

**ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE CARBONO EN LA  
MARTENSITA DEL ACERO 1045 SOMETIDA A TRATAMIENTO TERMICO  
INTERCRITICO**

**CAMILO ANDRÉS BOHÓRQUEZ ROBAYO  
20141375072**

**ALEXANDER PINZÓN BELTRÁN  
20151375032**

**Trabajo para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**PRESENTADO A:**

**PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

**FACULTAD TECNOLÓGICA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**BOGOTÁ D.C**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

**Nº DE RADICACIÓN: \_\_\_\_\_**

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

**Ejecutor 1**

Nombre (s):	Alexander
Apellido (s):	Pinzon Beltrán
Código:	20151375032
E-mail:	axcel24xr@hotmail.com
Teléfono fijo:	
Celular:	310 745 66 09



**Ejecutor 2**

Nombre (s):	Camilo Andrés
Apellido (s):	Bohórquez Robayo
Código:	20141375072
E-mail:	Mecamilo89@gmail.com
Teléfono fijo:	279 74 06
Celular:	310 880 74 31



**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE CARBONO EN LA MARTENSITA DEL ACERO 1045 SOMETIDA A TRATAMIENTO TERMICO INTERCRITICO	
Duración (estimada):	16 semanas	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	x
	Prestación y Servicios Tecnológicos	
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	Investigación	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológica	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Ciencia de los materiales	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Metalografía, Tratamientos térmicos, mecánica de materiales	

**INFORMACIÓN PASANTÍA**

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	Carlos Arturo Bohórquez Ávila
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

## TABLA DE CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.1	ESTADO DEL ARTE .....	4
1.1.1	Método Grossmann o del Diámetro Crítico ideal. ....	5
1.1.2	Método Jominy .....	6
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	12
2	OBJETIVO .....	13
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	13
3	MARCO TEÓRICO.....	13
3.1	TRATAMIENTOS TERMICOS.....	14
3.2	DIAGRAMA TTT.....	15
3.2.1	TRANSFORMACIONES CON DIFUSIÓN .....	15
3.2.2	TRANSFORMACIÓN SIN DIFUSIÓN (MARTENSÍTICA) .....	15
4	METODOLOGÍA.....	16
5	CRONOGRAMA .....	17
6	RECURSO (presupuesto y fuentes de financiación) .....	18
7	Bibliografía .....	18

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de temple en los aceros y en especial el acero al cual se le realizara el estudio, acero AISI/SAE 1045, es un proceso en el que el material se calienta a temperaturas entre 730°C y 780°C para austenizarlo y luego se enfría en una solución que en nuestro caso es agua. Durante este proceso el acero sufre un cambio en cuanto a su microestructura de manera que se reacomoda la estructura cristalino pasando de un retículo cubico centrado en caras a una estructura tetragonal centrada en cuerpo. Este reordenamiento de átomos en la se ve representado en forma de cintas o agujas de carbono.

La forma de este carbono en la microestructura resultado del temple en el acero AISI/SAE 1045 y es el motivo por el cual se quiere realizar un estudio, ya que con la presencia de este carbono, en cualquiera que sea su porcentaje puede llegar a determinar cuan más o menos duro se vuelve el acero después del tratamiento térmico.

En primera medida es importante determinar dicho porcentaje de carbono, en la medida que se someta al acero a diferentes temperaturas y establecer cuáles serán las temperaturas críticas en las cuales se va a mostrar un importante cambio en la estructura como podrá reflejarse en el ensayo metalográfico, composición del carbono en el ensayo SEM y su dureza en el ensayo de microdureza.

Después de expuestos los datos y confrontados con datos teóricos, se relacionara el porcentaje de carbono y la temperatura, así como la dureza y la temperatura en una representación gráfica que nos dirá más fácilmente cual es el comportamiento del carbono en la estructura del acero sometido a diferentes temperaturas críticas, así mismo con el comportamiento del carbono se verá reflejado también la dureza, ya que es una propiedad mecánica que esté enteramente ligada a la composición del material.

### 1.1 ESTADO DEL ARTE

Los artículos consultados y citados para el desarrollo de este proyecto se han enfocado en el crecimiento de la fracción volumetría que ha tenido la martensita después de aplicarse un temple a temperaturas intercríticas de 727°C a 788°C valores obtenidos por cálculos hechos por otros autores [1], lo cual permite escoger una variación de la temperatura de templado que se encuentre dentro de estos límites de intervalo a fin de estudiar la evolución del porcentaje de carbono presente en la martensita de un acero AISI/SAE 1045.

