



**UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSE DE CALDAS**  
**“Facultad Tecnológica”**

**MONOGRAFIA PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:  
“TECNOLOGO MECANICO”**

**TEMA:**

**INFLUENCIA DEL TEMPLE DESDE TEMPERATURAS  
INTERCRÍTICAS Y EL TIEMPO DE REVENIDO EN LA  
MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI/SAE 1045**

**AUTORES:**

**FUENTES AGUDELO, EDER IVAN**  
*evermore22@hotmail.com*

**CORDOBA CUBILLOS, DEWYTT JHORDAN.**  
*dewytt\_mecatron@hotmail.com*

**TUTOR:**

**BOHORQUEZ AVILA, CARLOS ARTURO**

**BOGOTA D.C, COLOMBIA**

**AGOSTO 2015**

## INDICE

1. INTRODUCCION.....	7
2. DESARROLLO TEMATICO.....	7
3. CONCLUSIONES.....	29
4. BIBLIORAFIA.....	30

## LISTA DE IMAGNES

<b>Imagen 1:</b> Micrografía de probeta material base sin tratamientos, de izquierda a derecha 500X y 1000X respectivamente.....	10
<b>Imagen 2:</b> Micrografía de probeta sometida a temple 750°C, de izquierda a derecha 500X y 1000X respectivamente.....	11
<b>Imagen 3:</b> Micrografía de probeta sometida a temple 750°C y revenido 400°C por 15 minutos, de izquierda a derecha 500X y 1000X respectivamente.....	12
<b>Imagen 4:</b> Micrografía de probeta sometida a temple 750°C y revenido 400°C por 30 minutos, de arriba hacia abajo 500X y 1000X respectivamente.....	13
<b>Imagen 5:</b> Micrografía de probetas sometida a temple 750°C y revenido 400°C por 45 minutos, de arriba hacia abajo 500X y 1000X respectivamente.....	14
<b>Imagen 6:</b> Micrografía de probetas sometida a temple 750°C y revenido 400°C por 60 minutos, de izquierda a derecha 500X y 1000X respectivamente.....	14
<b>Imagen 7:</b> Micrografías a 500X. (a). Revenido 15 minutos, (b). Revenido 30 minutos, (c). Revenido 45 minutos, (d). Revenido 60 minutos.....	15
<b>Imagen 8:</b> Gráfica de porcentajes de fracción volumétrica Acero AISI/SAE 1045 sin temple y sin revenido.....	22
<b>Imagen 9:</b> Micrografías Acero AISI/SAE 1045 sin temple y sin revenido tomadas para el análisis de fracciones volumétricas.....	22
<b>Imagen 10:</b> Gráfica de porcentajes de fracción volumétrica Acero AISI/SAE 1045 templado y revenido por 15 minutos.....	23
<b>Imagen 11:</b> Micrografías Acero AISI/SAE 1045 templada y revenida por 15 minutos, tomadas para el análisis de fracciones volumétricas.....	24
<b>Imagen 12:</b> Gráfica de porcentajes de fracción volumétrica Acero AISI/SAE 1045 templado y revenido por 30 minutos.....	25
<b>Imagen 13:</b> Micrografías Acero AISI/SAE 1045 templada y revenida por 30 minutos, tomadas para el análisis de fracciones volumétricas.....	25

**Imagen 14:** Gráfica de porcentajes de fracción volumétrica Acero AISI/SAE 1045 templado y revenido por 45 minutos.....26

**Imagen 15:** Micrografías Acero AISI/SAE 1045 templada y revenida por 45 minutos, tomadas para el análisis de fracciones volumétricas.....27

**Imagen 16:** Gráfica de porcentajes de fracción volumétrica Acero AISI/SAE 1045 templado y revenido por 60 minutos.....28

**Imagen 17:** Micrografías Acero AISI/SAE 1045 templada y revenida por 45 minutos, tomadas para el análisis de fracciones volumétricas.....28

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición química del acero AISI/SAE 1045 (Espectrometría de emisión Universidad Nacional 11 de Marzo de 2014).....	10
<b>Tabla 2.</b> Resultados de dureza de la probeta de material base tomados en escala HRB (Rockwell B).....	16
<b>Tabla 3.</b> Resultados de dureza de las probetas de material templado tomados en escala HRC (Rockwell C).....	16
<b>Tabla 4.</b> Resultados de dureza de las probetas de material Templado y Revenido por 15 minutos tomados en escala HRC (Rockwell C).....	17
<b>Tabla 5.</b> Resultados de dureza de las probetas de material Templado y Revenido por 30 minutos tomados en escala HRC (Rockwell C).....	18
<b>Tabla 6.</b> Resultados de dureza de las probetas de material Templado y Revenido por 45 minutos tomados en escala HRC (Rockwell C).....	19
<b>Tabla 7.</b> Resultados de dureza de las probetas de material Templado y Revenido por 60 minutos tomados en escala HRC (Rockwell C).....	20
<b>Tabla 8.</b> Comparación total de los promedios de dureza y tiempos de revenido.....	21
<b>Tabla 9.</b> Resultados del estudio de fracciones volumétricas para la probeta de material base.....	21
<b>Tabla 10.</b> Resultados del estudio de fracciones volumétricas para la probeta templada y revenido durante 15 minutos.....	23
<b>Tabla 11.</b> Resultados del estudio de fracciones volumétricas para la probeta templada y revenido durante 30 minutos.....	24
<b>Tabla 12.</b> Resultados del estudio de fracciones volumétricas para la probeta templada y revenido durante 45 minutos.....	26
<b>Tabla 13.</b> Resultados del estudio de fracciones volumétricas para la probeta templada y revenido durante 60 minutos.....	27

## LISTA DE GRAFICAS

<b>Grafica 1.</b> Grafica de los valores de la <b>Tabla 3</b> .....	16
<b>Grafica 2.</b> Grafica de los valores de la <b>Tabla 4</b> .....	17
<b>Grafica 3.</b> Grafica de los valores de la <b>Tabla 5</b> .....	18
<b>Grafica 4.</b> Grafica de los valores de la <b>Tabla 6</b> .....	19
<b>Grafica 5.</b> Grafica de los valores de la <b>Tabla 7</b> .....	20
<b>Grafica 6.</b> Comparación total de los promedios de dureza y tiempo de revenido en la experimentación, datos de la <b>Tabla 8</b> .....	21

## INTRODUCCION

En la actualidad la demanda por el mejoramiento de las propiedades de los materiales, ha tenido un aumento de manera exponencial hasta el punto de que las investigaciones han dejado de ser únicamente de la industria y se han extendido hacia la academia. Es por esta razón se puede encontrar un sin número de información con respecto al tema.

En la Universidad Francisco José de Caldas se adelantan múltiples estudios alrededor de los tratamientos térmicos y cómo influyen estos en las propiedades internas del material de análisis. Dentro de los resultados que hemos obtenido se incluirán imágenes de los análisis microestructurales y además se presentaran informes de las fracciones volumétricas de cada una de las muestras del material; para posteriormente realizar comparaciones entre los datos obtenidos e investigaciones tomadas como referencia llegando a determinar las respectivas conclusiones

Como aporte de investigación a esta área de la mecánica este proyecto se centrara en la experimentación y análisis del acero AISI/SAE 1045 sometido bajo los efectos del temple a temperaturas intercríticas y el revenido aplicado durante lapsos variables de tiempo.

De esta manera para que nuestro material de estudio obtenga una estructura doble fase, primero se debe llevar a un punto entre las temperaturas intercríticas que correspondan al cálculo de acuerdo a la composición que posea (datos que se obtienen realizando una espectrometría de emisión). Luego se realiza un enfriamiento rápido para que la transformación de fase se realice y se pase de austenita a martensita.

Posteriormente se someterán las probetas a un revenido a una temperatura de 400°C que a su vez va a estar enlazado al tiempo de la aplicación de este tratamiento térmico y que tendrá por finalidad el mejoramiento de la tenacidad del material, así como el alivio de tensiones internas.

El siguiente documento presenta todos los datos obtenidos en el proyecto de grado que lleva por título “INFLUENCIA DEL TEMPLE DESDE TEMPERATURAS INTERCRITICAS Y EL TIEMPO DE REVENIDO EN LA MICROESTRUCTURA DE UNA ACERO AISI/SAE 1045”.

## DESARROLLO TEMATICO

La principal necesidad en los procesos de manufactura esencialmente en la selección del material base o materia prima, siempre ha sido la de que este cumpla con las necesidades requeridas. Es por este motivo que se ha tenido la necesidad de apegarse a las modalidades de tratamiento del material o la manipulación del mismo realizando aleaciones de dos o más materiales. Siendo, en mi opinión, mucho más factible la aplicación de tratamientos térmicos que modifiquen las características del material a gusto propio.

Parte de la información aquí utilizada fue concebida por diferentes autores en anteriores investigaciones y será empleada como punto de referencia.

Muchas de las investigaciones han centrado sus esfuerzos en el análisis microestructural de los materiales de la actualidad, como por ejemplo un estudio llevado a cabo para “evaluar las diferentes combinaciones de temperatura y tiempo en los tratamientos térmicos del temple y revenido del acero AISI SAE 1045 a escala industrial”<sup>1</sup>.

En este experimento realizaron temple a tres temperaturas de austenización (820°C, 870°C, 930°C) y revenidos a 150°C, 400°C y 630°C con intervalos de tiempo de 1 y 3 horas. Se obtuvieron resultados de dureza (Rockwell C) y microestructura; llegando a la conclusión de que la temperatura para que haya una austenización completa es de 870 °C.

Otra investigación estudió el efecto que tiene un tratamiento térmico de templado entre temperaturas intercríticas sobre las propiedades mecánica de tres aceros laminados en caliente, con porcentajes de contenido de carbono desde 0.06% a 0.18% en peso. Estos aceros fueron sometidos a tratamientos con temperaturas entre los 740 – 820°C. Teniendo como objetivo principal el observar el comportamiento de la microestructura y el efecto de la presencia de concentradores de esfuerzo, en la fractura y deformación de la doble fase, (ferrita – martensita)

Los resultados obtenidos experimentalmente en el estudio demostraron que los aceros doble fase con una excelente combinación de resistencia y alargamiento uniforme o total tienen capacidades pobres de absorción de energía.

