brinell, resistencia a la tracción de 80 kg/mm^2 y un alargamiento del 15%. La perlita aparece en general en el enfriamiento lento de la austenita y por la transformación isotérmica de la austenita en el rango de 650 a 723°C.[13]



Figura 6. Microestructura perlita

6.6.4. Austenita

Es el constituyente más denso de los aceros. La cantidad de carbono disuelto varía de 0.8% al 2% C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130°C, no es estable a la temperatura ambiente. La austenita cristaliza en la red FCC

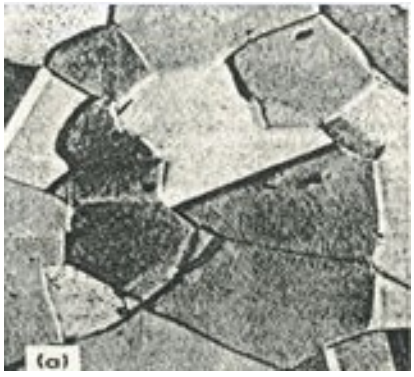


Figura 7. Microestructura austenita

[13] Constituyentes de los aceros, disponible en http://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno02/tema02/41_constituyentes_de_los_aceros.html

6.6.5. Martensita

Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas. El contenido de carbono suele variar desde muy poco carbono hasta el 1%, sus propiedades físicas varían con su contenido en carbono hasta un máximo de 0.7%C. Tiene una dureza de 513 Vickers, una resistencia a la tracción de 170 a 250 kg/mm^2 y un alargamiento del 0.5% al 2.5%.

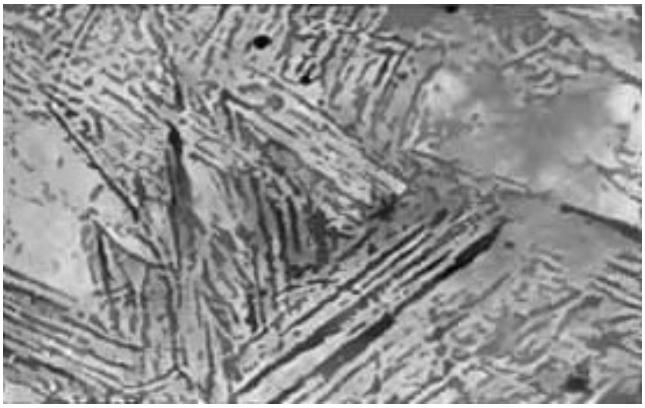


Figura 8. Microestructura martensita

6.6.6. Bainita

Se obtiene en la transformación isotérmica de la austenita cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250ºC a 500°C.

Se diferencian dos tipos de estructuras:

- Bainita superior: Es de aspecto arborescente formada a 500ºC-580°C.
- Bainita inferior: Se forma a 250ºC-400ºC tiene un aspecto acicular similar a la martensita y constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos.

La bainita tiene una dureza variable de 392 a 698 Vickers comprendida entre las correspondientes a la perlita y a la martensita.[14]

[14] Constituyentes de los aceros, http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4910/html/61_constituyentes_de_los_aceros.html

7. PROCEDIMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

7.1. Metodología y desarrollo

Se llevará a cabo un estudio de tipo experimental ya que se obtendrá información empleando equipos e instrumentos para obtener información del material inicial y luego de ser tratado. Se utilizará un durómetro GNEHM SWISS ROCK para encontrar las durezas del material y las microdurezas se obtendrán con el equipo SHIMADZU HMV-2. Por medio del SEM (microscopio electrónico de barrido) se identificará las fases en la estructura del material luego de haber realizado el temple y revenido. Con un espectrómetro de masas se realizará la composición química de la aleación A-131.

7.2. Método de investigación

La metodología utilizada para la realización de la investigación fue la siguiente



7.3. Composición química

Esta se realizó con un espectrómetro de emisión en la Universidad Nacional de Colombia. Según la norma ASTM A131 se estableció que el material utilizado es acero naval A-131. Se obtuvieron los siguientes resultados

Elemento químico	Porcentaje (%)
Fe	98.734
C	0.157
Mn	0.744
P	0.005
S	0.024
Si	0.197
Cu	0.013
Ni	0.020
Cr	0.020
V	0.002
Mo	0.008
W	0.010
Co	0.002
Ti	0.000
Sn	0.002
Al	0.049
Nb	0.004
B	0.0009
Pb	0.007
Mg	0.000

Tabla 3. Composición química acero ASTM A-131

7.4. Selección del material

El estudio a realizar se quería hacer en un material con un alto contenido de Manganeso. Se escogió el acero ASTM A-131 ya que cumple con el requerimiento y es de fácil adquisición en el mercado.

7.5. Equipos empleados

Se listarán los equipos que se utilizaron para la poder llevar a cabo todo el estudio experimental de la investigación. Tratamientos térmicos, preparación de probetas y ensayos.

7.5.1. Mufla eléctrica LABTECH/LEF-P TYPE

Se utilizó para realizar en primer lugar los temples a una temperatura de 810ºC y luego los revenidos a 470ºC.



Figura 9. Mufla eléctrica LABTECH/LEF-P TYPE

Esta mufla es capaz de alcanzar temperaturas de 1200ºC a través de hornos pequeños con resistencias calefactoras ocultas y para regular la temperatura cuenta con un control digital. Además de un temporizador programable para llevar a cabo los diferentes tratamientos, procesos de control y secado de precipitados.

7.5.2. Cortadora abrasiva manual METKON METACUT 250

Por medio de este equipo se realizó el corte de material original y tratado, con el fin de poder encapsularlo y llevar a cabo los procesos de metalografías, microscopio, durezas y SEM.



Figura 10. Cortadora METKON METACUL 250

La cortadora Metacut 250 permite realizar cortes de alta calidad, gracias al disco de corte y su base en fundición que le da gran estabilidad, lo cual asegura un corte adecuado. Posee una palanca de accionamiento manual, freno de seguridad y dispositivo de bloqueo.

7.5.3. Prensa de montaje automático METKON ECOPRESS 50

Para poder encapsular las probetas del material base y el tratado se utilizó esta prensa, la cual por medio de polvo baquelita encapsula el material cortado.



Figura 11. Prensa de montaje automático METKON ECOPRESS 50

Es un equipo automático que por medio de un panel frontal que cuenta con una pantalla digital indica tiempo de calentamiento y temperatura. Además

de contar con parámetros ya establecidos que le permiten llevar a cabo sus tareas con gran calidad.

7.5.4. Sistema de esmerilado y pulido METKON FORCIPOL 2V

Este equipo permitió llevar a cabo el pulido de las probetas luego de encapsuladas. Esto con el fin de dejarlas listas para poder realizar los diferentes procesos de metalografía.



Figura 12. SISTEMA DE ESMERILADO Y PULIDO METKON FORCIPOL 2V

El sistema de esmerilado y pulido cuenta con dos discos los cuales tienen velocidad de rotación constate, posee un sistema que controla el sentido de giro, parada de emergencia y velocidad de los discos. Sus rodamientos de bolas proporcionan un funcionamiento libre de vibraciones.

7.5.5. Durómetro GNEHM SWISS ROCK

Con el durómetro se hallaron las durezas a las probetas que se prepararon tanto del material original como del que se le realizo el tratamiento térmico.



Figura 13. Durómetro GNEHM SWISS ROCK

El durómetro determina la dureza Rock HRA, HRB y HRC de materiales metálicos. Para hallar la dureza del material el equipo se basa en la profundidad y morfología

de la muesca que realiza sobre la probeta, con una fuerza previamente determinada aplicada poder medio del elemento penetrador normalizado.

7.5.6. Microscopio AXIO OBSERVER D1M

Por medio del microscopio se tomaron las imágenes a 100, 500 y 1000 aumentos de la estructura metalografía de las probetas de material base y el tratado térmicamente.



Figura 14. Microscopio AXIO OBSERVER D1M

El equipo Axio Observer D1m es un microscopio metalográfico invertido que permite efectuar el control de superficie y análisis óptico de metales. El objeto por estudiar se ilumina con luz reflejada, ya que las muestras cristalográficas son opacas a la luz (referenciar)

7.5.7. Microdurometro SHIMADZU HMV-2

Para hallar las microdurezas en el material original y tratado se utilizó este equipo, usando la escala Vickers (HV). El cual por medio de una muesca en forma de rombo y con una carga establecida, entrega los valores de microdurezas de las probetas.



Figura 15. Microdurometro SHIMADZU HMV-2

7.5.8. Estereoscopio DISCOVERY V8

Este equipo se utilizó para tomar las imágenes de las fracturas generadas luego de la prueba de impacto en las probetas y así pode observar con claridad los micro vacíos generados al interior del material.



Figura 16. Estereoscopio DISCOVERY V8

El estereoscopio Discovery V8 es un microscopio simple, donde la parte óptica está formada por un lente biconvexo, el cual sirve para ver detalles del objeto y formar una imagen virtual amplificada, no como representaciones planas, sino con apariencia sólida y profundidad (Imagen Tridimensional).

7.5.9. Péndulo de impacto SATEC SI-1A

A través de este equipo se realizó las pruebas de impacto tipo Charpy, a las probetas templadas y revenidas.



Figura 17. Péndulo de impacto SATEC SI-1A

7.6. CANTIDAD PROBETAS

Se fabricaron 60 probetas para realizar el estudio experimental, con unas dimensiones de 10x10x50 mm

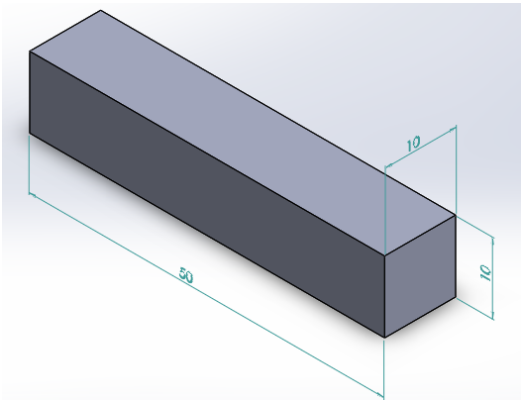


Figura 18. Dimensiones de probetas

Tratamientos térmicos: A 33 probetas se les realizó un temple a 810°C durante media hora y posteriormente a 25 se les realizó el revenido a 470°C durante el mismo de templado.

Prueba de dureza: Se midieron las durezas de las 58 probetas, tomando 5 mediciones de cada una.

Pruebas de impacto: Se realizo el ensayo de impacto a las 58 probetas.

Estereoscopia: Se realizo la toma de imágenes en el estereoscopio a 2 probetas del material base, a dos del material solamente templado y a 2 del material templado y revenido. Para observar la fractura luego de la prueba de impacto.

Metalografía: Se encapsularon dos probetas tanto del material base, del material templado y del templado y revenido.

Prueba de microdurezas: Se tomaron 10 mediciones de cada una de las probetas encapsuladas.

Microscopia electrónica de barrido: Se tomo la microscopia a diferentes aumentos a las probetas previamente encapsuladas.

7.7. DESARROLLO EXPERIMENTAL

7.7.1. TRATAMIENTOS TERMICOS

Para realizar el temple se calcularon las temperaturas criticas A_1 y A_3, para seleccionar una temperatura intercritica dentro del rango para este material, luego se calcula M_s y se selecciona una temperatura por encima para realizar el revenido.

7.7.1.1. TEMPLE

En el cálculo de temperaturas del temple se utilizó la ecuación.