Es un acero utilizado cuando la resistencia y la dureza son necesarias en condición de suministro. Este acero de medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o

inducción pero no es recomendado para cementación o cianurado. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de máquinas en la tabla 1 se evidencia los valores porcentuales de la composición química de este acero. [2]

	Mn	Cr	P	S
<b>C</b>				
<b>0.43</b>	0.60	0.70	-	0.035
-	-	0.90	máx.	máx.
<b>0.50</b>	0.90			

Tabla 1. Composición química del acero AISI/SAE 1045. (“Development of high Carbon HISTORY Steel Tube with Excellent Formability” KAWASAKI STEEL TECHNICAL REPORT No. 47 December 2002) [2]

La templabilidad de los aceros es la propiedad que determina la profundidad y distribución de la dureza producida por temple, es decir, la facilidad para formar martensita a una mayor profundidad, dificultando la aparición de otros productos de transformación. La templabilidad de un acero depende de: [3]

1. La composición química del acero
2. Del tamaño de grano austenítico
3. De la estructura del acero antes del temple

La templabilidad se determina usualmente por métodos:

#### 1.1.1 Método Grossmann o del Diámetro Crítico ideal.

Para aplicar este método, se deben temprar barras de diferentes diámetros entre 0,5 y 2,5 plg, en un cierto medio de temple, luego se hace cortes transversales de éstas t se examinan metalográficamente, la barra que contiene 50% de martensita en el centro define el diámetro crítico real.  $D_0$  ver figura 1.  $D_0$  depende ciertamente del poder de extracción de calor del medio de temple, a partir de esto, se define el temple ideal como aquel temple por medio del cual la temperatura de la superficie de una barra metálica se enfría instantáneamente a la temperatura del medio enfriante, a si se determina un diámetro crítico ideal.  $D_1$ . La severidad del medio de enfriamiento de determina a partir de un coeficiente H. el cuál es el caso de temple ideal infinito. [3]

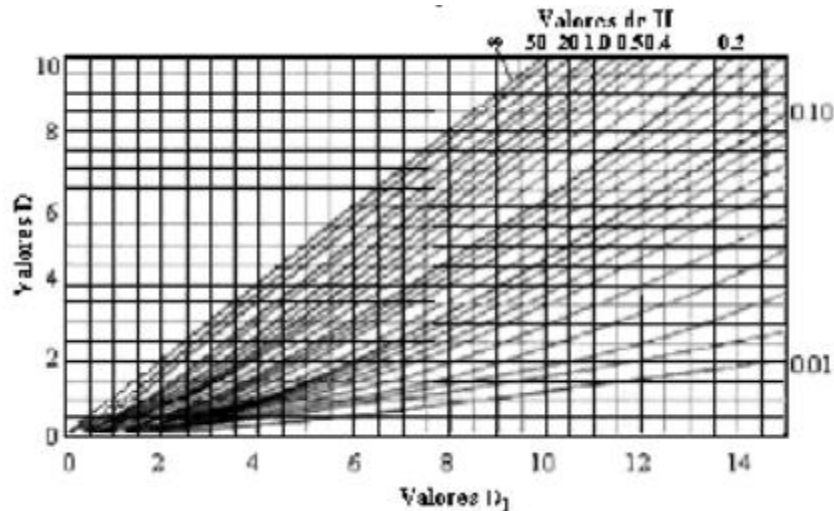


Figura 1. Relación entre severidad de temple H y diámetro crítico ideal. [3]

Por otra parte, mientras mayor sea  $D_1$ , mayor será la templabilidad. La tabla 2 muestra valores de H para varios medios de enfriamiento.

Valores Típicos de H			
Agitación	Medio de Temple		
	Aceite	Agua	Salmuera
Ninguna	0,25 - 0,30	0,90 - 1,0	2,0
Moderada	0,35 - 0,40	1,2 - 1,3	
Fuerte	0,50 - 0,80	1,0 - 2,0	5,0

Tabla 2 Valores de severidad de temple H para 3 medios de enfriamiento [3]

### 1.1.2 Método Jominy

Este método para la medición de la templabilidad consiste en templar una probeta estandarizada de 1" de diámetro y 4" de largo como se muestra en la figura 1.1, del acero en estudio, previamente calentado a la temperatura de austenitización. Posteriormente la probeta se enfría mediante un chorro de agua, también estandarizado, que solo enfríe su base inferior. Esta cara actúa como superficie templante que enfría la probeta longitudinalmente hacia su extremo superior solo por conducción. Obteniéndose así una variedad de velocidades de enfriamiento desde la máxima en el extremo, a la mínima en el opuesto y de igual manera varía su dureza de un extremo al otro, la curva de templabilidad se puede considerar como el equivalente entre la distancia Jominy y el diámetro [3]

Si se enfría rápidamente la austenita a una velocidad mayor que la velocidad crítica de temple con el objetivo de evitar la aparición de la formación perlítica, figura 2, la transformación de la austenita tiene lugar por debajo de los 250°C y la estructura que se formaría como consecuencia de la citada transformación se

denomina martensita siendo la microestructura más dura y frágil de los aceros, este procedimiento de enfriamiento rápido recibe el nombre de temple. [4]