---

<sup>1</sup> David Mazuera Robledo, Andrés Ortiz Cárdenas. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TEMPLE Y REVENIDO PARA EL ACERO AISI/SAE1045 A ESCALA INDUSTRIAL - ASSESSMENT OF QUENCH AND TEMPERING CONDITIONS FOR AISI/SAE1015 STEEL AT INDUSTRIAL SCALE. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/download/1461/941>



Las conclusiones arrojadas por las pruebas de tensión manifestaron que el aumento de la temperatura en el templeado intercrítico tiene un efecto completamente opuesto en los valores del esfuerzo último a la tensión y elongación uniforme.<sup>2</sup>

*Materials and Metallurgical Engineering Department, School of Engineering, Islamic Azad University, Dezful Branch, Dezful, Iran (2009)*<sup>3</sup> realizó un estudio en el cual se calcula el cómo varía la fracción volumétrica de martensita en un acero AISI SAE 1020 al cual se le realizó un temple a temperaturas intercríticas. Allí se halla experimentalmente una función para este incremento, y se observa una comparación en cuanto al comportamiento que se supone debería tener realizando el cálculo a través de la ley de la palanca.

El *Grupo DISING*<sup>4</sup>, publicó un artículo en el cual se plasma el estudio realizado a múltiples propiedades mecánicas del acero AISI SAE 1045 sometido a un temple en agua desde temperaturas intercríticas.

Los resultados que se obtuvieron experimentalmente son comparados con los calculados bajo el modelo matemático; estos muestran una variación en la microestructura formada por ferrita y martensita en diferentes porcentajes de acuerdo a la temperatura a la que fueron sometidas dichas probetas. Llegando a la conclusión de que los valores obtenidos con el modelo matemático distan bastante con los que arrojaron los experimentales cuando el medio de enfriamiento es aceite. Por el contrario ambos resultados se aproximan cuando el medio es agua.

Gran parte del desarrollo de nuestro proyecto se encuentra fundamentado en lo anteriormente citado. Inicialmente se presentan imágenes del material base empleado en la experimentación.

---

<sup>2</sup> G. Rosenberg, I. Sinaiová, L. Juhar, EFFECT OF MICROSTRUCTURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF DUAL PHASE STEELS IN THE PRESENCE OF STRESS CONCENTRATORS

Materials Science & Engineering A

Disponible en: <http://www.journals.elsevier.com/materials-science-and-engineering-a>

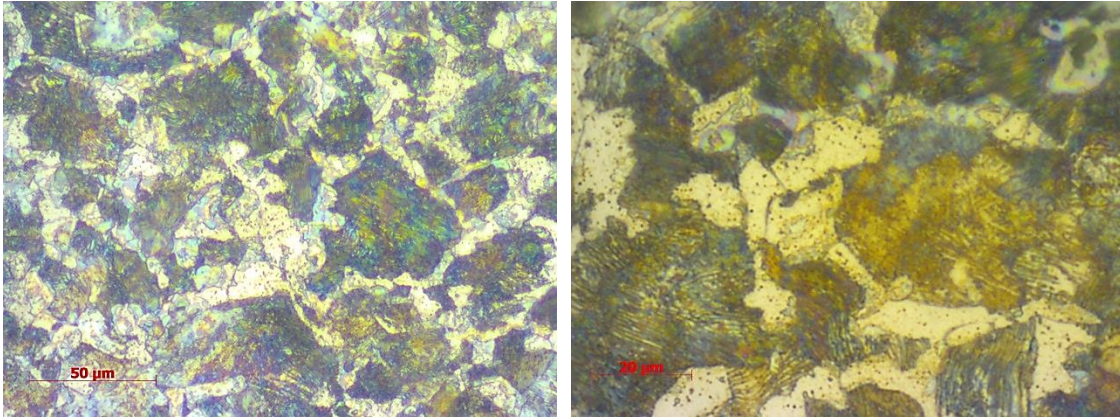
<sup>3</sup> Movaheda P., Kolahgara S., Marashia S.P.H., Pouranvari M. b, Parvina N. THE EFFECT OF INTERCRITICAL HEAT TREATMENT TEMPERATURE ON THE TENSILE PROPERTIES AND WORK HARDENING BEHAVIOR OF FERRITE-MARTENSITE DUAL PHASE STEEL SHEETS. Materials and Metallurgical Engineering Department, School of Engineering, Islamic Azad University, Dezful Branch, Dezful, Iran.

Disponible en: [www.elsevier.com/locate/msea](http://www.elsevier.com/locate/msea)

<sup>4</sup> Carlos A. Bohórquez, INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO SAE 1045

Mecánica Computacional Vol XXXI, págs. 3577-3587 (artículo completo)

Disponible en: <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4283/4209>



**Imagen 1.** Micrografía de probeta material base sin tratamientos, de izquierda a derecha 500X y 1000X respectivamente.

Una vez elaboradas nuestras probetas de estudio se procedió a realizarles un temple utilizando una mufla eléctrica, la cual se elevó a una temperatura de 750 °C, debido a que esta se encuentra dentro del rango de las temperaturas intercríticas. A continuación se muestran los cálculos para determinar dichos valores:

Elementos	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Al	%Nb	%Cu	%Ni	%Cr	%V	%Mo	%Ti
Material	0.464	0.756	<0.001	0.002	0.18	<0.001	<0.002	0.038	0.017	0.038	0.001	0.011	0
% Norma AISI/SAE	0.43 - 0.5	0.6-0.9	0.04 max	0.05 max	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 1.** Composición química del acero AISI/SAE 1045 (Espectrometría de emisión Universidad Nacional 11 de Marzo de 2014)

Para realizar los cálculos de las temperaturas intercríticas se emplearan las siguientes ecuaciones tomadas del libro STEEL FORMING AND HEAT TREATING HANDBOOK:

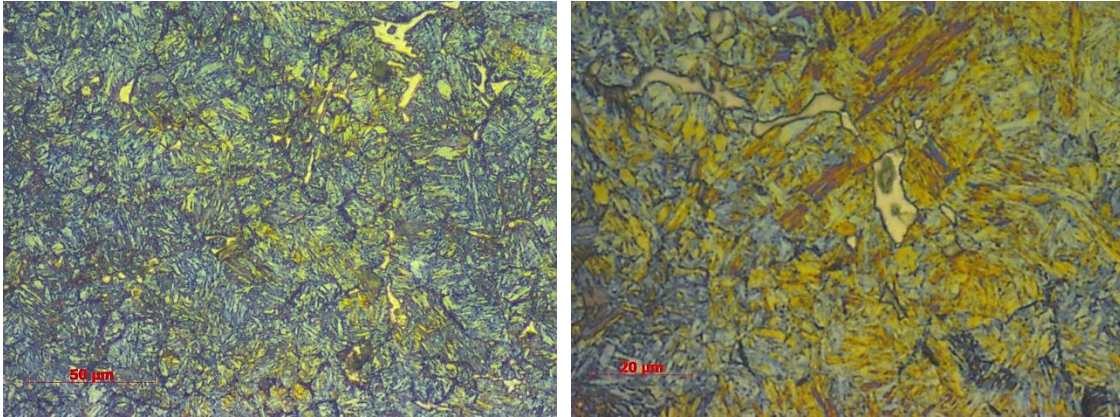
$$A_1^{\circ C} = 723 - 7.08 Mn + 37.7 Si + 18.1 Cr + 44.2 Mo + 8.95 Ni + 50.1 V + 21.7 Al + 3.18 W + 297 S - 830 N - 11.5 C * Si - 14.0 Mn * Si - 3.10 Si * Cr - 57.9 C * Mo - 15.5 Mn * Mo - 5.28 C * Ni - 6.0 Mn * Ni + 6.77 Si * Ni - 0.80 Cr * Ni - 27.4 C * V + 30.8 Mo * V - 0.84 Cr^2 - 3.46 Mo^2 - 0.46 Ni^2 - 28 V^2 \quad (1)$$

$$A_1 = 721.282^{\circ C}$$

$$A_3^{\circ C} = 910 - 203\sqrt{C} + 44.7Si - 15.2Ni + 13.5Mo + 104V + 13.1W - 30Mn + 11Cr + 20Cu - 700P - 400Al - 120As - 400Ti \quad (2)$$

$$A_3 = 757.424^{\circ C}$$

Este temple se realizó con un enfriamiento rápido causado por la sumersión de las probetas en agua.



**Imagen 2.** Micrografía de probeta sometida a temple 750°C, de izquierda a derecha 500X y 1000X respectivamente.

En ellas se observan partes claras que corresponden a una fase ferrítica la cual no llegó a la austenización completa, debido a que la temperatura en este caso no alcanza a ser lo bastante alta para que dicha transformación se realice a cabalidad.

En el 2007 se llevó a cabo un estudio en el cual se analizaron los factores que generaron la falla en un eje de un reductor de velocidad. Dicho eje estaba construido en un acero AISI 1045 templado a una temperatura de 900°C y revenido a una temperatura de 480°C.

Realizaron pruebas de dureza tanto en la parte exterior como en la interior de la sección transversal del eje, obteniendo resultados que advierten una dureza alta, pero siendo este valor menor en la parte interior notando así que el temple superficial tuvo bastantes repercusiones en el material. También se realizó un análisis químico y un ensayo de tensión para que arrojasen más datos que permitieran llegar a una conclusión acertada.