$Ae_1 = 723-7{,}08\ Mn+37{,}7\ Si+18{,}1\ Cr+44{,}2\ Mo+8{,}95\ Ni+\ 50{,}1\ V+21{,}7\ Al+3{,}18\ W+291\ S-830\ N-11{,}5\ C\ Si-14{,}0\ Mn\ Si-3{,}10\ Si\ Cr-57{,}9\ C\ Mo-15{,}5\ MnMo-5{,}28\ C\ Ni-6\ Mn\ Ni+6{,}77\ Si\ Ni-0{,}8\ Cr\ Ni-27{,}4\ C\ V+30{,}8\ Mo\ V-0{,}84\ Cr2-3{,}46Mo^2-0.46Ni^2-28V^2$

$A_{e3} = 912-370C-27{,}4\ Mn+27{,}3\ Si-6{,}35\ Cr-32{,}7\ Ni+95{,}2\ V+190\ Ti+\ 72\ Al+64{,}5\ Nb+5{,}57\ W+332\ S+276\ P+485\ N-900B+16{,}2\ C\ Mn+32{,}3\ C\ Si+15{,}4\ C\ Cr+48\ C$

Ni+4,32 $Si\ Cr$−17,3 $Si\ Mo$−18,6 $Si\ Ni$+4,8 $Mn\ Ni$+40,5 $Mo\ V$+174C^2+2,46 Mn^2−6,86 Si^2+0,322Cr^2+9,90 Mo^2+1,24 Ni^2−60,2 V^2

Al realizar el reemplazo en las ecuaciones con los valores de la composición química del material se obtienen los siguientes valores de temperaturas criticas

A_{e1} = 727.780 °C

A_{e3}= 851 °C

Con estos valores se procedió a seleccionar la temperatura de 810 ºC para realizar el temple durante media hora.

7.7.1.2. REVENIDO

Se aplica la ecuación empírica de Andrews para hallar la temperatura M_s (inicio de la transformación martensítica) y así seleccionar una por encima.

M_s = 539- 423 C-30.4 Mn- 17.7 Ni- 12.1 Cr-11 Si-7 Mo

Se reemplaza en la ecuación con los valores obtenidos de los componentes.

M_s = 447.15

Para el revenido se necesita una temperatura por encima de M_s por lo que se selecciona 470 ºC para realizar este tratamiento.

7.7.1.3. REALIZACION TRATAMIENTO TERMICO

Luego de realizar el cálculo de las temperaturas intercriticas y M_s, se procedió a seleccionar las temperaturas e intervalos a los cuales se realizaría el tratamiento.

Inicialmente se realizó una prueba con dos probetas que fueron sometidas a un temple 810 ºC durante media hora y enfriamiento en agua, posteriormente se hizo un revenido 470 ºC durante el mismo tiempo de temple, para verificar que el material no se viera afectado, al observar que no sufrió ningún cambio físico se decidió realizar el tratamiento completo con estos parámetros en 25 probetas y en otras 8 se realizó solamente templado.

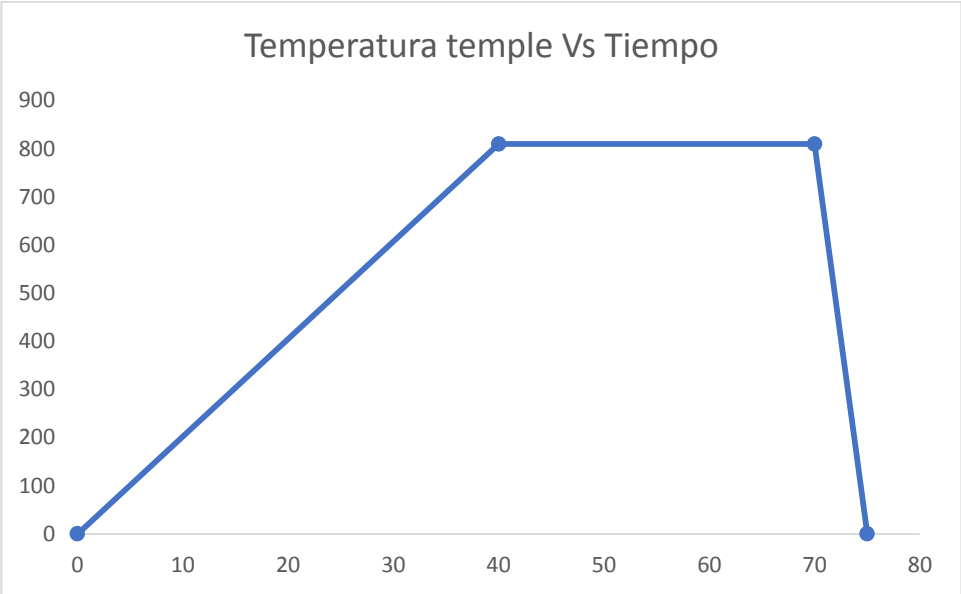


Figura 19. Temperatura de temple vs Tiempo

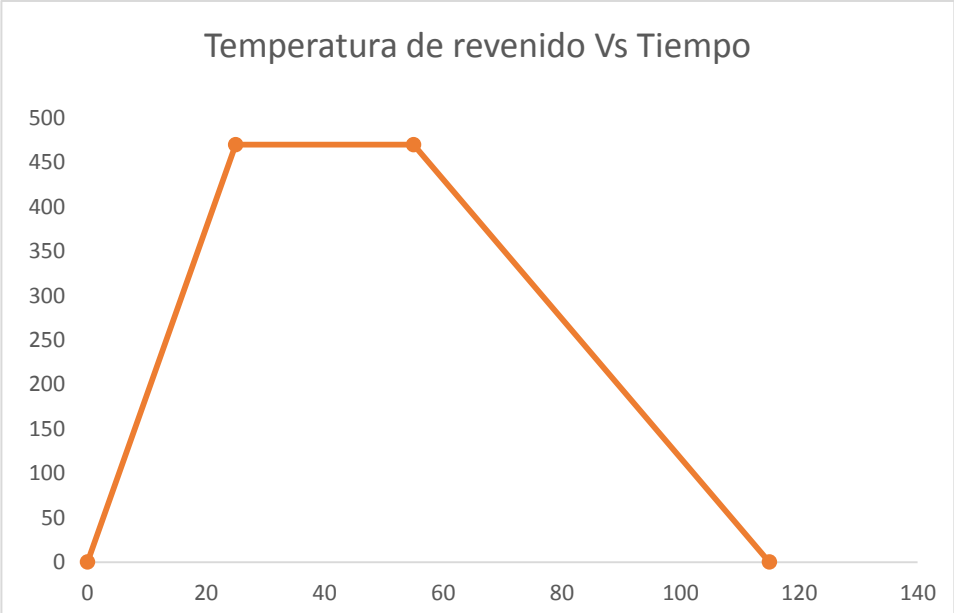


Figura 20. Temperatura de revenido vs Tiempo

7.7.2. Preparación metalográfica

Luego de realizar el temple y revenido se procede a preparar las probetas para realizar el análisis metalográfico, el procedimiento que se siguió es el siguiente.

- Se corto una porción de material de dos probetas del material base, el material templado y material templado y revenido, para realizar el encapsulamiento en la figura 21 se observa el material base, en la figura 22 está el templado y en la figura 23 el material tratado completamente.
- Se inicia el lijado de las probetas comenzando por la numero 80 para eliminar las imperfecciones o defectos de la zona y subiendo gradualmente hasta la lija 2000 para eliminar los rastros de líneas.
- El pulido de las probetas se realiza en el equipo METKON FORCIPOL 2V equipada con paño, con el objetivo de eliminar las líneas que no se eliminaron en el proceso final de lijado, se pule con alúmina para lograr un acabado tipo espejo para que se puede observar la estructura metalográfica del material.
- Luego de obtener el acabado tipo espejo se procede a atacar las probetas con el reactivo Nital al 3,5% con tiempo de exposición 10 segundos.

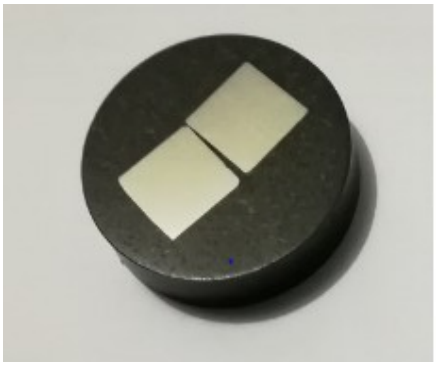


Figura 21. Encapsulamiento material original

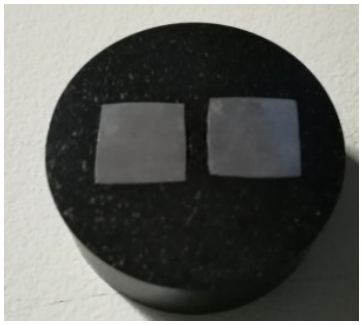


Figura 22. Encapsulamiento material templado

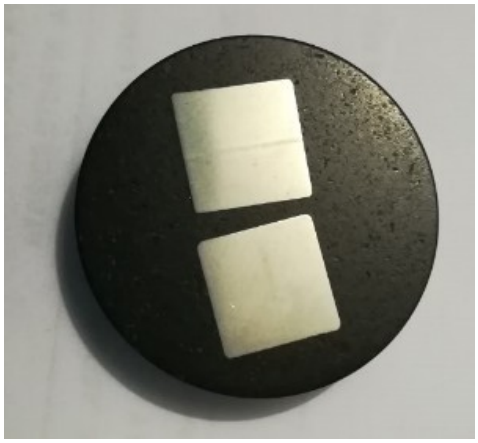


Figura 23. Encapsulamiento material templado y revenido

7.7.3. Toma de imágenes

Para la toma de las imágenes se utilizó el microscopio óptico AXIO OBSERVER D1M. Por medio de este se observaron las superficies pulidas y atacadas para identificar las diferentes zonas presentes en el material, a aumentos 100, 500 y 1000.

7.7.4. Ensayo de dureza

Por medio del equipo GNEHM SWISS ROCK se realizó la medición de la dureza superficial en las probetas, este ensayo se ejecutó realizando una precarga de 10kgf y posteriormente una carga de 100 kgf durante 10 segundos, se tomaron 5 mediciones sobre la misma cara, la superficie de la probeta debe estar totalmente plana para que no se generen errores en la toma de datos.

7.7.5. Medición de microdureza

La toma de microdurezas se realizó utilizando el equipo GNEHM SWISS ROCK, se observó a través del lente con un aumento de 400, se tomaron 10 mediciones con una carga de 245.2 mN durante 30 segundos.

7.7.6. Microscopia electrónica de barrido

El SEM se realizó utilizando un microscopio TESCAN VEGA 3 SB, antes de proceder a la prueba se debe verificar que las probetas estén debidamente pulidas y atacadas, las probetas se deben limpiar con alcohol antes de introducirlas en el equipo, se observan las diferentes zonas del material a aumentos de 1500, 2500, 3500, 5000 y 10000. Se realizo una espectrometría del material para verificar la composición química en el material para observar los elementos presentes.

7.7.7. Prueba de impacto

Se procedió a realizar las pruebas de impacto a las 25 probetas del material base, a las 8 templadas y a las 25 tratadas en péndulo de impacto SATEC SI-1A.

7.7.8. Estereoscopio

Luego de realizar las pruebas de impacto se procedió a tomar imágenes de la fractura en el estereoscopio Discovery V8.

8. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

8.1. METALOGRAFÍA

Se muestran a continuación las imágenes tomadas en las probetas del material original, el templado y el tratado completamente con aumentos de 100, 500 y 1000.