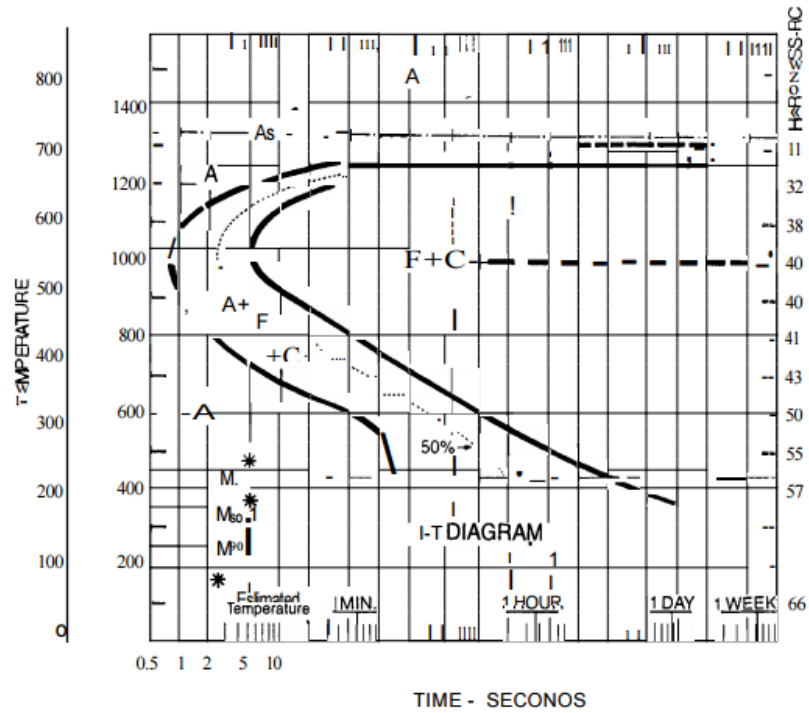


Figura 2. Curva TTT de un acero Eutoctoide [4]

La martensita es una solución sólida sobresaturada en carbono que presenta una estructura tetragonal centrada en el cuerpo con los átomos de carbono ocupando posiciones octaédricas intersticiales a lo largo del eje mayor de la celda, eje c como se muestra en la figura 3, donde las posiciones intersticiales x e y está vacías. [4]

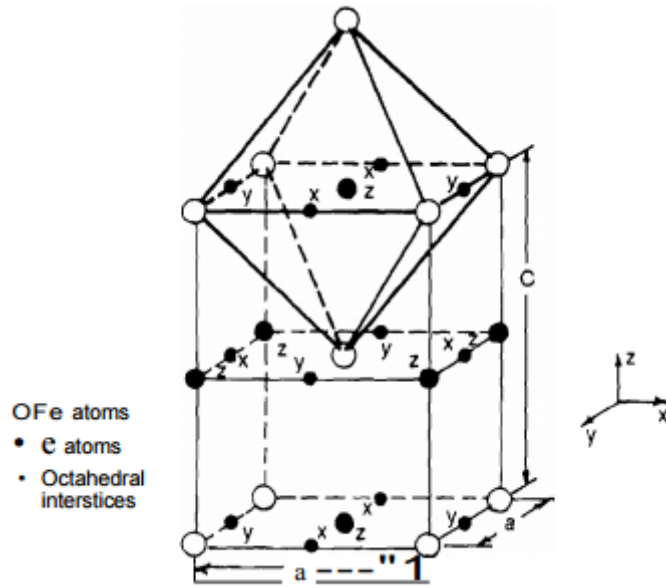


Figura 3. Disposición atómica de los átomos de hierro en la fase martensítica [4]

Cuanto mayor es el contenido de carbono de la martensita, un mayor número de lugares intersticiales son ocupados en y, consecuentemente, la tetragonalidad de la celda aumenta. La martensita es una fase meta estable que aparece solo porque la difusión es prácticamente inoperante a las bajas temperaturas a las que se forma, de tal manera que si calentamos la martensita hasta una temperatura suficiente para dotar a los átomos de carbono de una cierta movilidad (tratamiento de revenido, 500-700°C), se formará cementita y la celda de martensita sin carbono se habrá transformado en ferrita, es decir, se habrá formado las fases estables que nos indica el diagrama de Hierro-Carbón, este segundo tratamiento (revenido) se realiza con el fin de aumentar significativamente la resistencia al impacto de la estructura martensítica obtenida por el temple realizado anteriormente aun cuando se disminuye la dureza. Las características mecánicas de la martensita dependen de su contenido en carbono. Hay diferentes expresiones que expresan el límite elástico de la martensita en función de dicho componente como lo evidencia la siguiente expresión propuesta por Cohen [4]

$$\sigma_y \approx 290 + 1800C^{1/2}$$

Teniendo en cuenta en este artículo las muestras fueron tratadas durante 20 minutos a 730°C, solo la banda de perlita inicial ha transformado a martensita, se puede suponer que el contenido de carbono de esta última fase es el mismo que el de perlita de partida. Pero a medida que aumenta la Temperatura de los tratamientos, la misma cantidad de carbono se disminuye en una cantidad mayor de martensita de tal forma que el porcentaje de este elemento en la fase dura



disminuye provocando un ablandamiento de la fase martensítica como se puede ver en la figura 4, que corresponden a ensayos de nanoindentación. [5]