Por último el estudio concluyó que la falla en el eje pudo haber sido causada porque al realizar el tratamiento térmico al material, este se fragilizó en su interior aumentando así la tendencia al agrietamiento.<sup>5</sup>

El *Departamento de Materiales y Metalurgia de la Universidad de Ciencia y Tecnología, Tehran – Irán*, presenta un artículo en el cual se expone la investigación realizada alrededor de los aceros doble fase y el efecto que tiene el realizar temple y revenidos a diferentes temperaturas.

---

<sup>5</sup> Jaramillo H. E., Suárez M. ANÁLISIS DE FALLA DEL EJE DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD, 8° CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007  
Disponble en: <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/05/05-04.pdf>

En el estudio se realizaron revenidos a diferentes temperaturas pero todos con 1 hora de duración. Los revenidos que se realizaron a temperaturas inferiores a 200°C no mostraron un cambio significativo en la microestructura ni en las propiedades mecánicas de los aceros de doble fase caso contrario ocurre cuando se realizaron revenidos con temperaturas superiores a los 500°C ya que afectan el acero más de lo necesario y van en detrimento las propiedades mecánicas. Previamente realizaron templados intercríticas (760°C) al material para de esta forma obtener una microestructura de doble fase.

Este estudio concluyo que el comportamiento del acero doble fase es continuo hasta alcanzar la temperatura de revenido de 300°C. Al realizar el revenido a 200°C el límite de fluencia aumento insignificamente. El esfuerzo ultimo a la tensión no cambia durante este revenido y un aumento de la temperatura lo que provocara es que dicho esfuerzo disminuya. <sup>6</sup>

Otro estudio calcula la tensión residual de un cilindro de acero luego de que sufra una transformación de fase debido a un templado.

Para este caso trabajaron con un cilindro de acero 1045 y se empleó el método de los elementos finitos para calcular el coeficiente de transferencia de calor superficial coincidiendo el resultado obtenido con los calculados experimentalmente.

El cálculo numérico y el método de medición del campo de temperatura son simples y pueden determinar efectivamente la variación de los coeficientes de transferencia de calor de la superficie con la temperatura, y es fácil para ser utilizado en aplicaciones en ingeniería.<sup>7</sup>

El siguiente paso de la investigación es el de aplicar un revenido a las probetas anteriormente templadas de las cuales se obtuvieron las siguientes micrografías:

---

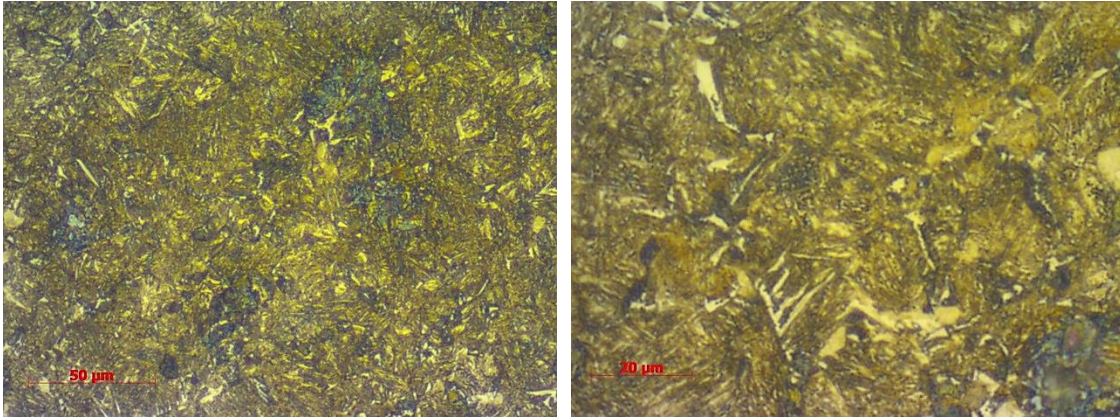
<sup>6</sup> A. Anazadeh Sayed\*, Sh. Kheirandish; AFFECT OF THE TEMPERING TEMPERATURE ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF DUAL PHASE STEELS  
Materials Science and Engineering A

Disponible en: <http://www.journals.elsevier.com/materials-science-and-engineering-a>

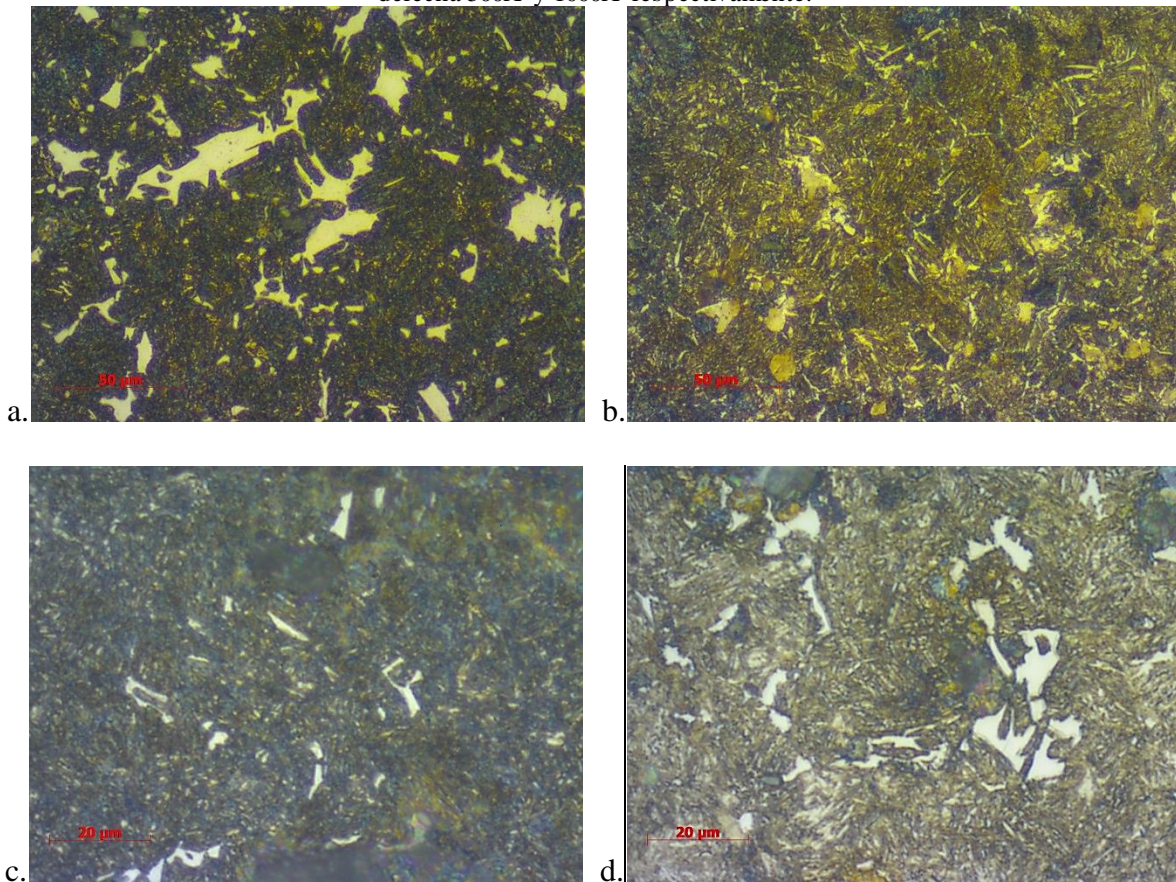
<sup>7</sup> Cheng Heming, Huang Xieqing, Wang Honggang, CALCULATION OF THE RESIDUAL STRESS OF A 45 STEEL CYLINDER WITH A NON-LINEAR SURFACE HEAT-TRANSFER COEFFICIENT INCLUDING PHASE TRANSFORMATION DURING QUENCHING.

Journal of Materials Processing Technology.





**Imagen 3.** Micrografía de probeta sometida a temple 750°C y revenido 400°C por 15 minutos, de izquierda a derecha 500X y 1000X respectivamente.



**Imagen 4.** Micrografía de probeta sometida a temple 750°C y revenido 400°C por 30 minutos, de arriba hacia abajo 500X y 1000X respectivamente.

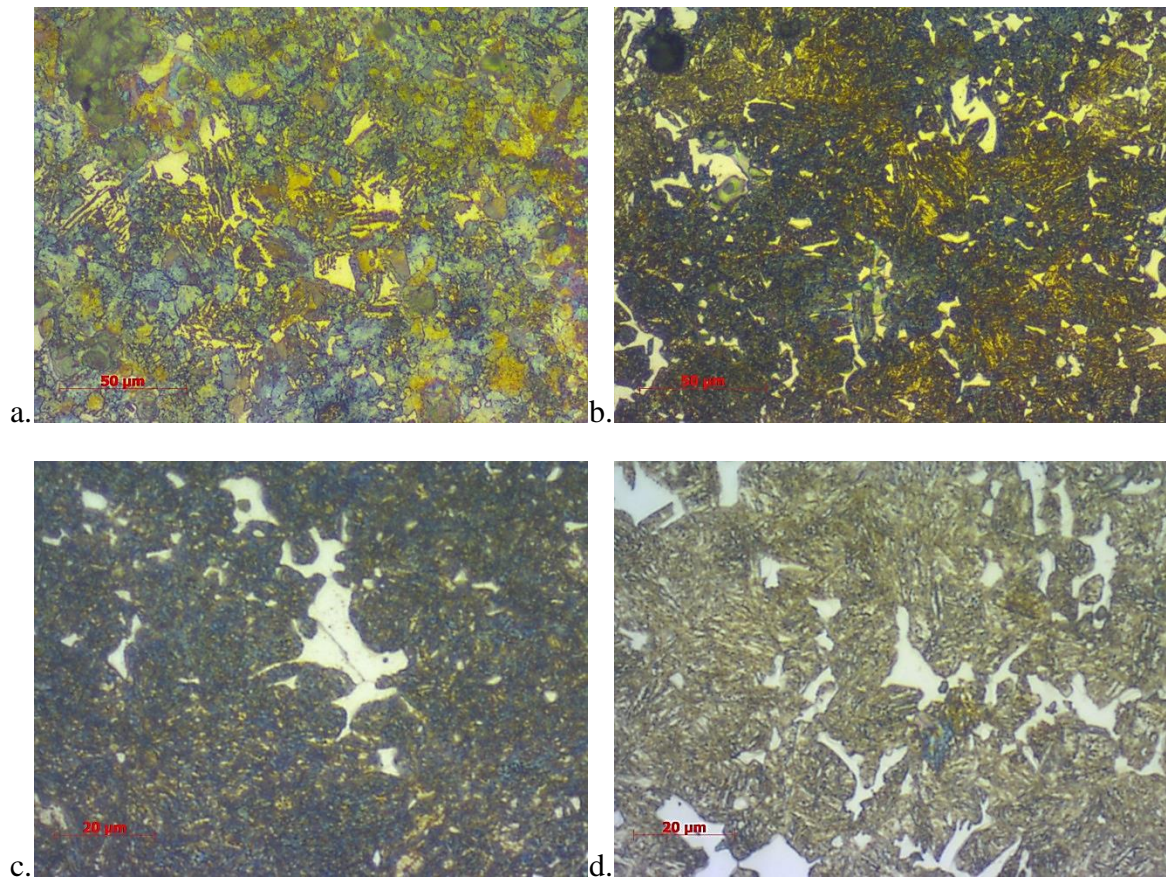
En las anteriores imágenes podemos observar una fase martensítica caracterizada por presentar granos en forma de agujas, además es claro que el material aun contiene regiones donde se localiza ferrita que como se mencionó anteriormente no alcanzo la austenización.