Acero A-131 Material base

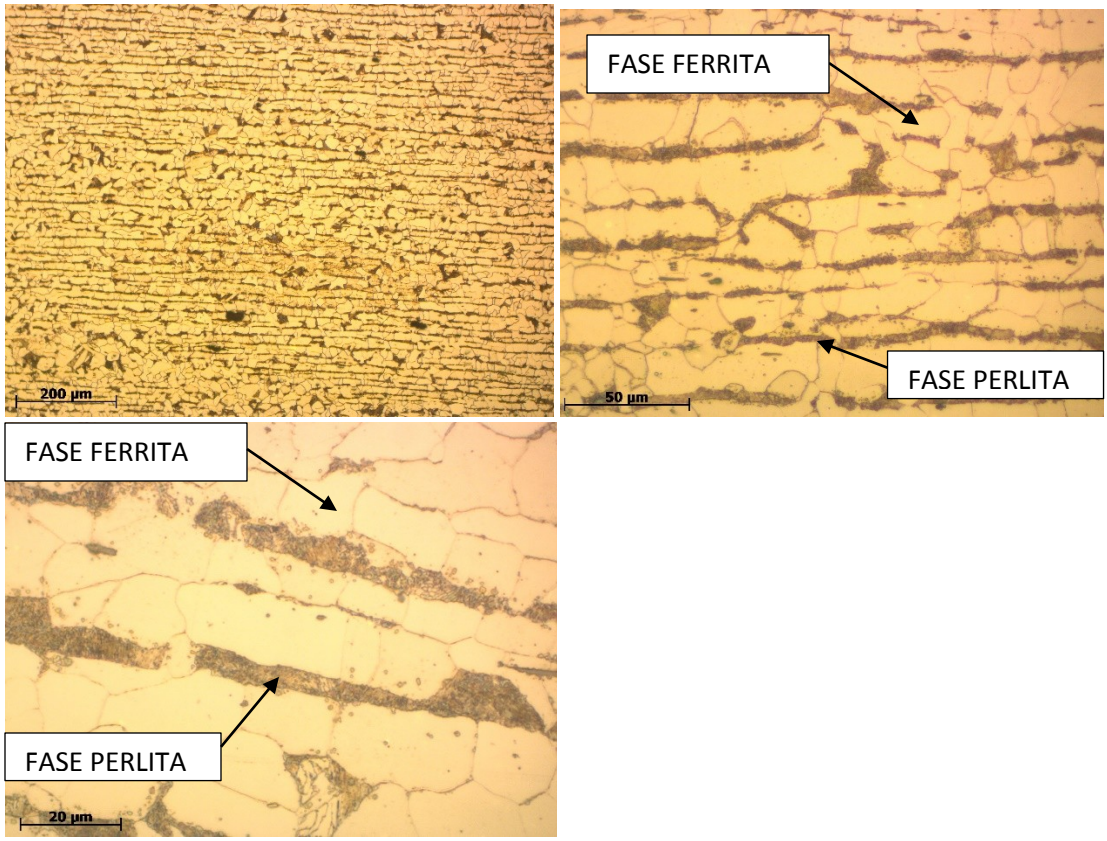


Figura 24. Material base probeta 1 aumento de 100X, 500X, 1000X

Se identifican dos zonas en el material una clara que según la bibliografía consultada se define que es ferrita y otra oscura que es perlita.

Acero A-131 Material base

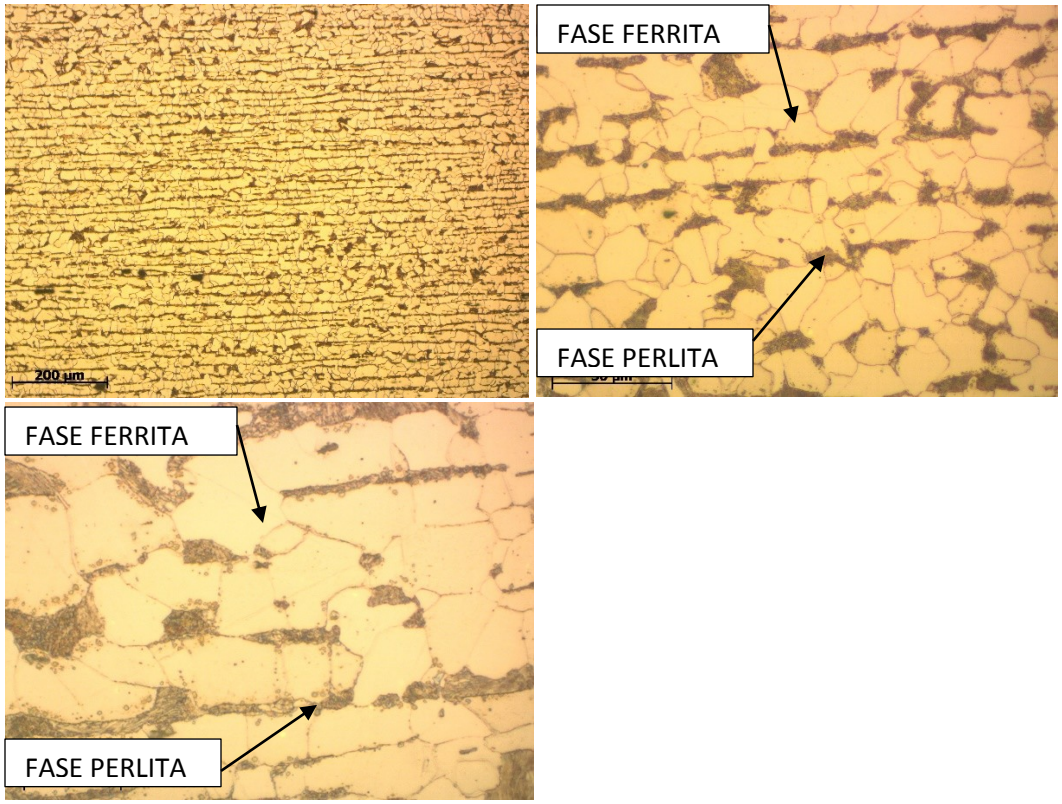


Figura 25. Material base probeta 2 aumento de 100X, 500X, 1000X

Se identifican dos zonas en el material una clara que según la bibliografía consultada se define que es ferrita y otra oscura que es perlita.

Acero A-131 material templado

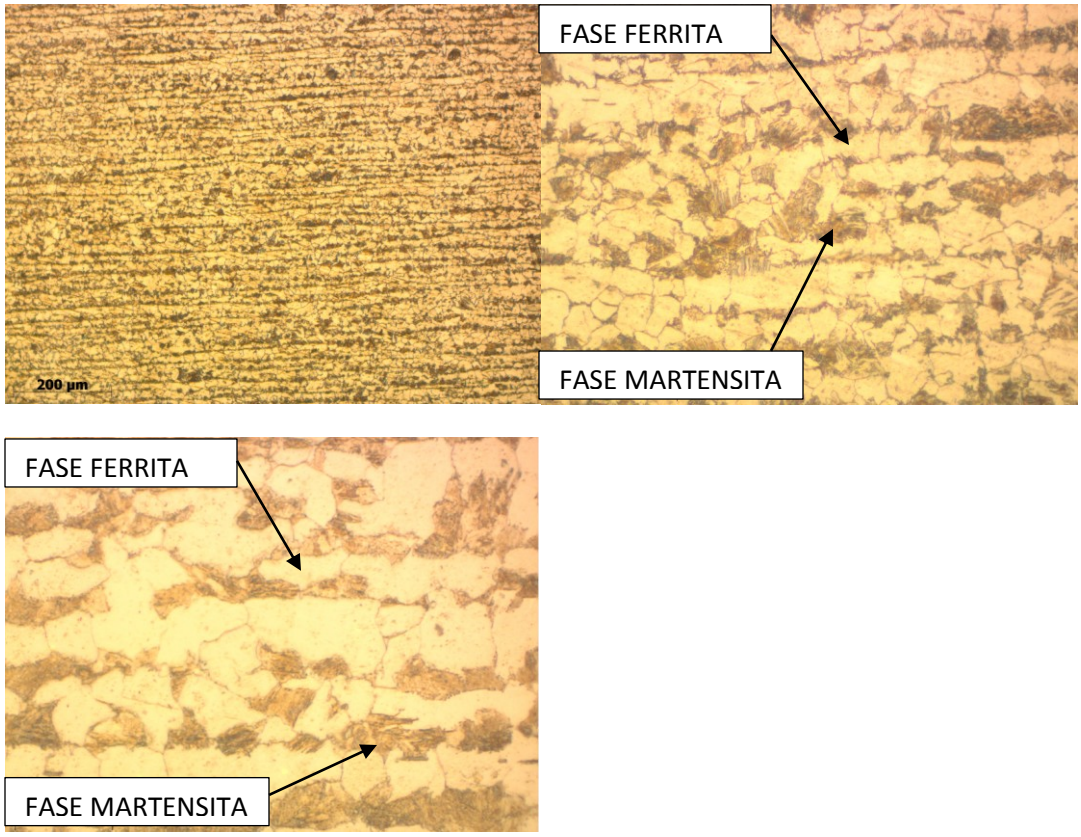


Figura 26. Material templado probeta 1 aumento de 100X, 500X, 1000X

Se identifican dos zonas en el material una clara que según la bibliografía consultada se define que es ferrita y otra oscura que es martensita.

Acero A-131 material templado

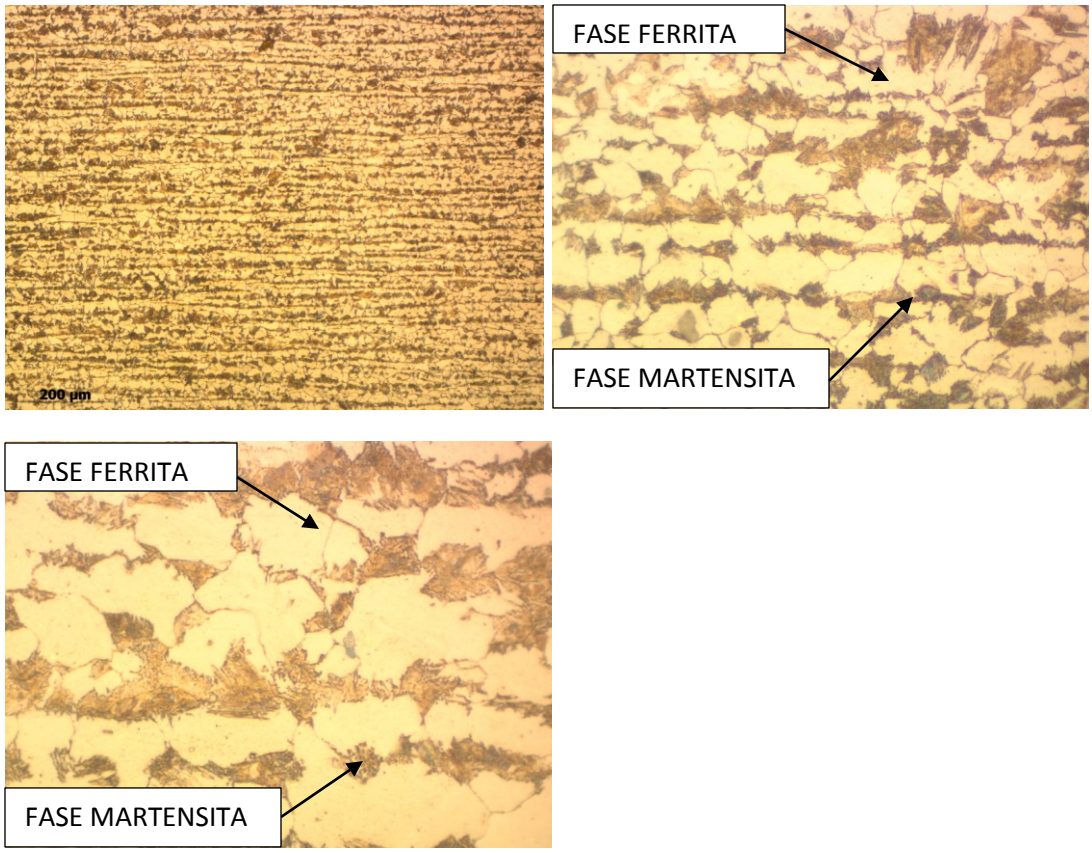


Figura 27. Material templado probeta 2 aumento de 100X, 500X, 1000X

Se identifican dos zonas en el material una clara que según la bibliografía consultada se define que es ferrita y otra oscura que es martensita.