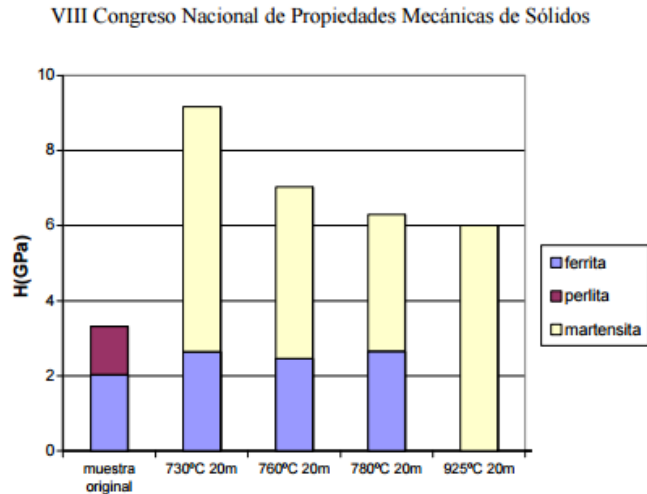


Figura 4. Representación gráfica del Valor de nano dureza de cada fase en diferentes microestructuras [5]

En la figura 6 se muestra la evolución de la nano dureza con la deformación global de la muestra en estructuras ferrito-perláticas y ferrito-martensíticas. Se observa que en las primeras, tanto la dureza de la ferrita como la de la perlita aumentan conforme se deforma el material, no apreciándose el mismo efecto en las ferrito-martensíticas.

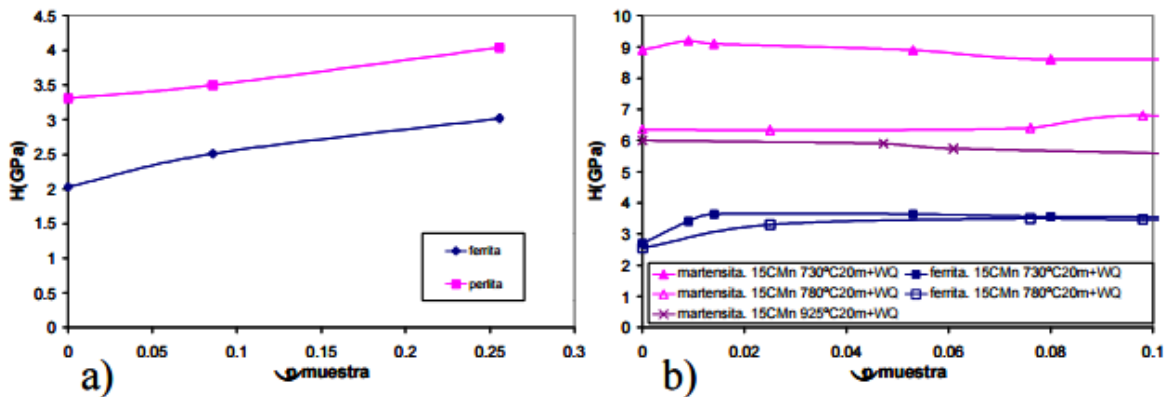


Figura 6. Evolución del Valor de nano dureza frente a la deformación plástica de la muestra a) en acero ferrito-perlático, b) en acero ferrito-martensítico. [5]

Al sustituir la perlita por martensita, la relación de nano dureza entre la fase dura y blanda pasa de ser aproximadamente 1.5 a 4. Por ello no es de extrañar que el acero ferrito-martensito, donde la martensita tiene un alto contenido de carbono,

se pueda llegar a un punto en el que sea la fase blanda la única que se deforme, no apreciándose deformación ni endurecimiento de la martensita. [5]

Identificar la composición inicial de los dos elementos que conforman la microestructura del acero AISI/SAE 1045 antes de someterlo a un tratamiento es de gran importancia para comprender su comportamiento antes y después de realizar alguna modificación a su microestructura por medio de algún tipo de tratamiento térmico en la figura 7 se observa que la composición inicial de este acero es de Ferrita granos de color claro que rodean a los granos de perlita los cuales poseen un color más oscuro estos dos elementos aportan bajas propiedades de resistencia mecánica y dureza. [6]