Se emplearon 3 probetas para cada una de los tiempos de revenido para que así los resultados que se obtuvieran tuviesen una mayor exactitud al momento de promediar.



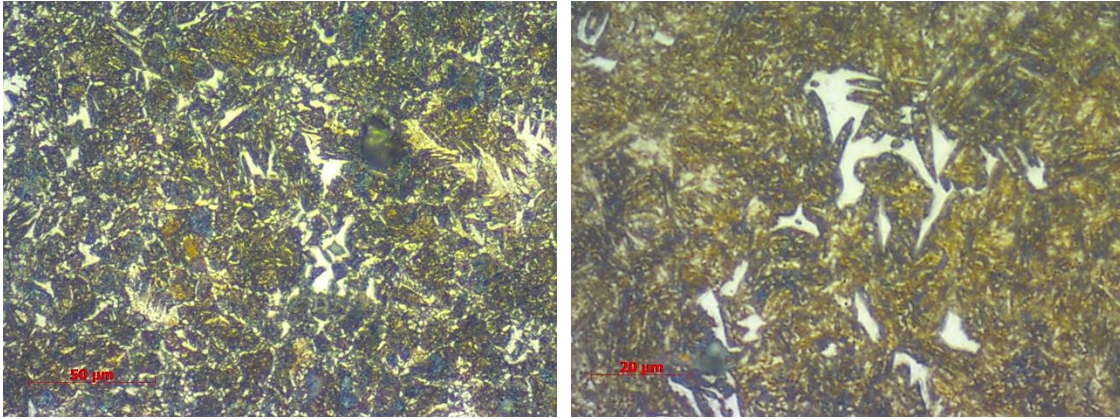
Nuestro revenido se efectuó a una temperatura de 400°C con cuatro lapsos de tiempo que fueron: 15 - 30 - 45 y 60 minutos, empleando nuevamente como medio de enfriamiento agua e introduciendo a la mufla un número no mayor a tres probetas para que así se lograsen tratamientos homogéneos para todo el material.

Al momento de la aplicación del nital empleado para el ataque de las probetas el tiempo que éstas duraron expuestas a este reactivo no fue el correcto debido al pequeño lapso de tiempo al que deben ser sometidas, por tal motivo algunas de las imágenes de microestructura presentadas en esta monografía tendrán una coloración azul.

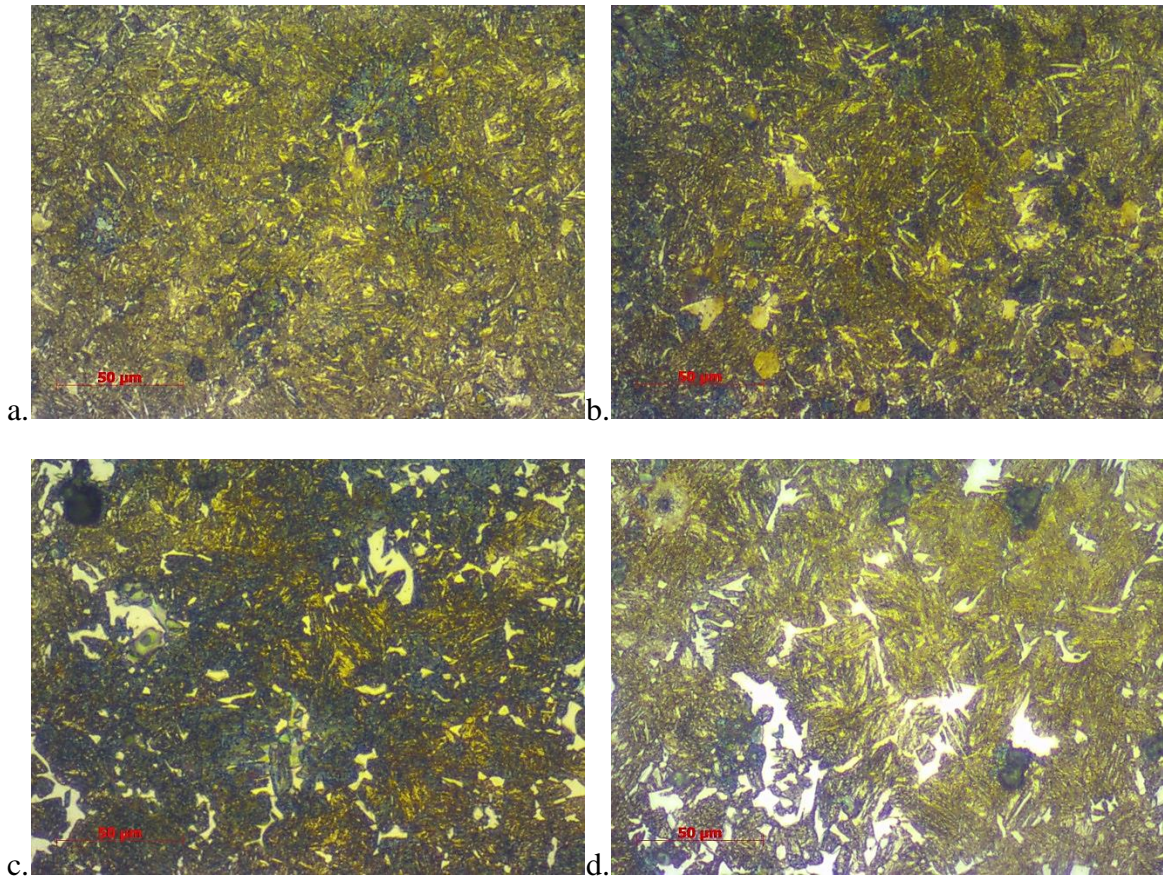


**Imagen 5.** Micrografía de probetas sometida a temple 750°C y revenido 400°C por 45 minutos, de arriba hacia abajo 500X y 1000X respectivamente.





**Imagen 6.** Micrografía de probetas sometida a temple 750°C y revenido 400°C por 60 minutos, de izquierda a derecha 500X y 1000X respectivamente.



**Imagen 7.** Micrografías a 500X. (a). Revenido 15 minutos, (b). Revenido 30 minutos, (c). Revenido 45 minutos, (d). Revenido 60 minutos.

En la **Imagen 7** podemos observar el cambio que sufren la microestructura de las probetas al aplicar el revenido en los cuatro lapsos de tiempo predefinidos. Notamos que la separación

entre los granos aumenta de manera proporcional al tiempo de revenido puesto que según la literatura consultada uno de los efectos generados por este tratamiento es la disminución de las tensiones internas del material producidas a consecuencia del temple.

Otros resultados que hemos obtenido son los valores de dureza superficial, los cuales fueron medidos alrededor de las probetas, se realizaron 5 indentaciones por cada probeta empleando un durómetro *Swiss Rock*. Se realizaron múltiples mediciones para que hubiese un muestreo mayor y así poder determinar si el tratamiento térmico afecta de manera uniforme o no al material de estudio.