.

Acero A-131 material tratado

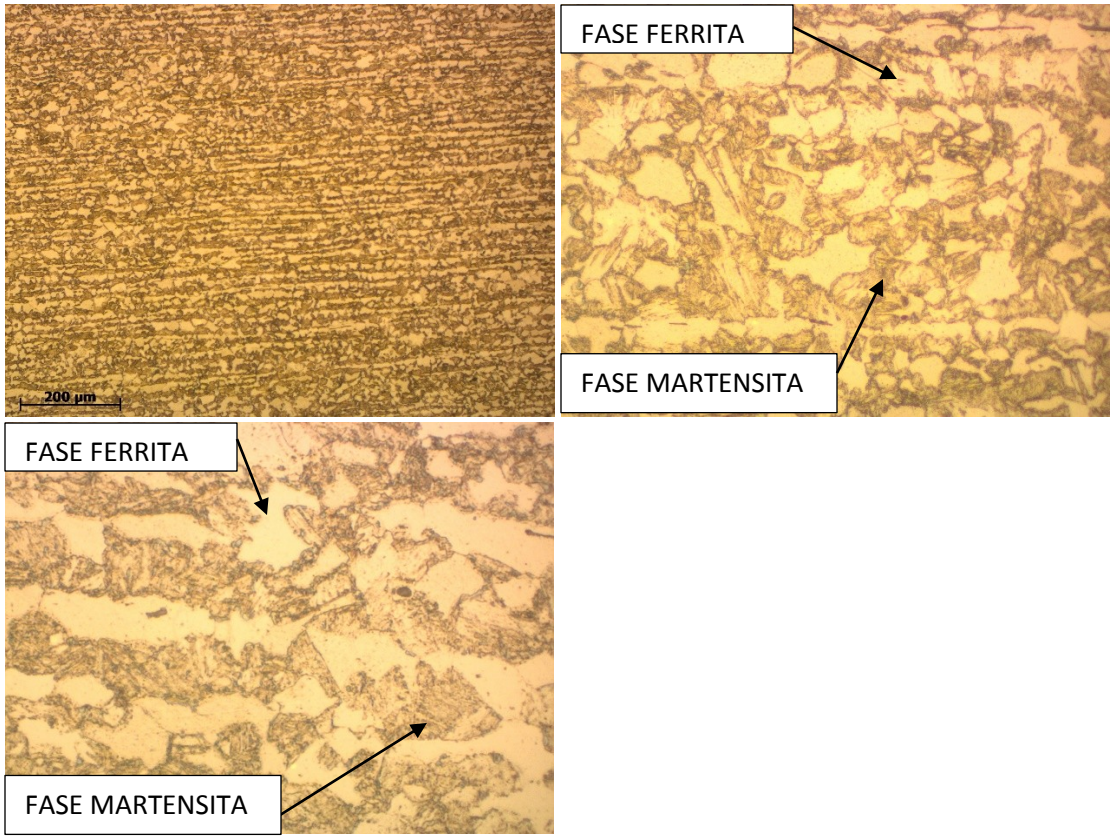


Figura 28. Material templado y revenido probeta 1 aumento de 100X, 500X, 1000X

Se identifican dos zonas en el material una clara que según la bibliografía consultada se define que es ferrita y otra oscura que es martensita.

Acero A-131 material tratado

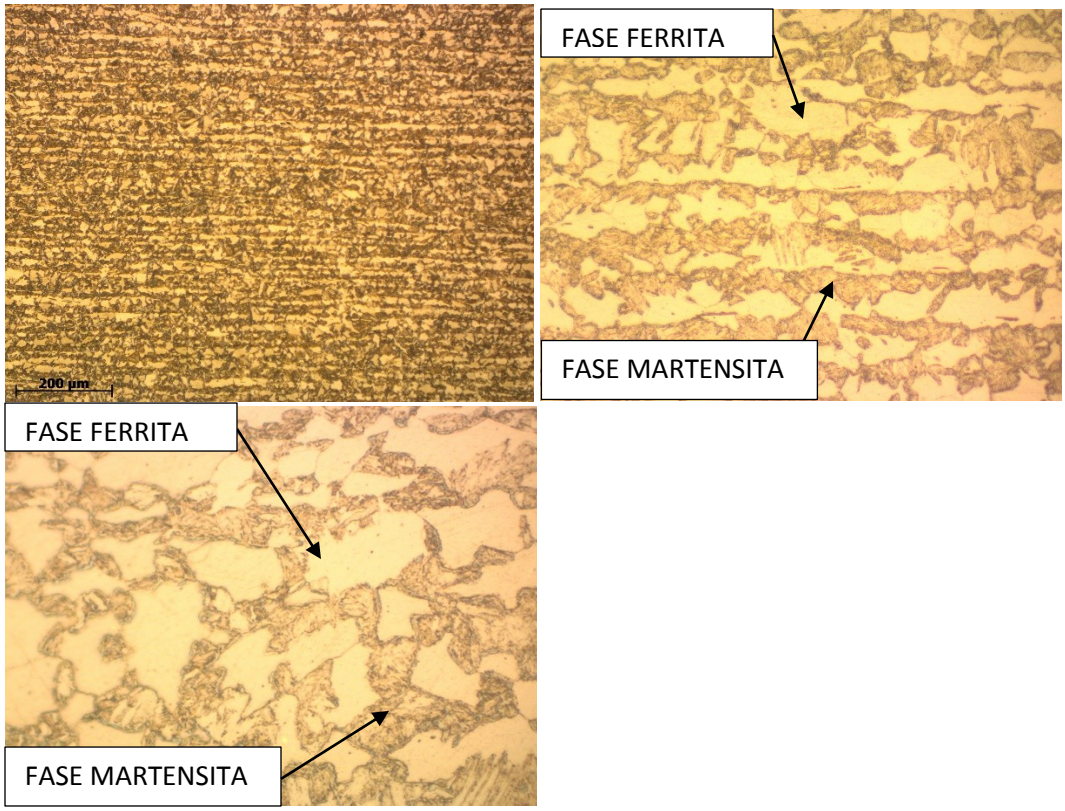


Figura 29. Material templado y revenido probeta 2 aumento de 100X, 500X, 1000X

Se identifican dos zonas en el material una clara que según la bibliografía consultada se define que es ferrita y otra oscura que es martensita.

Luego de realizar la metalografía a las probetas del material base, el material solamente templado y las que tienen el tratamiento completo de temple y revenido, se observa que hay presentes dos fases la clara y la oscura como, se puede evidenciar que luego de los tratamientos la zona identificada como martensita aumenta con el temple, generando cambios en las propiedades del material.

8.2. DUREZAS

A continuación, se observan los datos obtenidos en las mediciones de dureza del material base.

P1	P2	P3	P4	P5
115	128	129	128	130
126	120	129	130	132
128	130	127	123	127
130	124	125	127	129
129	131	131	135	135
125,6	**126,6**	**128,2**	**128,6**	**130,6**

P6	P7	P8	P9	P10
126	129	129	127	127
131	133	130	129	125
128	131	129	138	128
129	127	128	123	127
135	129	129	131	129
129,8	**129,8**	**129**	**129,6**	**127,2**

P11	P12	P13	P14	P15
131	127	127	130	133
132	128	129	130	129
131	127	129	127	127
117	126	127	127	128
133	129	129	132	129
128,8	**127,4**	**128,2**	**129,2**	**129,2**

P16	P17	P18	P19	P20
129	130	128	135	129
129	128	127	129	123
127	128	127	129	128
127	129	127	128	130
128	130	127	130	131
128	**129**	**127,2**	**130,2**	**128,2**

P21	P22	P23	P24	P25
128	131	127	129	131
128	130	128	128	132
131	128	128	131	129
129	130	130	130	129
128	129	129	131	120
128,8	**129,6**	**128,4**	**129,8**	**128,2**

Tabla 4. Dureza material base

Luego de las mediciones tomadas se evidencia que el material base tiene un promedio de dureza de 128.60 Vickers.

A continuación, se observan los datos obtenidos en las mediciones de dureza del material templado.

P1	P2	P3	P4	P5
210	252	246	203	224
207	223	240	248	243
244	215	237	206	235
217	250	208	249	248
238	245	248	243	244
223,2	237	235,8	229,8	238,8

P6	P7	P8
238	312	240
219	287	260
250,6	311	250
236	334	242
245	315	248
237,72	311,8	248

Tabla 5. Dureza material templado

Con los datos tomados tenemos un promedio de dureza de 245,26 Vickers luego de realizar el templado a las probetas, con esto podemos evidenciar que la dureza en las probetas se vio incrementada luego de ser templadas durante media hora.

A continuación, se observan los datos obtenidos en las mediciones de dureza del material tratado.

P1	P2	P3	P4	P5
183	158	139	169	168
187	157	161	188	177
155	166	160	177	185
151	176	152	143	162
165	171	156	183	159
168,2	**212,8**	**153,6**	**172**	**170,2**

P6	P7	P8	P9	P10
190	161	162	181	148,7
149	148	182	202	179
179	136	188	182	226
189	174	170	130	188
192	168	187	200	174
179,8	**157,4**	**177,8**	**179**	**183,14**

P11	P12	P13	P14	P15
186	154	168	182	200
186	165	183	184,4	212
194	176	184	138	208
207	154	200,1	165	232
164	174	196	196	212
187,4	**164,6**	**186,22**	**173,08**	**212,8**

P16	P17	P18	P19	P20
168	196	158	191	162
208	190	155	175,7	159
175	148,1	140	180	167
192	148,7	140	181	163
181	224	159	184,2	161
184,8	**181,36**	**150,4**	**182,38**	**162,4**

P21	P22	P23	P24	P25
190	171	171,5	197	147
202	171,5	176	124	175,7
188	174	151	132	175,6
189	130	197	130	163,6
200,2	185	197	171,4	185
193,84	**166,3**	**178,5**	**150,88**	**169,38**

Tabla 6. Dureza material templado y revenido

Con los datos tomados tenemos un promedio de dureza de 208,93 Vickers luego de realizarle el tratamiento térmico a las probetas, con esto podemos evidenciar que la dureza en las probetas se vio incrementada luego de ser tratadas.

Luego de realizar la toma de durezas en las diferentes probetas se obtienen los siguientes promedios de dureza, en el material base 128,6 Vickers, en el templado a 810ºC durante media hora 245,26 Vickers, en el templado a 810ºC y revenido a 470 ºC ambos durante media hora se tiene un promedio de 208,93 Vickers. Con estos datos se puede analizar que el material sometido solo a temple presenta una mayor dureza que las otras dos muestras, al igual que el material luego de ser revenido tuvo una disminución de aproximadamente 40 Vickers en la dureza.

8.3. MICRODUREZA

Se realizó la medición de la dureza en los granos de la microestructura con el fin de observar que impacto tiene el tratamiento en las diferentes zonas presentes del material.