Figura 7. Microestructura interna de los aceros AISI/SAE 1045. [6]

Con el objetivo de mejorar las propiedades de los dos elementos anteriormente mencionados es necesario templearlo con el fin de transformarlos en austenita y posteriormente al realizar el enfriamiento rápido del acero evitando que el carbono se diluya, esta austenita se transforma en martensita la cual presenta una elevada dureza la cual depende en medida del porcentaje de carbono presente en ella, formando una nueva microestructura como se evidencia en la figura 8. [6]



Figura 8. Microestructura de la martensita [6]

Ya que su estructura interna evoluciona haciéndose más fuerte las propiedades de este acero son mejores a las de los aceros de DP Doble para ser sometido posteriormente a revenido. Se encontró que los cambios producidos por la secuencia térmica descrita en el documento crean unos cambios de fase en el acero, dando como resultado unas fases con una dureza menor a las iniciales, obteniendo unas medidas finales de rugosidad menores a las que se encontraron en los mecanizados a las probetas en su estado de suministro. Por lo cual aunque se utilizaron exactamente los mismos parámetros de corte en todas las pruebas se ve como el tratamiento térmico realizado es el que causa una variación en la rugosidad superficial. [6]

Después del tratamiento de temple y revenido a temperaturas intercríticas, se puede deducir que el contenido de martensita influye positivamente en la resistencia a la corrosión del material, ya que en las probetas templadas desde los 760 °C y expuestas a condiciones corrosivas por 50 y 100 horas se obtuvieron los menores valores de pérdida de masa por cada lapso de tiempo estudiado. Al observar el comportamiento de las muestras frente a la corrosión dependiendo de su tiempo de revenido, se puede analizar que después de 45 min de revenido luego de un temple realizado desde los 760 °C, existe una tendencia a una menor resistencia a la corrosión ya que comienza a aumentar su pérdida de masa en cada una de las tres muestras (50, 100 y 200 horas). Mediante la identificación de la corrosión en el Microscopio electrónico de barrido, se evidencia que la corrosión se propaga partiendo desde el límite de grano mostrando un patrón de expansión debido a corrosión transgranular [7]

Para determinar la variación de propagación del sonido en el acero AISI/SAE 1045 sometido a temple y revenido en las micrografías tomadas de las probetas templadas con agua se observa que a medida que va aumentando el tiempo de revenido, las concentraciones de cementita van decreciendo y, por lo tanto, la micro dureza en el material. Para las muestras que fueron templadas en agua, a medida que disminuyeron la micro dureza también disminuyó la velocidad de propagación del sonido, destacando que entre menos estén compactas las moléculas del material, menos capacidad de transportar las ondas de sonido tendrá. El cambio en la microestructura es la razón más relevante que influye en la velocidad de propagación del sonido, ya que entre mayor sea la presencia de micro constituyentes de alta dureza y densidad, mayor será la velocidad de propagación de las ondas de sonido. [8]

Todos los revenidos realizados a la temperatura de 450 °C y un tiempo de sostenimiento de 15 minutos aumentan su tenacidad y su deformación teniendo como referencia la probeta sin tratamiento. El revenido a 550 °C y un tiempo de sostenimiento de 15 minutos ofreció la mayor deformación plástica de toda la prueba. La tenacidad de todos los tratamientos térmicos de revenido fue mayor que el de la probeta sin tratamiento y la de temple presentó una disminución en su tenacidad de acuerdo a la teoría. El tratamiento térmico de temple tiene un aumento del 108.1% en su zona dura con relación a la probeta sin tratamiento

evidenciando el comportamiento establecido teóricamente. La variación porcentual entre el revenido de 450 °C y un sostenimiento de 15 minutos es similar a la del revenido a 550 °C y un sostenimiento de 10 minutos.

Entre más tiempo de sostenimiento en el revenido a 450 °C la concentración de martensita disminuye gradualmente y se presenta una mejor distribución de los granos en la superficie analizada. Las probetas con revenido a 550 °C con tiempo de sostenimiento de 5 y 15 minutos proporcionan una mejor definición de los granos de ferrita en la estructura. Un coeficiente de endurecimiento por deformación alto significa un mayor endurecimiento en el material, lo que a nivel micro estructural significa un mantenimiento de las dislocaciones creadas durante la deformación. Así mismo, se deforman los granos del material y se induce en el material esfuerzos residuales. Es decir, la estructura interna del material se ve afectada notablemente por la deformación inducida [9]

## 1.2 JUSTIFICACIÓN.

Una de las causas de ejecución del proyecto es la comprobación de la composición química del acero 1045 y la variación del porcentaje de carbono que este sufre en la martensita con respecto a los nuevos índices adquiridas por el material después de ser sometido a temple y revenido, el cual se realiza con el objetivo de manipular sus propiedades a fin de suplir una necesidad presente en la industria o aumentar el ciclo de vida según sea su aplicación, caracterización que se determina mediante pruebas realizadas a probetas en laboratorio.