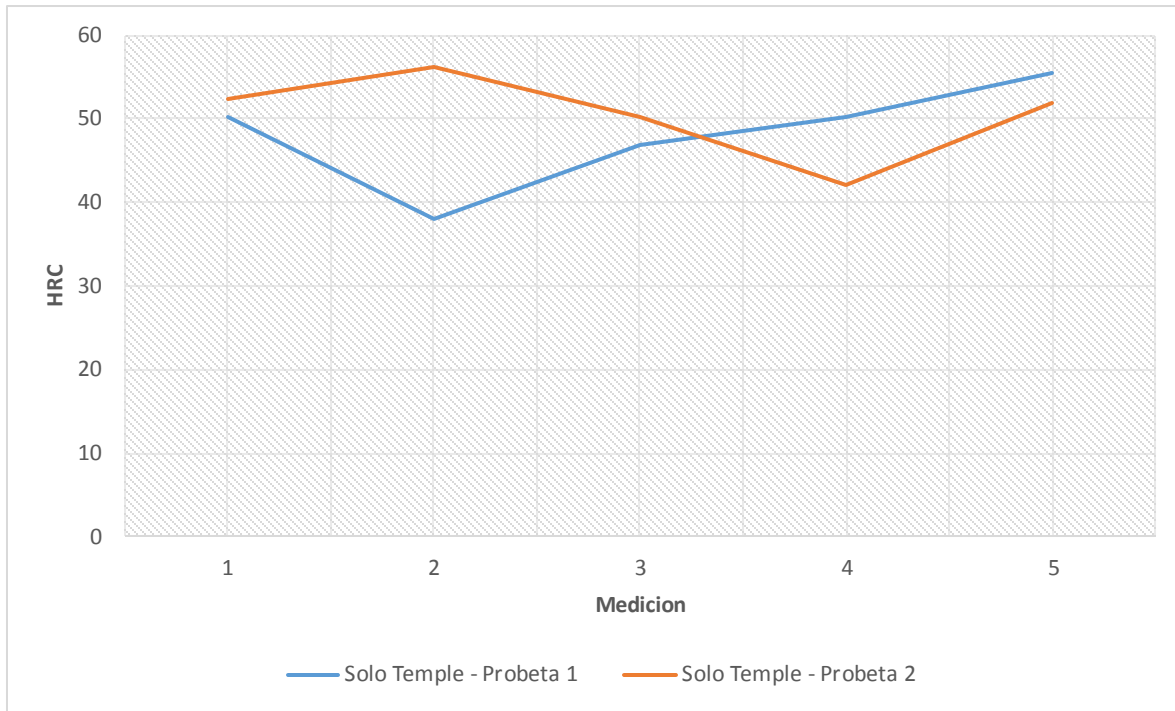
Probeta	1	2	3	4	5	Promedio	
Sin Temple - Sin Revenido	95,3	92,3	99,4	98,6	94,2	95,96	95,96

**Tabla 2.** Resultados de dureza de la probeta de material base tomados en escala HRB (Rockwell B).

Probeta	1	2	3	4	5	Promedio	
Solo Temple - Probeta 1	50,3	38,1	46,9	50,2	55,5	48,2	49,40
Solo Temple - Probeta 2	52,4	56,2	50,3	42,2	51,9	50,6	

**Tabla 3.** Resultados de dureza de las probetas de material templado tomados en escala HRC (Rockwell C).

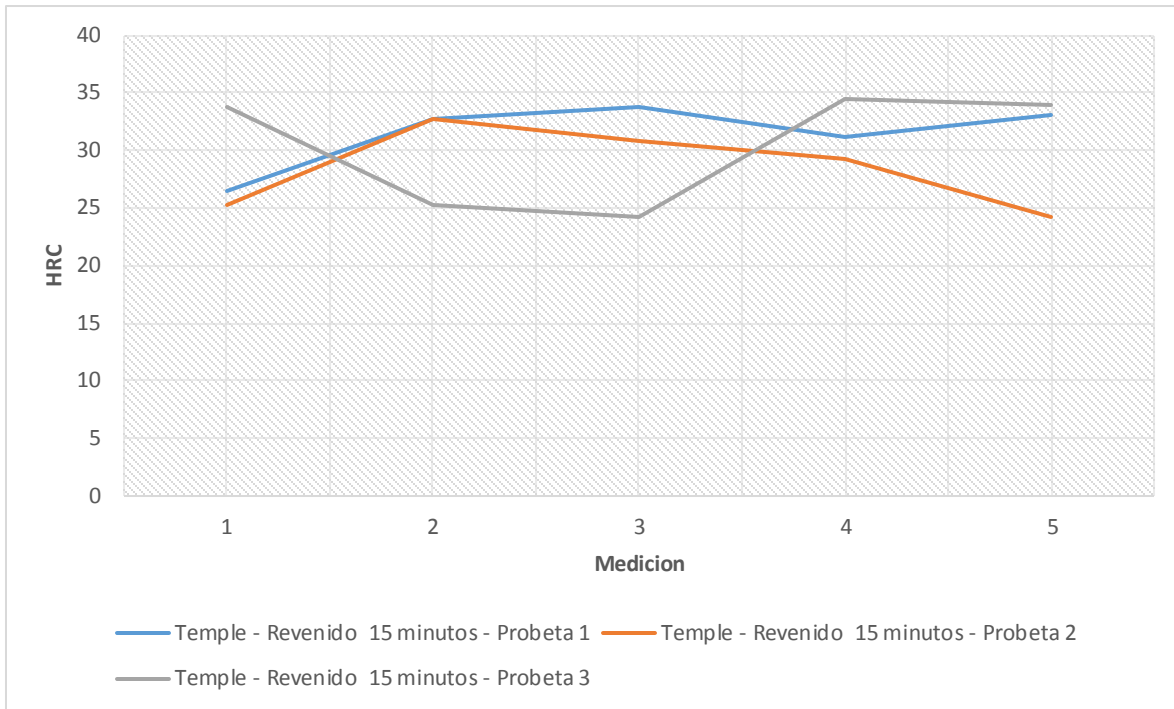




**Grafica 1.** Grafica de los valores de la **Tabla 3.**

Probeta	1	2	3	4	5	Promedio
Temple - Revenido 15 minutos - Probeta 1	26,4	32,7	33,8	31,2	33	31,42
Temple - Revenido 15 minutos - Probeta 2	25,2	32,7	30,9	29,2	24,2	28,44
Temple - Revenido 15 minutos - Probeta 3	33,7	25,2	24,2	34,4	34	30,3
						30,05

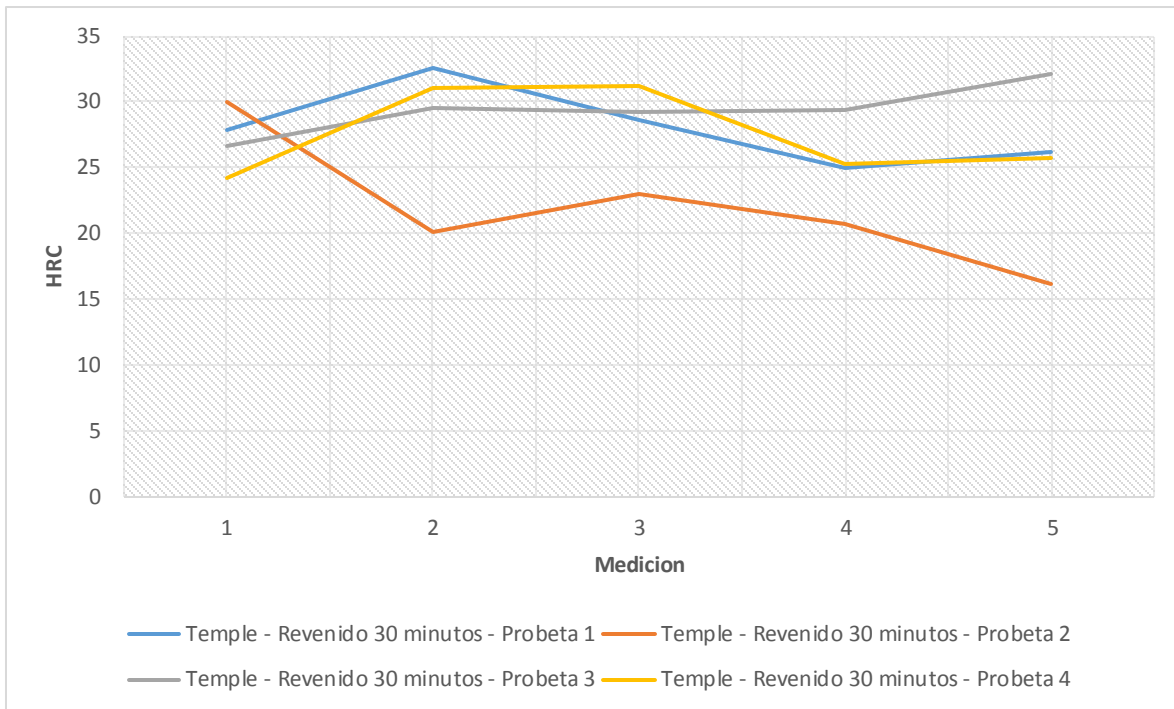
**Tabla 4.** Resultados de dureza de las probetas de material Templado y Revenido por 15 minutos tomados en escala HRC (Rockwell C).



**Grafica 2.** Grafica de los valores de la **Tabla 4.**

Probeta	1	2	3	4	5	Promedio
Temple - Revenido 30 minutos - Probeta 1	27,9	32,6	28,6	25	26,2	28,06
Temple - Revenido 30 minutos - Probeta 2	30	20,1	23	20,8	16,2	22,02
Temple - Revenido 30 minutos - Probeta 3	26,7	29,6	29,3	29,4	32,1	29,42
Temple - Revenido 30 minutos - Probeta 4	24,2	31,1	31,2	25,3	25,8	27,52
						26,76

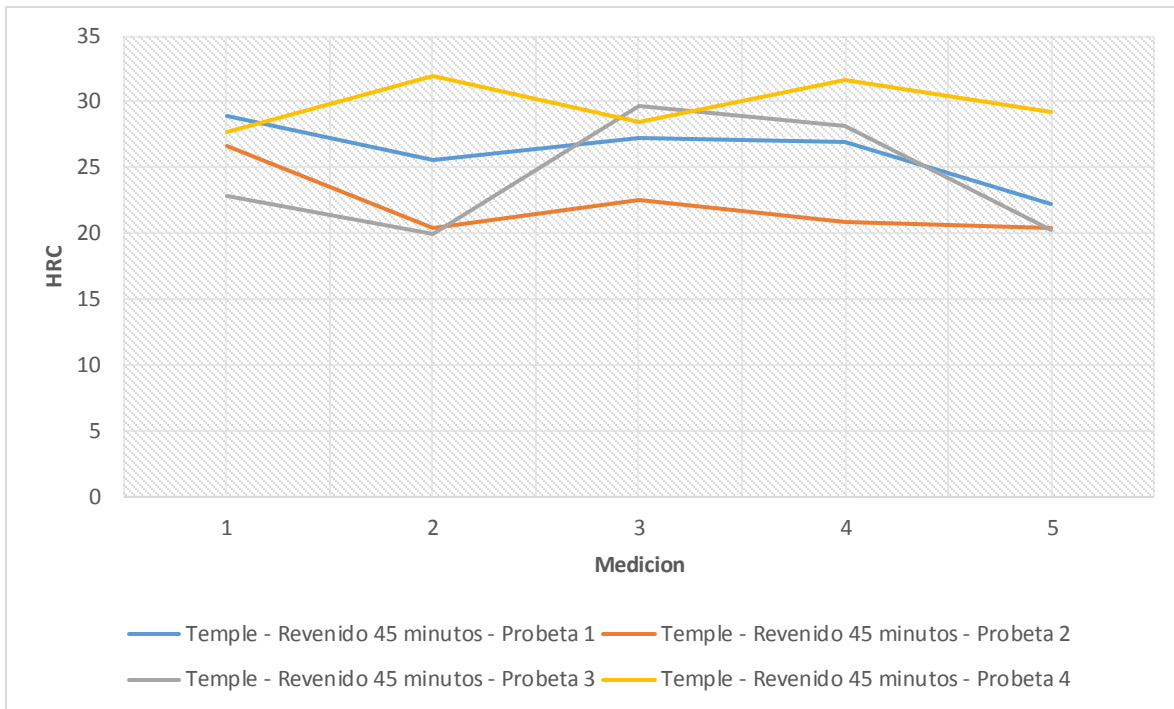
**Tabla 5.** Resultados de dureza de las probetas de material Templado y Revenido por 30 minutos tomados en escala HRC (Rockwell C).