A continuación, se observan los datos obtenidos en el material base.

Zona blanca (HV)	Zona negra (HV)
174	254
162	246
157	259
170	295
158	261
164,2	263

Tabla 7. Microdureza material base

Con la información obtenida podemos evidenciar que la dureza es más alta en las zonas negras que en la blanca

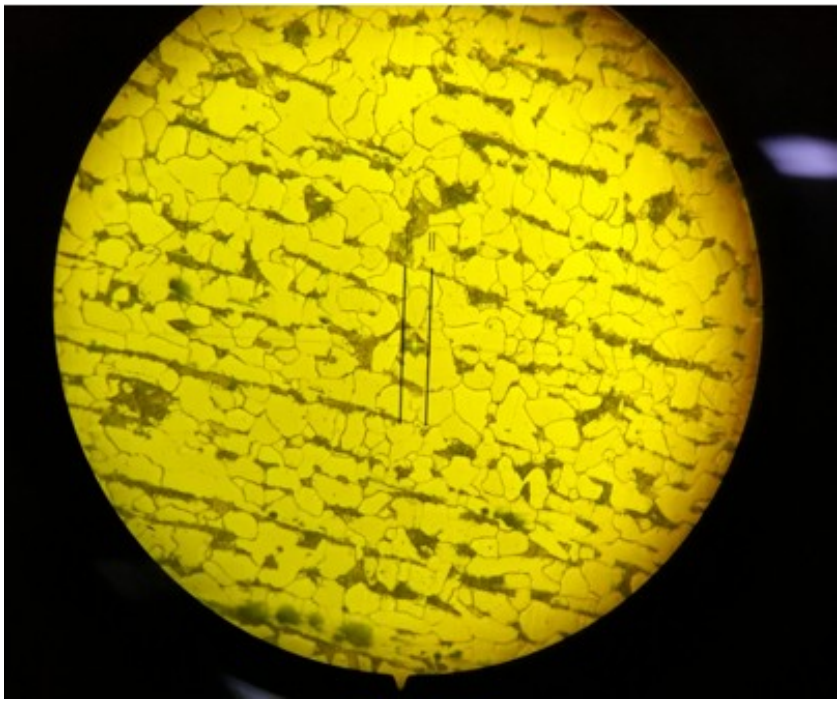


Figura 30. Microdureza material base

A continuación, se evidencian las mediciones de dureza tomadas del material templado, en las diferentes zonas.

Zona blanca (HV)	Zona negra (HV)
272	365
222	319
265	370
254	424
263	390
255.2	373.6

Tabla 8. Microdureza material templado

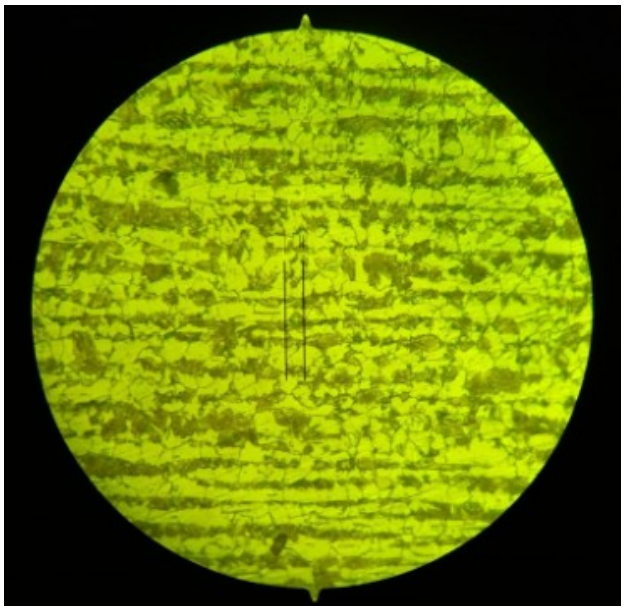


Figura 31. Microdureza material templado

Se observa que la microdureza aumento tanto en la zona oscura como en la clara luego de realizar el temple, con esto se evidencia que con el templado el material aumenta su microdureza en aproximadamente 100 Vickers.

A continuación, se evidencian las mediciones de dureza tomadas del material tratado, en las diferentes zonas.

Zona blanca (HV)	Zona negra (HV)
263	302
253	351
226	325
244	335
251	354
247,4	333,4

Tabla 9. Microdureza material templado y revenido

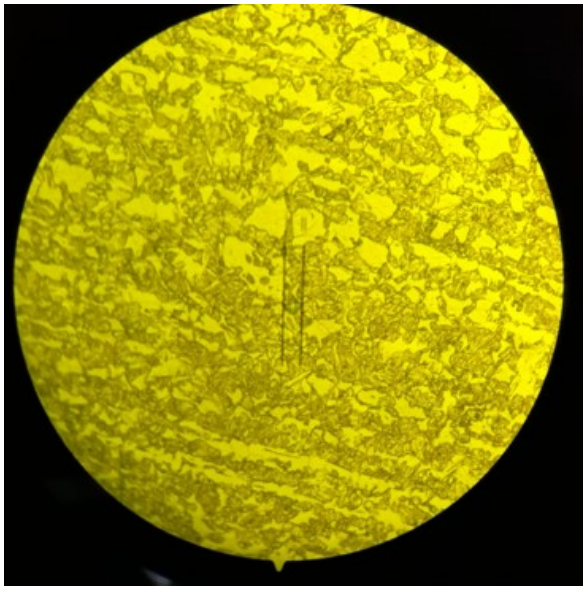


Figura 32. Microdureza material templado y revenido

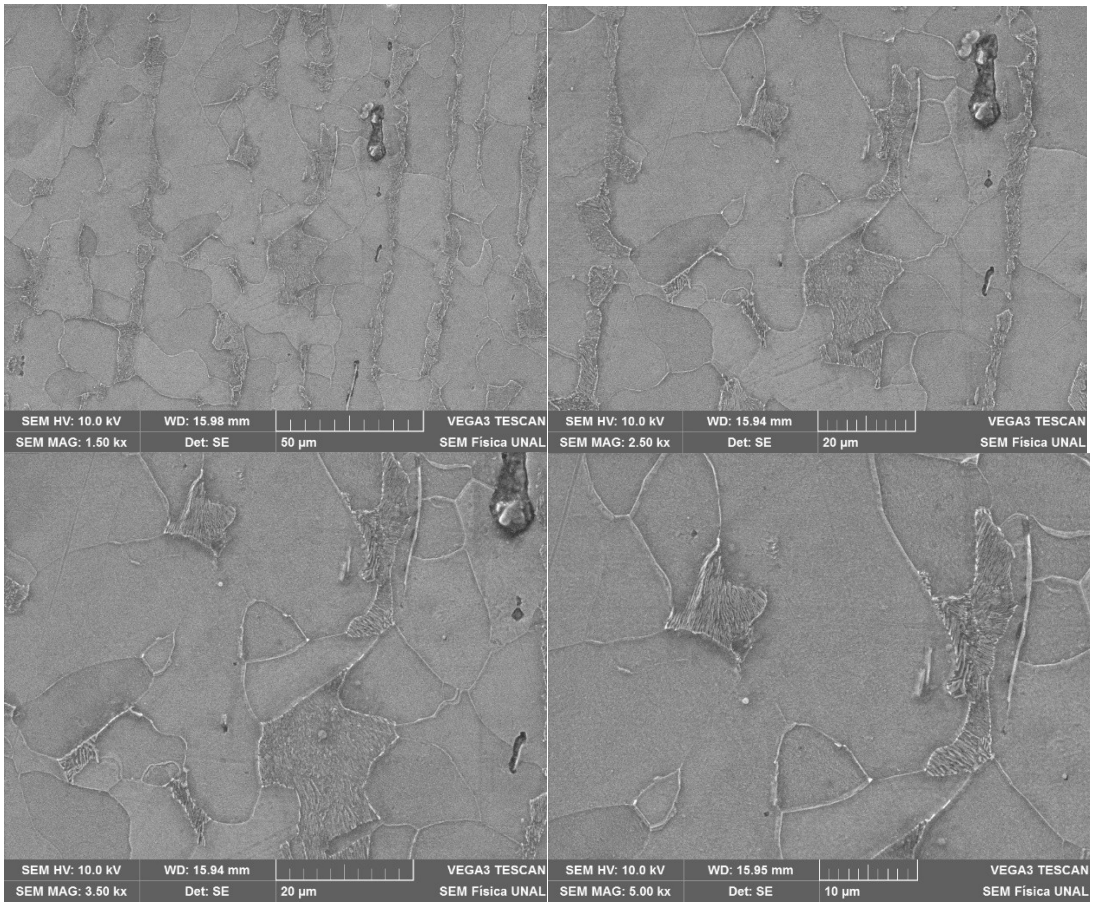
Al igual que en el material original observamos que la dureza es más alta en las zonas negras, también se evidencia que con el tratamiento la dureza se ve incrementada ya que en el material base tenemos un promedio de dureza en la zona blanca de 164,2 Vickers y en la zona negra de 263 Vickers, en las probetas luego del tratamiento se puede observar un incremento de aproximadamente 100 Vickers en las diferentes zonas como se observa en la tabla 9. Aunque en el material que solo fue sometido a temple es que el que presenta mayores valores de microdureza como se evidencia en la tabla 8.

8.4. MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO

La microscopia se realizó en un microscopio electrónico de barrido, observando las probetas a diferentes aumentos de 1500, 2500, 3500, 5000 y 10000, para evidenciar las zonas presentes en el material y también se realizó una espectrometría de las zonas para conocer su composición química.

Microscopia material original

A continuación, se evidencia la estructura del material base.



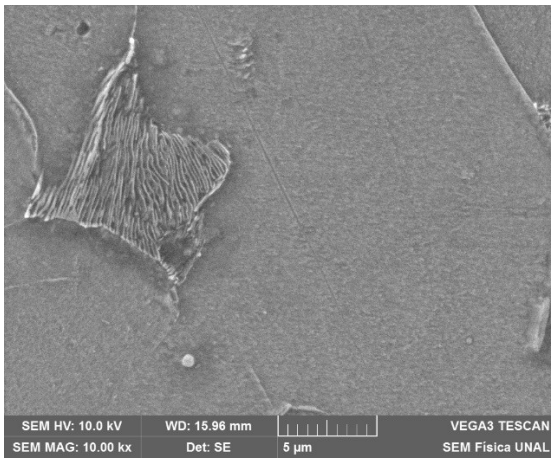
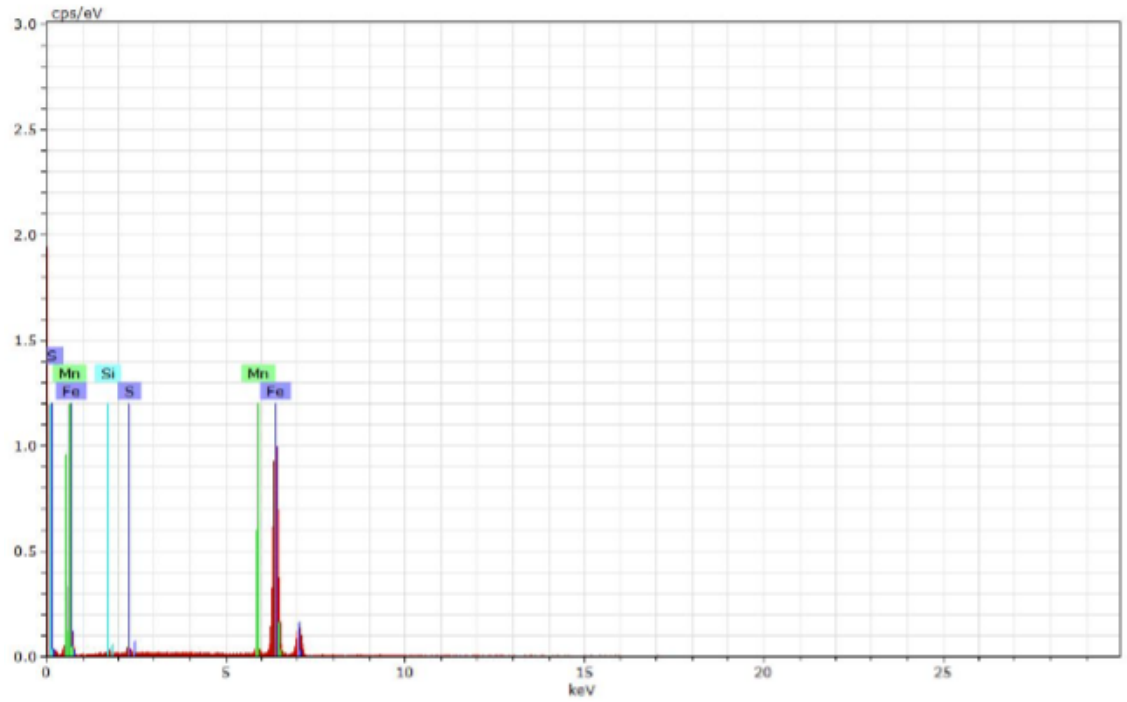


Figura 33. Microscopia electrónica de barrido material base 1500, 2500, 3500, 5000 y 10000

Se evidencian al igual que en la metalografía la presencia de dos zonas una clara y otra oscura, se procede a realizarle la espectrometría para conocer su composición química.