Con respecto a los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas a las probetas después de ser sometidas a los tratamientos térmicos a diferentes temperaturas y condiciones de enfriamiento diferentes para cada uno de los dos casos anteriormente mencionados durante un tiempo determinado se pretende evaluar los nuevos índices de carbono existentes en la martensita y analizar el comportamiento del porcentaje de carbono Vs temperatura y el de dureza Vs temperatura a fin de comprobar alguna cambio presente en la dureza y establecer si hay algún tipo de relación entre estas dos variables.

Teniendo en cuenta la información obtenida del análisis propuesto anteriormente se pretende continuar con el desarrollo tecnológico de materiales al nivel de desempeño mecánico con respecto a las propiedades que le dan los índices de porcentaje de carbono presentes en la martensita al material. Estos puedan ofrecer información más adecuada para la aplicación del acero AISI/SAE 1045 en la industria colombiana y de esta manera se logre fabricar productos con condiciones de dureza más acertadas según su aplicación

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la evolución del carbono en la martensita del acero 1045 sometido a tratamiento térmico como lo son el de temple desde temperaturas intercríticas y revenido.

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Establecer las temperaturas críticas, las temperaturas y los tiempos para el tratamiento basado en la composición química.
- Realizar la micrografía óptica, el ensayo SEM (microscopía electrónica por barrido).
- Establecer la influencia de la temperatura del tratamiento térmico en el cambio del porcentaje de carbono en la martensita en cada etapa del tratamiento.

## 3 MARCO TEÓRICO

La martensita es una estructura metaestable consistente en una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa. Se obtiene durante el procedimiento de templado enfriando rápidamente los aceros durante su fase austenítica.

La martensita se presenta dependiendo del porcentaje de carbono, a) cuando el porcentaje de carbono es menor a 0,6 la martensita se presenta en cintas, b) cuando es un porcentaje entre 0,6 y 1 son mixtas y c) cuando el porcentaje es mayor a 1,2 se presenta en su microestructura como agujas.

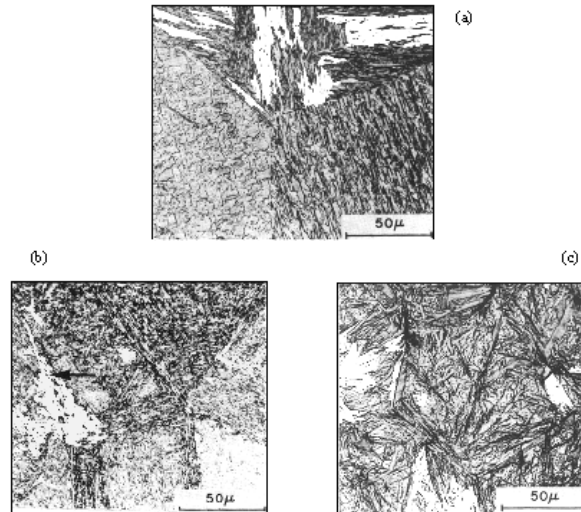


Fig. Tipos de martensita, a) martensita en cintas; b) mixta; c) martensita en agujas.<sup>1</sup>

En cuanto a su estructura cristalina se presenta como una red tetragonal en lugar de una red cubica centrada como normalmente se presenta en la fase hierro alfa, debido a la deformación que produce en su red cristalina la inserción de los átomos de carbono.

La dureza de la martensita se le atribuye a la tensión entre los cristales, esta tensión así mismo como todos los metales deformados en frio se debe a los granos deformados, al deformarse estos granos aumenta la tensión entre ellos y es la característica principal de la dureza en los materiales.

La presencia de carbono en la martensita no es constante, sino que varía hasta un 0,89%, aumentando dureza, resistencia mecánica y fragilidad a su misma vez.

### 3.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los tratamientos más comunes a los cuales un acero está sometido son los de temple, recocido y revenido.

El temple es el proceso en el cual se basa en el enfriamiento rápido mediante agua u otra sustancia, en los aceros este proceso de enfriamiento rápido a través de su punto eutectoide, es el punto en cual la austenita se vuelve inestable dando lugar a la formación de martensita, aumentando la dureza al acero pero es un estado meta estable, o sea, no puede calentarse el acero a altas temperaturas.

Antes de endurecer un hacer, la microestructura del material es una estructura de grano de perlita lo cual significa que es uniforme y laminar. La perlita es una mezcla de ferrita y cementita formada cuando el acero o hierro fundido se fabrica y se enfría a una velocidad lenta. Después de enfriamiento rápido, la micro

estructura del acero presenta la formación de la martensita como una estructura fina en forma de aguja.