**Grafica 3.** Grafica de los valores de la **Tabla 5**.

Probeta	1	2	3	4	5	Promedio
Temple - Revenido 45 minutos - Probeta 1	28,9	25,6	27,2	27	22,3	25,59
Temple - Revenido 45 minutos - Probeta 2	26,7	20,4	22,5	20,9	20,4	
Temple - Revenido 45 minutos - Probeta 3	22,8	20	29,7	28,1	20,2	
Temple - Revenido 45 minutos - Probeta 4	27,7	31,9	28,5	31,7	29,3	

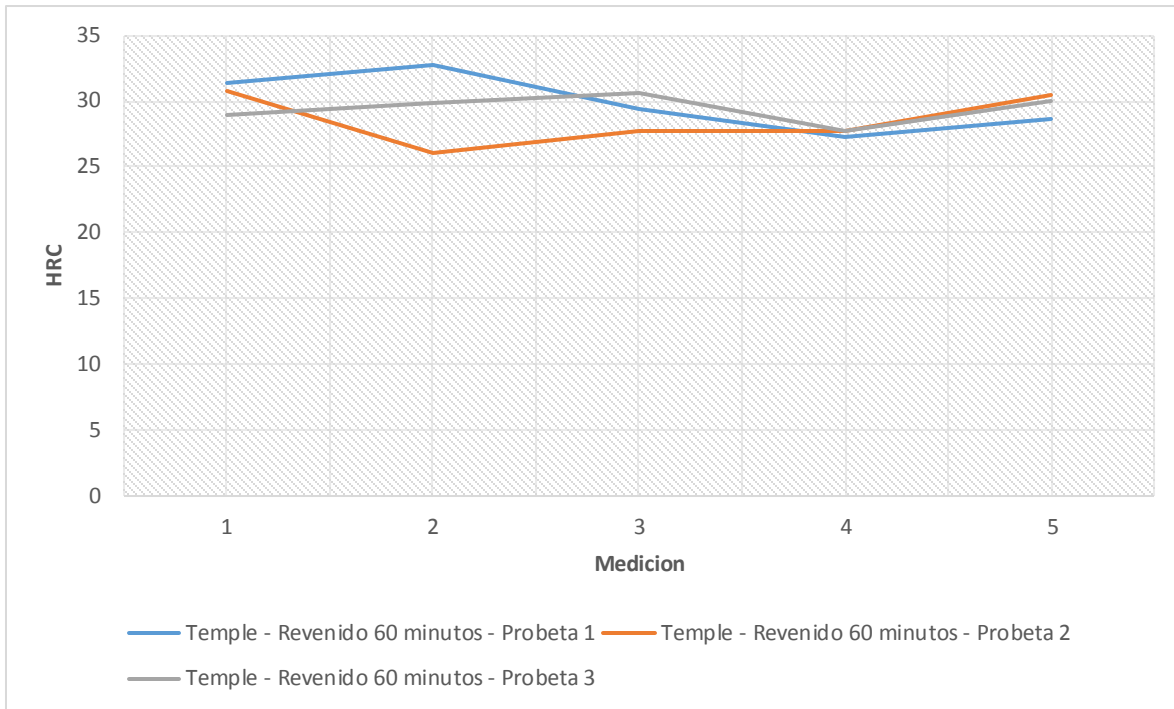
**Tabla 6.** Resultados de dureza de las probetas de material Templado y Revenido por 45 minutos tomados en escala HRC (Rockwell C).



**Grafica 4.** Grafica de los valores de la **Tabla 6.**

Probeta	1	2	3	4	5	Promedio
Temple - Revenido 60 minutos - Probeta 1	31,4	32,7	29,4	27,3	28,6	29,88
Temple - Revenido 60 minutos - Probeta 2	30,8	26,1	27,7	27,8	30,4	28,56
Temple - Revenido 60 minutos - Probeta 3	28,9	29,9	30,6	27,8	30	29,44
						29,29

**Tabla 7.** Resultados de dureza de las probetas de material Templado y Revenido por 60 minutos tomados en escala HRC (Rockwell C).



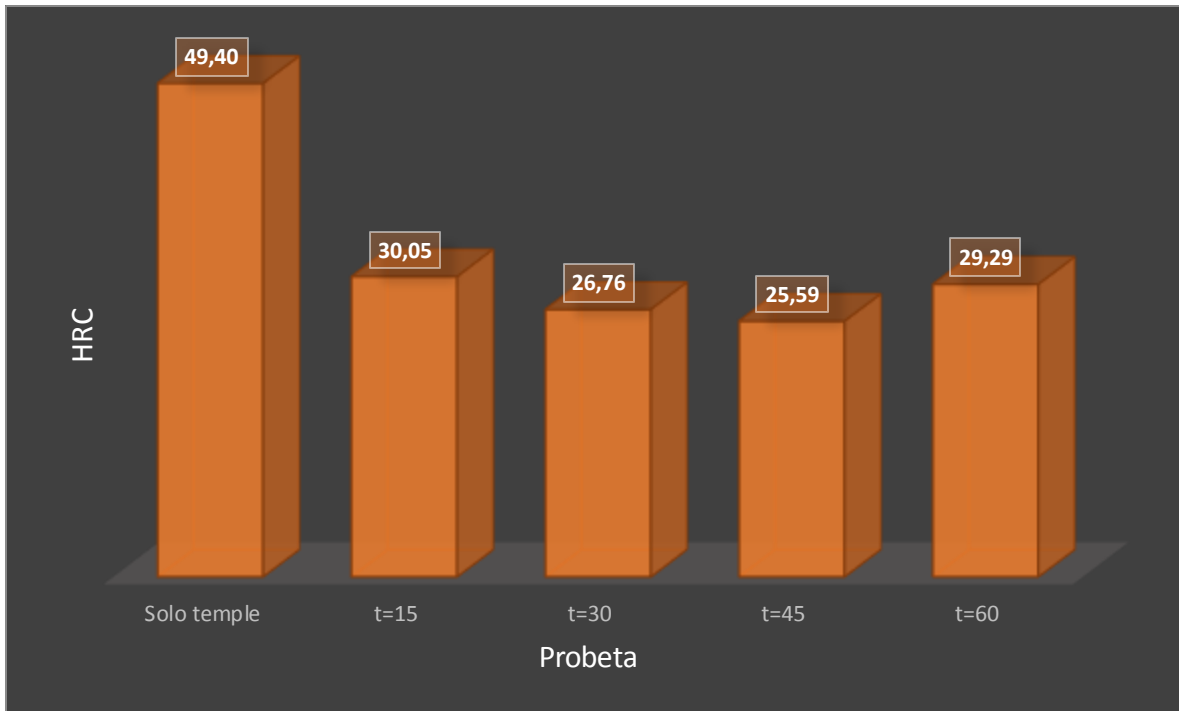
**Grafica 5.** Grafica de los valores de la **Tabla 7**.

En las anteriores imágenes podemos evidenciar que en el muestreo que se realizó en los diferentes intervalos de temperatura presentaban un comportamiento similar, esto aportando al hecho de que sea más exacta la dureza promedio tomada para cada situación.

También podemos observar en la siguiente tabla y grafica como la dureza del material se ve disminuida hasta un tiempo de revenido de 45 minutos, y luego se evidencia cómo, cuando se tiene un tiempo de revenido de 60 minutos la dureza del material vuelve a aumentar paulatinamente.

	Probeta	Dureza HRC
Revenido	Solo temple	49,40
	t=15	30,05
	t=30	26,76
	t=45	25,59
	t=60	29,29

**Tabla 8.** Comparación total de los promedios de dureza y tiempos de revenido.



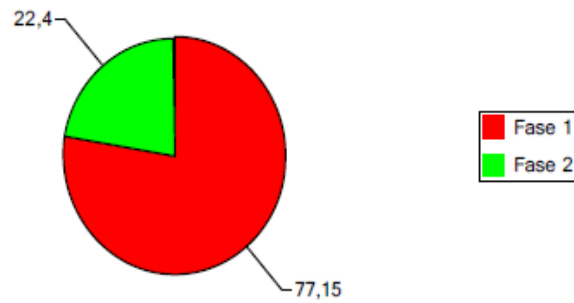
**Grafica 6.** Comparación total de los promedios de dureza y tiempo de revenido en la experimentación, datos de la **Tabla 8**.

A continuación procederemos a mostrar la información del estudio de fracciones parciales y los respectivos análisis planteados alrededor de ella.