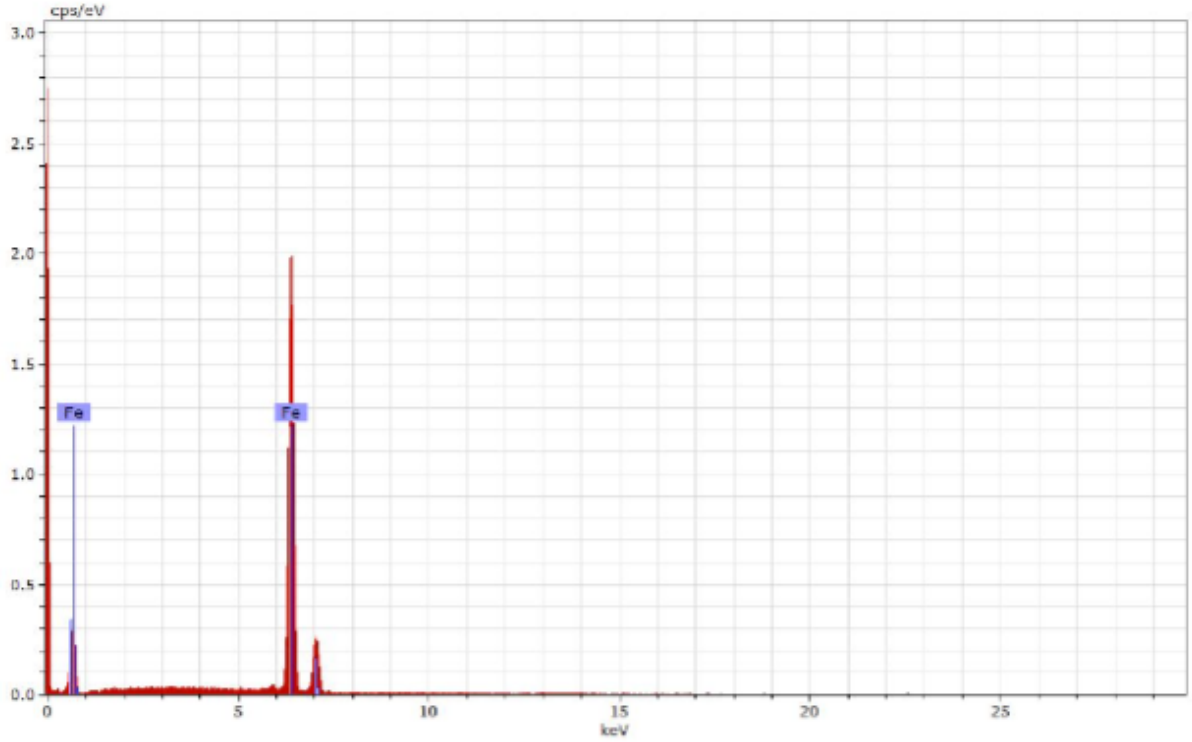
Spectrum: AM8 5540

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	90.29	94.23	92.11	2.48
Mn	25	K-series	2.93	3.05	3.03	0.19
S	16	K-series	1.69	1.77	3.01	0.17
Si	14	K-series	0.91	0.95	1.85	0.13
		Total:	95.82	100.00	100.00	

Figura 34. Microscopia electrónica de barrido material base composición química

En la composición química que se realizó al material base por medio del espectrómetro se observa que efectivamente el material tiene un alto contenido de manganeso.

Luego se realiza la composición en la zona oscura.



Spectrum: AM0 5541

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	94.95	100.00	100.00	2.52
		Total:	94.95	100.00	100.00	

Figura 35. Microscopia electrónica de barrido material base zona clara composición química

Se observa que en la zona clara solo hay presencia de hierro lo cual indica según la bibliografía consultada que la fase presente en la zona es ferrita.

Microscopia material tratado

Luego se realiza la microscopia al material tratado.

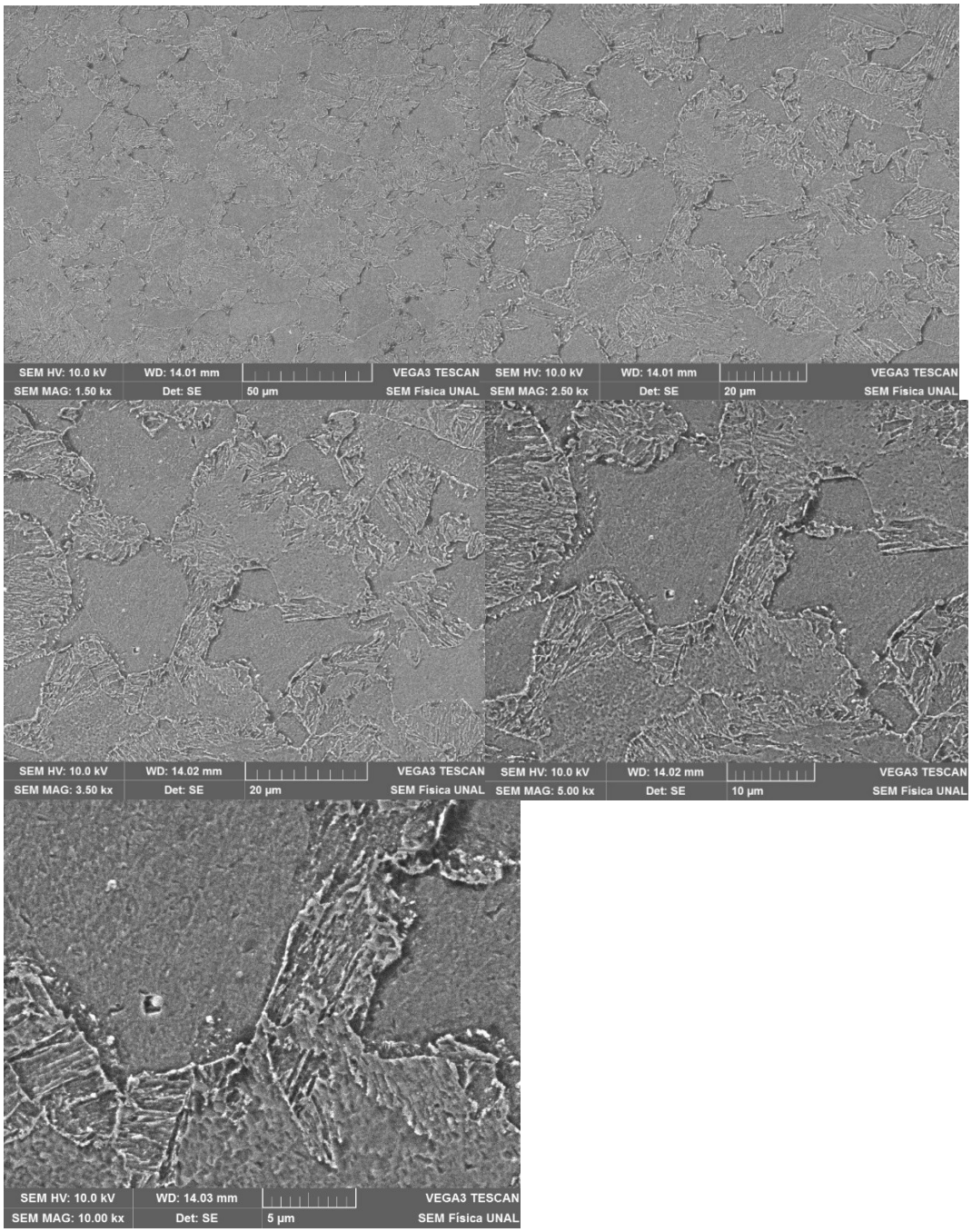
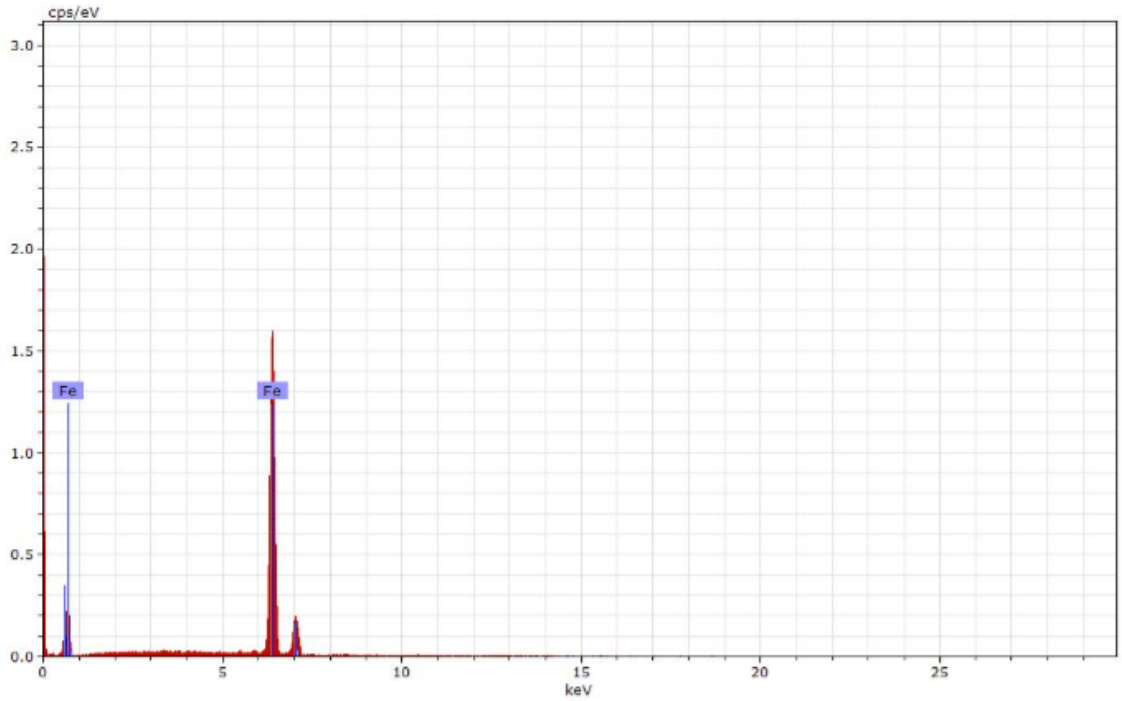


Figura 36. Microscopia electrónica de barrido material templado y revenido 1500, 2500, 3500, 5000 y 10000

Al igual que en el material base se procedió a realizarle la espectrometría en la zona oscura para conocer la composición de esta.