El recocido es un tratamiento térmico del acero a alta temperatura para eliminar tensiones sobre el material lo que produce una homogeneidad en la distribución del grano.

Por último, el revenido es el mismo procedimiento que el recocido, pero con la diferencia que este se hace a una menor temperatura con el fin que no haya la presencia de más fases sino que sea solo para liberar tensión.

## 3.2 DIAGRAMA TTT

Es un diagrama que corresponde a temperatura, tiempo y transformación. Es una representación gráfica que recibe también el nombre de diagrama de transformaciones isotérmicas<sup>1</sup>. A manera de ejemplo la transformación eutectoide en aceros presenta un mejor detalle a lo que respecta con transformaciones por difusión y sin difusión.

### 3.2.1 TRANSFORMACIONES CON DIFUSIÓN

Se presenta un cambio en la microestructura a razón de la migración atómica, como por ejemplo en acero eutectoide, al ejercer el tratamiento sobre el acero a una temperatura de 727°C hasta 400°, se presenta la perlita, una transformación de la austenita y además de ello no es la única que se puede obtener sobre estos rangos de temperatura, ya que sobre un estudio realizado a este tratamiento, arrojó resultados de que a bajas velocidades de nucleación y elevadas velocidades de difusión, la perlita presenta una apariencia de grano más fino, además la ferrita y la cementita se muestran en forma de agujas muy finas conocida con el nombre de bainita.

### 3.2.2 TRANSFORMACIÓN SIN DIFUSIÓN (MARTENSÍTICA)

Todas las reacciones eutectoides están gobernadas por difusión, pero haciendo una inspección detallada del diagrama TTT, se muestra que por debajo de una temperatura de 250°C no hay información suficiente, de manera que en el diagrama se agregan dos líneas que representaran el proceso sin difusión, conocido como transformación martensítica. El claro ejemplo que demuestra este

proceso es el proceso de temple de los aceros eutectoides ya que la martensita es el resultado directo de la austenita.

La martensita es una transformación que se presenta a menos de 215°C de la austenita con el reagrupamiento de átomos de hierro y carbono pasando de una estructura fcc (estructura cubica centrada en el cuerpo) de la austenita a una estructura tetragonal centrada en el cuerpo (bct), la velocidad a la cual puede ocurrir esta transformación depende únicamente de la temperatura a la que la aleación es enfriada.

## 4 METODOLOGÍA

Para alcanzar con los objetivos propuestos se propone desarrollar las siguientes actividades:

- Se hará la compra del acero AISI/SAE 1045, será una barra de  $\frac{3}{4}$ " por 1 m de largo, para luego cortar la longitud de la probeta final que es de 8 a 10mm de espesor.
- Después de preparar las dimensiones de cada probeta, se realizará una prueba de composición química para cerciorarse principalmente del contenido de carbono del material.
- Después de verificar la composición del metal, se dispondrá de dos grupos de probetas para realizar el tratamiento térmico de temple a diferentes temperaturas que se encuentren dentro del intervalo de temperaturas intercríticas, estas serán constantes con un sostenimiento de 30 minutos y el medio de enfriamiento es agua.
- Al realizar el temple al primer grupo de probetas se le observará mediante un ensayo metalográfico, que probetas presentan una mayor distinción de formación de martensita.
- Una vez analizada su microestructura al primer grupo se le realiza una segunda prueba metalográfica (SEM) con el objetivo de determinar el porcentaje de carbono presente en la martensita.
- Al segundo grupo de probetas ya templado en las mismas condiciones que el primer grupo se le realiza un revenido a los mismos intervalos de temperatura constante en las que se realizó el temple y con un sostenimiento de 30 minutos para dejarlas enfriar a temperatura ambiente.
- Al realizar el revenido del segundo grupo de probetas se observará mediante un ensayo metalográfico, que probetas presentan una mayor distinción de formación de martensita.



- Una vez analizada su microestructura se realiza una segunda prueba metalográfica (SEM) con el objetivo de determinar el porcentaje de carbono presente en la martensita.
- Se realiza una prueba de micro dureza a los dos grupos de probetas con el objetivo de determinar sus diferencias en esta
- Análisis de resultados de laboratorio

## 5 CRONOGRAMA

AÑO DE EJECUCIÓN: 2016-2017							
Descripción	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
Preparación de las probetas							
Tratamiento térmico de temple a los dos grupos de probetas							
Prueba 1 al 1er grupo de probetas							
Prueba 2 al 1er grupo de probetas							
Tratamiento térmico de revenido al 2do grupo de probetas							
Prueba 3 al 2do grupo de probetas							
Prueba 4 al 2do grupo de probetas							
Prueba 5 a los dos grupos de probetas							
Análisis de resultados							

Tabla 3. Cronograma de planeación de actividades

## 6 RECURSO (presupuesto y fuentes de financiación)

El principal recurso con el que se cuenta es con los laboratorios de metalografía de la universidad y de tratamientos térmicos ya que en ellos se desarrolla la mayor parte de las etapas del proyecto como lo es el corte de las probetas, el tratamiento térmico al que son sometidas y las pruebas de metalografía. Por último, los recursos y las pruebas que se obtienen de forma externa los cuales están estipulados en la siguiente tabla.