Fases	< 10,00	10,00 - 11,25	11,25 - 12,50	12,50 - 13,75	13,75 - 15,00	15,00 - 16,25	16,25 - 17,50	17,50 - 18,75	18,75 - 20,00	>= 20,00	Conteo de objetos	Porcentaje de Área [%]
Fase 1	99,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1049	77,15
Fase 2	98,98	0,13	0,13	0,14	0,06	0,13	0,06	0,06	0,02	0,29	6293	22,40

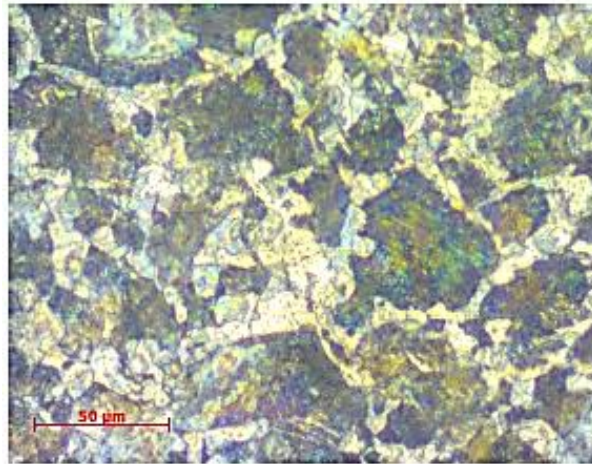
**Tabla 9.** Resultados del estudio de fracciones volumétricas para la probeta de material base

## Area Percentage

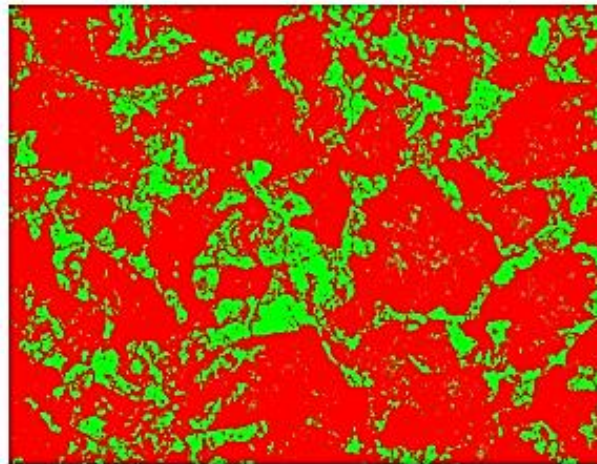


**Imagen 8.** Gráfica de porcentajes de fracción volumétrica Acero AISI/SAE 1045 sin temple y sin revenido.

## Original image



## Image with Annotations

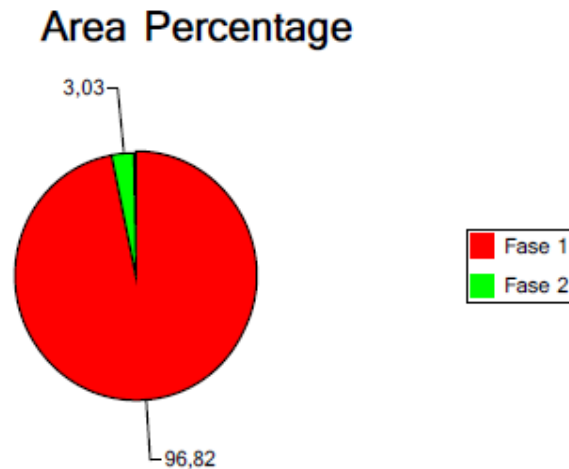


**Imagen 9.** Micrografías Acero AISI/SAE 1045 sin temple y sin revenido tomadas para el análisis de fracciones volumétricas.

En las anteriores imágenes podemos encontrar los pigmentos empleados para caracterizar las fases presentes dentro del material; el verde es el color usado para la fase ferrítica y el rojo corresponde a la fase de perlita laminar.

Fases	< 10,00	10,00 - 11,25	11,25 - 12,50	12,50 - 13,75	13,75 - 15,00	15,00 - 16,25	16,25 - 17,50	17,50 - 18,75	18,75 - 20,00	$\geq$ 20,00	Conteo de objetos	Porcentaje de Área [%]
Fase 1	99,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	1057	96,82
Fase 2	99,91	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3484	3,03

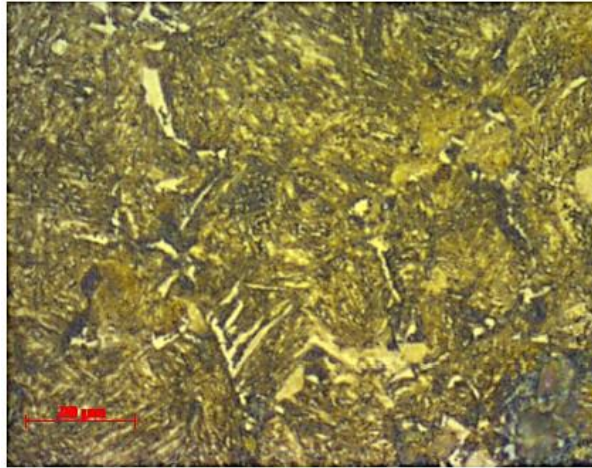
**Tabla 10.** Resultados del estudio de fracciones volumétricas para la probeta templada y revenido durante 15 minutos



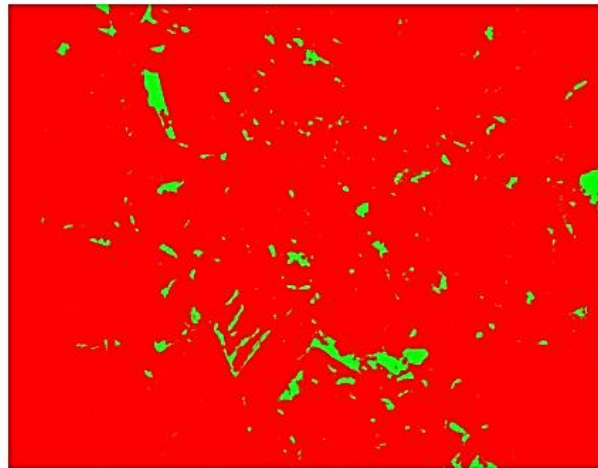
**Imagen 10.** Gráfica de porcentajes de fracción volumétrica Acero AISI/SAE 1045 templado y revenido por 15 minutos.



## Original image



## Image with Annotations

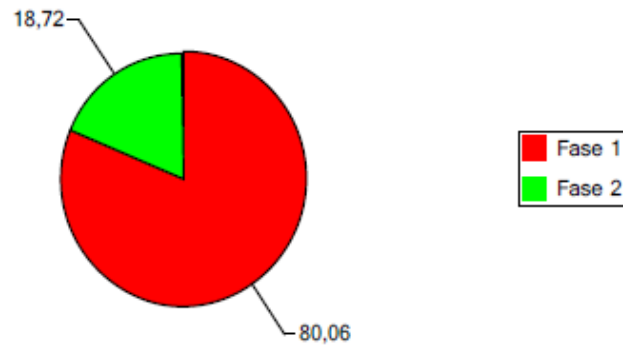


**Imagen 11.** Micrografías Acero AISI/SAE 1045 templada y revenida por 15 minutos, tomadas para el análisis de fracciones volumétricas.

Fases	< 10,00	10,00 - 11,25	11,25 - 12,50	12,50 - 13,75	13,75 - 15,00	15,00 - 16,25	16,25 - 17,50	17,50 - 18,75	18,75 - 20,00	>= 20,00	Conteo de objetos	Porcentaje de Área [%]
Fase 1	99,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	934	80,06
Fase 2	99,33	0,17	0,12	0,04	0,10	0,08	0,01	0,09	0,00	0,06	7783	18,72

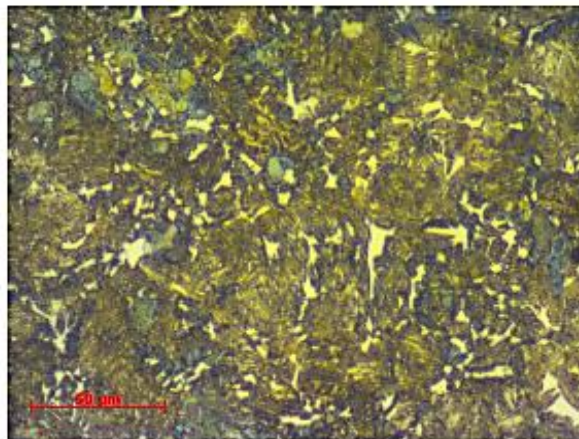
**Tabla 11.** Resultados del estudio de fracciones volumétricas para la probeta templada y revenido durante 30 minutos

## Area Percentage

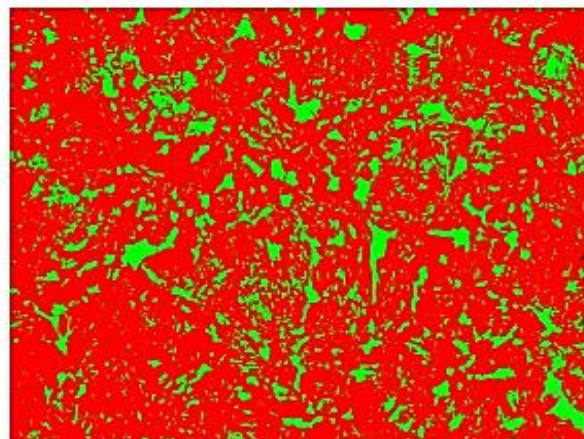


**Imagen 12.** Gráfica de porcentajes de fracción volumétrica Acero AISI/SAE 1045 templado y revenido por 30 minutos.

## Original image



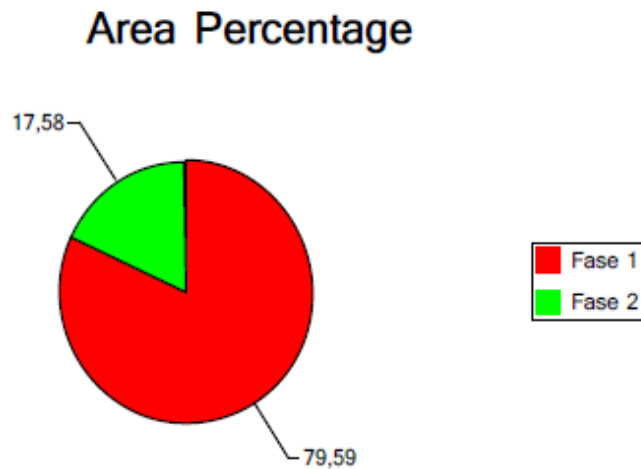
## Image with Annotations



**Imagen 13.** Micrografías Acero AISI/SAE 1045 templada y revenida por 30 minutos, tomadas para el análisis de fracciones volumétricas.