Spectrum: AM8 5539

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	91.34	100.00	100.00	2.46
		Total:	91.34	100.00	100.00	

Figura 37. Microscopia electrónica de barrido material templado y revenido zona clara composición química

Se obtiene solo hierro por la tanto al igual que en el material original se evidencia la ferrita.

Al observar las imágenes de la microscopia se evidencia que las zonas oscuras identificadas como martensita, aumentaron considerablemente luego del temple a 810ºC y revenido a 470ºC durante media hora en el material.

8.5. IMPACTO

Se realiza la prueba de impacto utilizando el péndulo de impacto SATEC SI-1A, se realizó la prueba Charpy a las probetas del material original y el tratado, obteniendo los siguientes valores.

A continuación, se encuentran los datos obtenidos de la prueba de impacto en las probetas del material base.

No. Probeta	Energía Perdida (J)	Energía Acumulada (J)	Energía absorbida (J)
1	0,308	81,74	81,432
2	0,463	81,59	81,127
3	0,411	81,64	81,229
4	0,411	81,64	81,229
5	0,437	81,62	81,183
6	0,437	81,62	81,183
7	0,437	81,62	81,183
8	0,437	81,62	81,183
9	0,437	81,51	81,073
10	0,437	81,62	81,183
11	0,437	81,62	81,183
12	0,437	81,64	81,203
13	0,437	81,62	81,183
14	0,437	81,62	81,183
15	0,411	81,64	81,229
16	0,411	81,64	81,229
17	0,437	81,62	81,183
18	0,437	81,62	81,183
19	0,437	81,62	81,183
20	0,488	81,57	81,082

Tabla 10. Valores obtenidos prueba de impacto material base

En la tabla 10 se encuentran los valores obtenidos de energía absorbida en las probetas del material base, ninguna de las probetas rompió debido a que el péndulo de la universidad tiene una capacidad de 82J, lo cual no es suficiente para romper las probetas.

Los siguientes datos son los obtenidos luego de la prueba de impacto en el material templado a 810°C durante media hora.

No. Probeta	Energía Perdida (J)	Energía Acumulada (J)	Energía absorbida (J)
1	0,437	81,62	81,183
2	0,437	71,62	71,183
3	0,463	72,62	72,157
4	0,308	71,75	71,442
5	0,437	66,86	66,423
6	0,463	71,59	71,127
7	0,283	50	49,717
8	0,437	71,64	71,203

Tabla 11. Valores obtenidos prueba de impacto material templado

En la tabla 11 se encuentran los valores obtenidos de energía absorbida en las probetas del material templado a 810ºC durante media hora, en estas probetas se observó que las que mayor dureza presentaron luego del temple se rompieron y tuvieron un valor promedio de energía absorbida de 69J, con esto se verifica que el material entre mayor dureza presente se hace más frágil.

Los siguientes datos son los obtenidos luego de la prueba de impacto en el material templado a 810°C durante media hora y revenido a 470°C durante el mismo tiempo.

No. Probeta	Energía Perdida (J)	Energía Acumulada (J)	Energía absorbida (J)
1	0,437	81,62	81,183
2	0,437	81,62	81,183
3	0,283	81,77	81,487
4	0,437	81,54	81,103
5	0,437	81,54	81,103
6	0,283	81,77	81,487
7	0,437	81,62	81,183
8	0,283	81,77	81,487
9	0,411	81,64	81,229
10	0,437	81,62	81,183
11	0,437	81,62	81,183
12	0,437	81,62	81,183
13	0,411	81,64	81,229
14	0,283	81,77	81,487
15	0,437	81,62	81,183
16	0,283	81,69	81,407
17	0,463	81,59	81,127
18	0,437	81,62	81,183
19	0,411	81,64	81,229
20	0,437	81,62	81,183
21	0,437	81,62	81,183
22	0,437	81,62	81,183
23	0,437	81,62	81,183
24	0,437	81,77	81,333
25	0,463	81,64	81,177

Tabla 12. Valores obtenidos prueba de impacto material templado y revenido

En la tabla 12 se encuentran los valores de energía absorbida de las probetas del material templado a 810ºC y revenido a 470ºC ambos durante media hora, en estas probetas tampoco ninguna rompió, pero si presentaron un mayor ángulo de

fractura, con lo que se evidencia que luego del revenido produce que la dureza disminuya ya que libera tensiones internas y disminuye la fragilidad del material.

8.6. ESTEREOSCOPIA

Luego de realizar la prueba de impacto se observa en el estereoscopio la fractura ocasionada, ya que no se puede observar toda la superficie por que las probetas no se rompieron en su totalidad.
Inicialmente se toman las imágenes del material base.

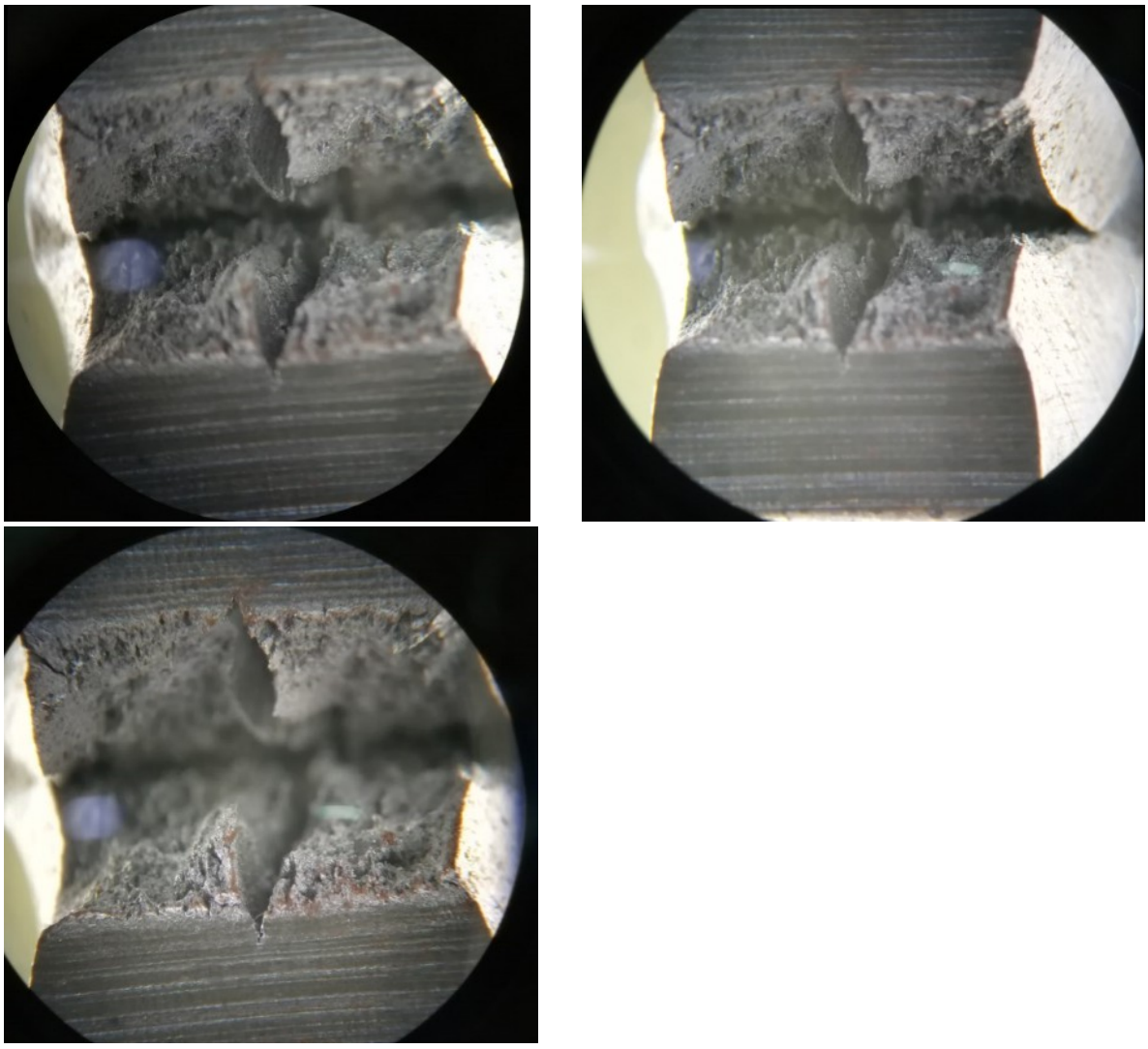


Figura 38. Estereoscopia fractura material base

Como se observa en la figura 38 el material base presenta una gran cantidad de micro vacíos lo que produce que el material tenga una ductilidad alta.

Se realiza la toma de imágenes de las probetas templadas después de realizar la prueba de impacto.

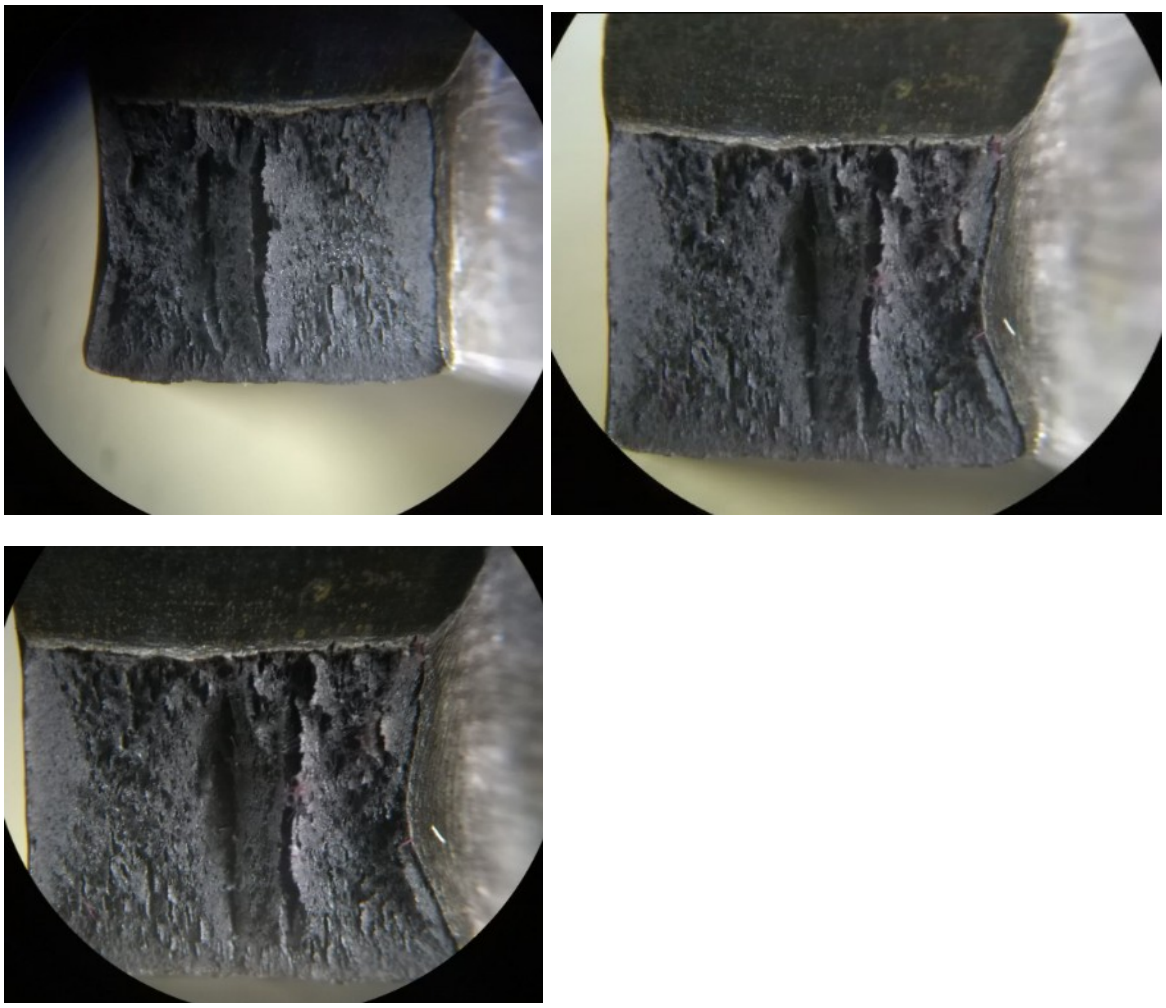


Figura 39. Estereoscopia fractura material templado

Se observa que en el material templado no se generan tantos micro vacíos como en el material base, lo que indica que el material no es tan dúcil. Además, en la prueba de impacto estas probetas si rompieron, ya que la dureza y su fragilidad aumentaron por el temple realizado.