ÍTEM	Unidad	#unidad	\$Unidad	Subtotal	Financiación
Internet	Hora	62.5	\$1300	\$81250	Recurso propio
material	metros	1	\$20000	\$20000	Recurso propio
Fotocopias	Páginas	32	\$50	\$1600	Recurso propio
Biblioteca	Consultas				Universidad
Impresiones	Hojas	48	\$100	\$4800	Recurso propio
Transporte	Pasaje	15	\$2000	30000	Recurso propio
Mano de obra	Persona	2	\$317000	\$634000	Recurso propio
Asesorías	Tutor	32 horas	\$30000	\$960000	Recurso propio
Pruebas de laboratorio universidad Nacional	hora	1	\$60000	\$60000	Recurso propio
Pruebas de laboratorio universidad los Andes	hora	9	\$60000	\$540000	Recurso propio
Total				2331650	Apoyo externo

Tabla 4. Presupuesto y recursos

## 7 Bibliografía

[1 C. Bohorquez, E. Sabogal, A. Rodriguez y J. Moreno, «CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL DE UN ACERO AISI/SAE 1045 TRATADO TÉRMICAMENTE EN EL INTERVALO INTERCRÍTICO,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.repository.unilibre.edu..> [Último acceso: 18 octubre 2016].

[2 J. D. Ardila Garcia y D. L. Coral Martinez, «ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN MICROESTRUCTURAL DE UN ACERO AISI/SAE 1045 AL SER SOMETIDO A UN TRATAMIENTO ISOTÉRMICO,» 17 Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://repository.udistrital.edu.co>. [Último acceso: 15 octubre 2016].

[3 Universidad Tecnológica de Pereira, «Tratamientos térmicos de los aceros,» [En línea].

- ] Available: <http://www.utp.edu.co>. [Último acceso: 14 Octubre 2015].
- [4 F.J. BELZUNCE. Universidad de Oviedo, 2001. [En línea]. Available:  
] <http://www.aceroplaneta.es/docs/documento138pdf>. [Último acceso: 13 Octubre 2016].
- [5 R. Rodríguez y I. Gutiérrez, «ESTUDIOS DE LA CONTRIBUCIÓN DE LAS FASES A LAS  
] PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL ACERO CON ESTRUCTURAS MIXTAS,» Universidad de Navarra (Tecnun), 15 Agosto 2002. [En línea]. Available:  
[http://www.upv.es/pms2002/comunicaciones/008\\_RODRIGUEZ.PDF](http://www.upv.es/pms2002/comunicaciones/008_RODRIGUEZ.PDF). [Último acceso: 17 Octubre 2016].
- [6 O. Y. Gutierrez Bermúdez y C. C. Gutiérrez Quintero, «ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS  
] PARÁMETROS DE CORTE EN LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE UN ACERO AISI/SAE 1045  
TEMPLADO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y REVENIDO,» Universidad Distrital  
Francisco José de Caldas, 2015. [En línea]. Available:  
<http://www.repository.udistrital.edu.co/bitstream/1149/.../GutiérrezBermúdezOscarYesid2015pdf>. [Último acceso: 17 Octubre 2016].
- [7 C. D. Prieto Velandia y B. H. Poveda Suarez, «Establecer la influencia del Tratamiento Termico  
] Realizado a Temperaturas Intercriticas y Revenido en la Resistencia a la Corrosión Acero  
AISI/SAE 1045,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 20 Enero 2015. [En línea].  
Available: <http://www.repository.udistrital.edu.co/handle.net/11349/3396>. [Último acceso: 15 Octubre 2016].
- [8 B. E. Ladino Cuervo y Á. Segura Perdomo, «INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE  
] TEMPLE Y REVENIDO EN LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN UN ACERO SAE  
1045,» Universidad Distrital Fransico José de Caldas, 17 noviembre 2015. [En línea]. Available:  
<http://repository.udistrital.edu.co/propagación>. [Último acceso: 16 Octubre 2016].
- [9 J. F. Castañeda Vargas y L. Silva Urueña, «INFLUENCIA DEL TIEMPO DE REVENIDO EN LAS  
] PROPIEDADES MECANICAS DE DUREZA Y REISITENCIA A LA TENSIÓN DE UN ACERO SAE 1045,»  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 15 Enero 2015 . [En línea]. Available:  
<http://www.repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2267/1/SilvaUrueñaJayson2015.pdf>.  
[Último acceso: 14 Octubre 2016].