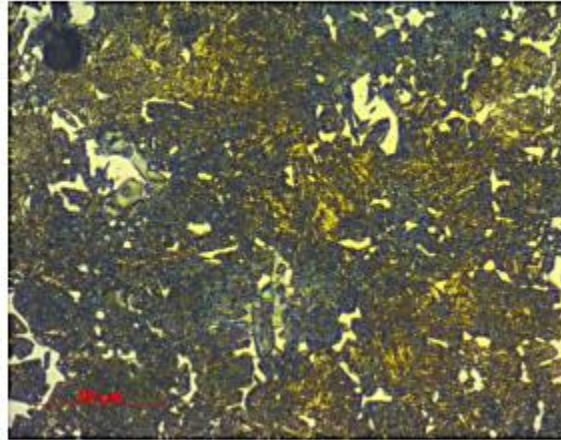
Fases	< 10,00	10,00	11,25	12,50	13,75	15,00	16,25	17,50	18,75	>= 20,00	Conteo de objetos	Porcentaje de Area [%]
		-	-	-	-	-	-	-	-			
		11,25	12,50	13,75	15,00	16,25	17,50	18,75	20,00			
Fase 1	99,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,11	1761	79,59
Fase 2	99,06	0,13	0,19	0,10	0,00	0,04	0,04	0,06	0,13	0,25	4775	17,58

**Tabla 12.** Resultados del estudio de fracciones volumétricas para la probeta templada y revenido durante 45 minutos

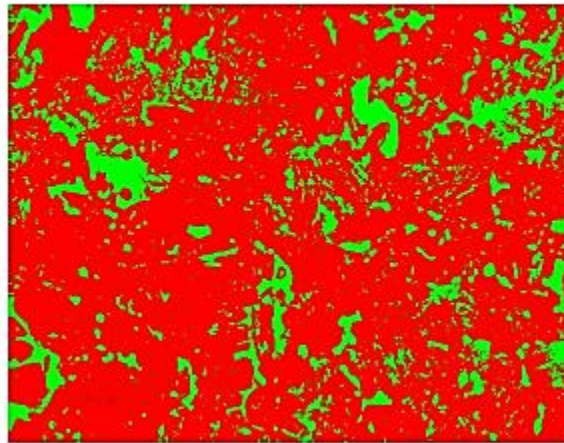


**Imagen 14.** Gráfica de porcentajes de fracción volumétrica Acero AISI/SAE 1045 templado y revenido por 45 minutos.

## Original image



## Image with Annotations



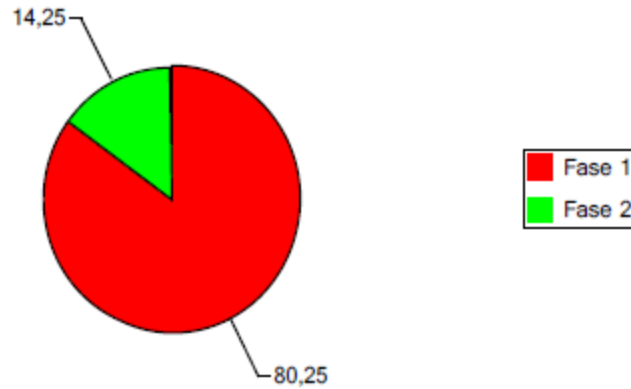
**Imagen 15.** Micrografías Acero AISI/SAE 1045 templada y revenida por 45 minutos, tomadas para el análisis de fracciones volumétricas.

Fases	< 10,00	10,00	11,25	12,50	13,75	15,00	16,25	17,50	18,75	≥ 20,00	Conteo de objetos	Porcentaje de Área [%]
		- 11,25	- 12,50	- 13,75	- 15,00	- 16,25	- 17,50	- 18,75	- 20,00			
Fase 1	95,81	0,56	0,65	0,65	0,19	0,09	0,00	0,28	0,28	1,49	1074	80,25
Fase 2	89,19	1,27	1,13	0,93	0,53	0,53	0,53	0,31	0,38	5,20	7015	14,25

**Tabla 13.** Resultados del estudio de fracciones volumétricas para la probeta templada y revenido durante 60 minutos

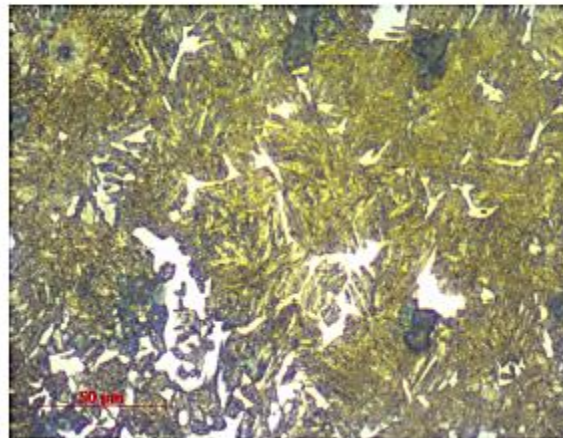


## Area Percentage

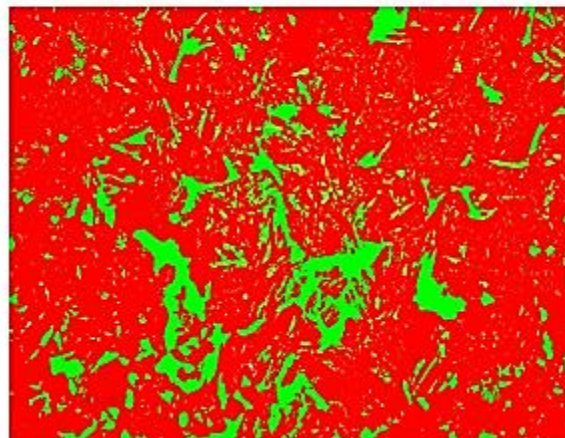


**Imagen 16.** Gráfica de porcentajes de fracción volumétrica Acero AISI/SAE 1045 templado y revenido por 60 minutos.

## Original image



## Image with Annotations



**Imagen 17.** Micrografías Acero AISI/SAE 1045 templada y revenida por 45 minutos, tomadas para el análisis de fracciones volumétricas.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en toda la investigación se pudo determinar que hubo una disminución progresiva de dureza durante los tiempos de revenido de 15, 30 y 45 minutos de manera inversamente proporcional.

En el intervalo de tiempos de 45 a 60 minutos las medidas tomadas evidencian un aumento notorio en la dureza del material, esto debido a que el tiempo de aplicación no es el ideal para las dimensiones de la pieza.

La teoría fue comprobada con el hecho de que al momento de aplicar el temple los granos de la fase martensítica tenderán a separarse debido a que se alivian las tensiones presentes en ella.

La fracción volumétrica de martensita en las probetas sometidas al revenido

Teniendo en cuenta los resultados de las durezas con respecto a estos tiempos de aplicación, la apreciación que podemos dar es que para la temperatura de revenido de 400 °C, el tiempo adecuado de aplicación es hasta los 45 minutos puesto que al excederlo dicho lapso, se pierde el objetivo del revenido y sus beneficios.

## BIBLIOGRAFIA

- TEMPLE Y REVENIDO DEL ACERO,  
<http://www.utp.edu.co/~publio17/laboratorio/temple.htm>
- INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA DEL DESGASTE DE LOS ACEROS Disponible en:  
<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/8725/1/521.pdf>
- INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO SAE 1045 Disponible en:  
<http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4283/4209>
- EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TEMPLE Y REVENIDO PARA EL ACERO AISI/SAE1045 A ESCALA INDUSTRIAL Disponible en:  
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/download/1461/941>
- ANÁLISIS DE FALLA DEL EJE DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD, 8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA Disponible en: <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/05/05-04.pdf>
- A NEW VIEW ON TRANSFORMATION INDUCED PLASTICITY (TRIP) Disponible en: <http://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-plasticity>
- AFFECT OF THE TEMPERING TEMPERATURE ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF DUAL PHASE STEELS Disponible en: <http://www.journals.elsevier.com/materials-science-and-engineering-a>
- CALCULATION OF THE RESIDUAL STRESS OF A 45 STEEL CYLINDER WITH A NON-LINEAR SURFACE HEAT-TRANSFER COEFFICIENT INCLUDING PHASE TRANSFORMATION DURING QUENCHING
- EFFECT OF MICROSTRUCTURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF DUAL PHASE STEELS IN THE PRESENCE OF STRESS CONCENTRATORS Disponible en:  
<http://www.journals.elsevier.com/materials-science-and-engineering-a>
- THE EFFECT OF INTERCRITICAL HEAT TREATMENT TEMPERATURE ON THE TENSILE PROPERTIES AND WORK HARDENING BEHAVIOR

OF FERRITE–MARTENSITE DUAL PHASE STEEL SHEETS. Disponible en: [www.elsevier.com/locate/msea](http://www.elsevier.com/locate/msea)

- ACEROS DE CONSTRUCCION DE PROPIEDADES ESPECIALES. Disponible en: <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/15/15-02.pdf>

## **ANEXOS**

Archivos de estudio e fracciones volumétricas para 5 probetas