Se realiza la toma de imágenes de las probetas tratadas después de realizar la prueba de impacto.

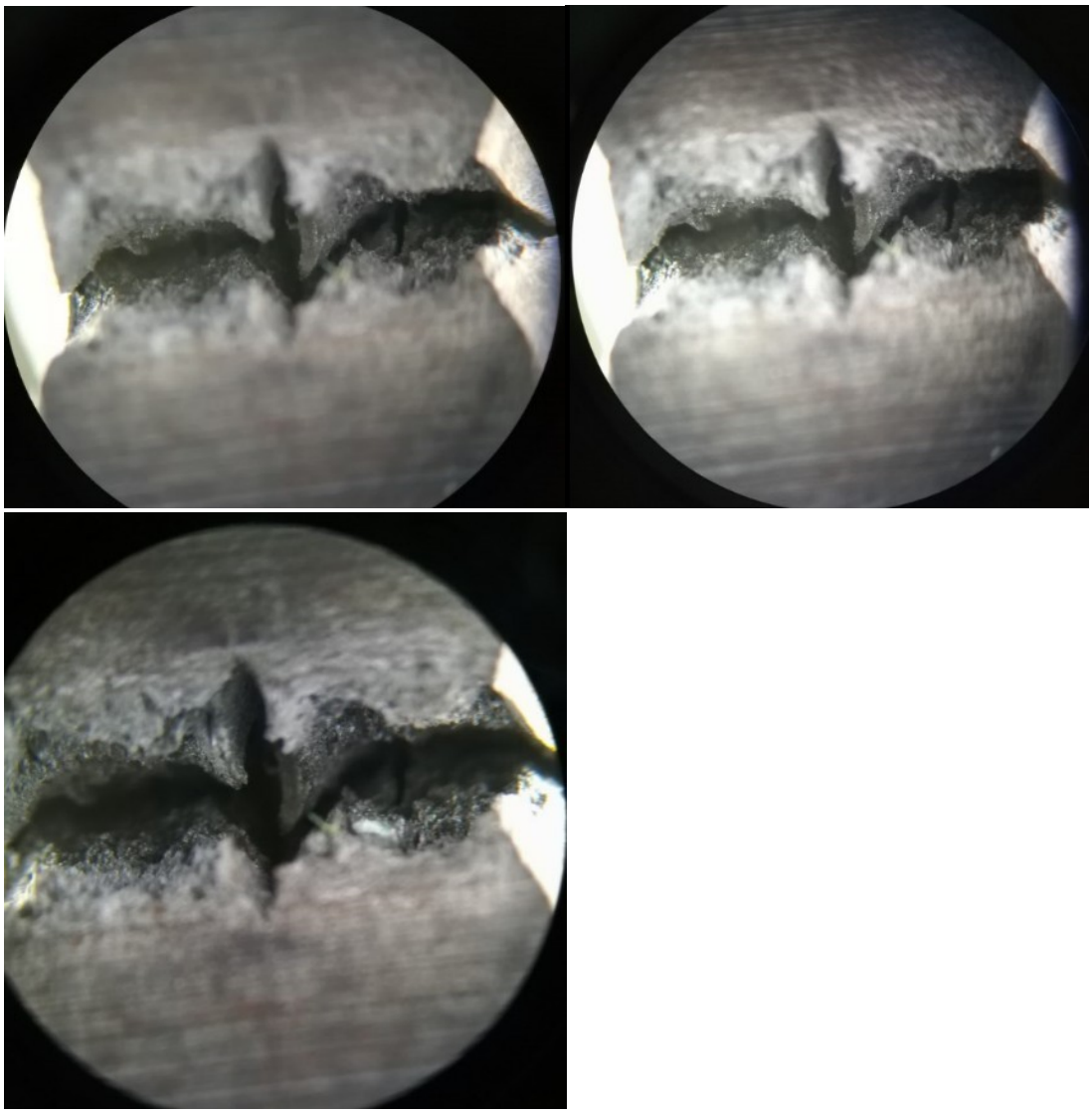


Figura 40. Estereoscopia fractura material templado y revenido

Ya que la fractura en las probetas tratadas fue menor no se logra observar de igual manera los microvacios, pero se observa una pequeña zona donde se pueden identificar, al igual que en el material base esto produce que el material tenga una ductilidad mayor por lo tanto requiere de mas energia para que se rompan.

8.7. ENERGIA ABSORBIDA VS DUREZA

En la figura 41 podemos observar que el material sin ningún tratamiento presenta valores de dureza menores. El material al ser templado se endurece más y requirió menos energía para romperse. Por ultimo las probetas templadas y revenidas presentaron una mayor dureza, pero el valor de energía absorbida es similar al del material base.

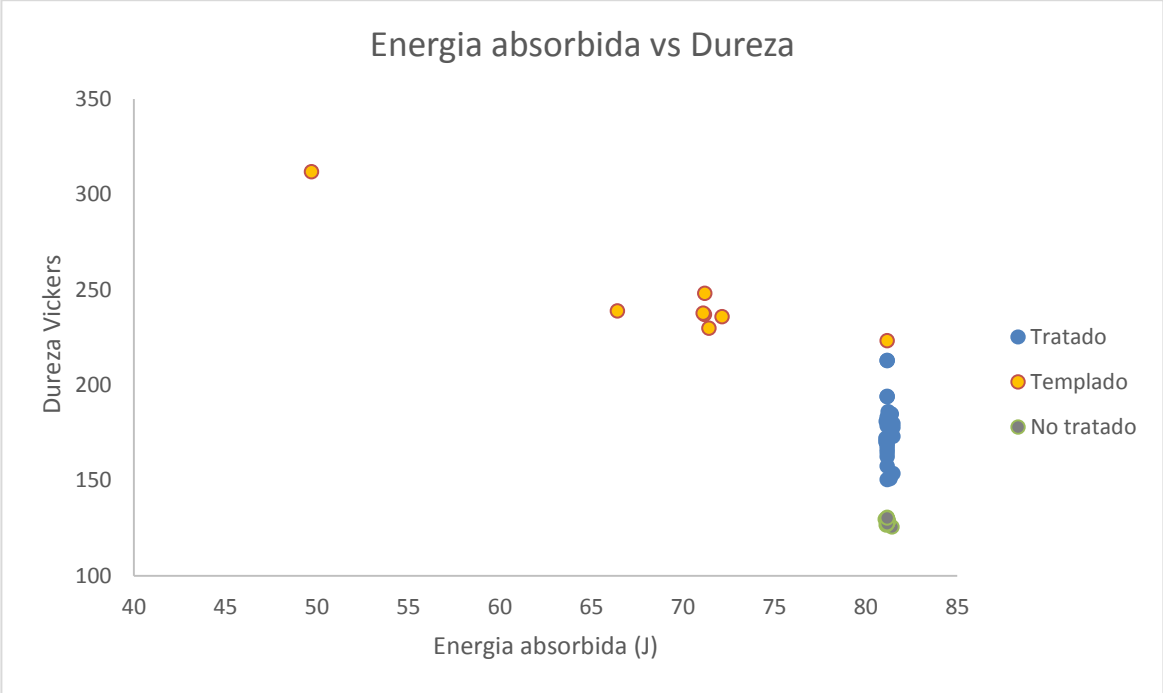


Figura 41. Analisis Energia absorbida vs Dureza

CONCLUSIONES

- Se determinan las temperaturas intercritticas para llevar a cabo el temple a una temperatura de 810ºC durante media hora y el revenido por encima de M_s (temperatura de comienzo de transformacion martensitica) escogiendo una temperatura de 470ºC durante el mismo tiempo.
- Por medio de la metalografia se evidencia el cambio en las fases. Se observa que en el material base hay presencia de ferrita y una parte de perlita, posterior al tratamiento se observa presencia de ferrita y matensita lo que causa que aumente la dureza del material.
- Al analizar los valores obtenidos en las pruebas de dureza se observa que el material se sometio a temple presenta mayor dureza con un promedio de 245,26 Vickers y luego de que es revenido la dureza dismuye quedando en un promedio de 208,57 Vickers, ya que el revenido libera las tensiones que se generan internamente en el material. En los dos casos la dureza aumento en comparacion con el valor promedio de 128,6 Vickers del material original.
- Los datos obtenidos en la prueba de impacto indican que el material tiene mejores propiedades luego de ser templado y revenido ya que ninguna de estas probetas rompio, en comparacion con las que solo fueron templadas las cuales si rompieron y por ende obtuvieron valores de energia absorbida mas bajos. Las probetas del material sin tratamiento y las tratadas con temple y revenido no rompieron, los valores obtenidos de energia absorbida son muy similares.

BIBLIOGRAFIA

1. Universidad Libre, Estudio de sostenibilidad de un acero ASTM a 131 grado DH 36 mediante el proceso gmaw pulsado, disponible en http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/7856
2. Universidad Tecnológica de Pereira, Caracterización Mecánica y Micro-Estructural del Acero ASTM A 131A Sometidos a Cargas Explosivas, disponible http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/5189/2309
3. Norma ASTM A131
4. Espectrometría, disponible en http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_emisin
5. Tratamientos térmicos de los metales, disponible en https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/09/tratamientos-termicos.pdf.
6. Tratamientos térmicos, disponible en http://www.tecnosefarad.com/wp-content/archivos/bach_2/materiales/T3_tratamientos_termicos.pdf
7. Curso de materiales maquina de impacto, http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/MATE/PROTOCOLO%20IMPACTO.pdf
8. Ensayo de impacto charpy, disponible http://www.udistrital.edu.co:8080/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+IMPACTO.pdf
9. Ensinger, dureza, disponible en http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/propiedades-mecanicas/dureza
10. Struers, ensayos de dureza, http://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Hardness-testing#
11. Metallurgy
12. Estructuras del acero, https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5_anio/metalografia/5-_Estructuras_del_acero_v2.pdf
13. Constituyentes de los aceros, disponible en http://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno02/tema02/41_constituyentes_de_los_aceros.html
14. Constituyentes de los aceros, http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4910/html/61_constituyentes_de_los_aceros.html