

**INFLUENCIA DEL TIEMPO DE TRATAMIENTO ISOTERMICO EN UN ACERO
CON CONTENIDO DE SILICIO CERCANO AL 1,5% Y DEFORMADO
PLASTICAMENTE**



EDER IVAN FUENTES AGUDELO

DEWYTT JHORDAN CORDOBA CUBILLOS

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGIA E INGENIERIA MECANICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

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):	Dewytt Jhordan	
Apellido (s):	Cordoba Cubillos	
Código:	20171375030	
E-mail:	dewyttjhordan@gmail.com	
Celular 1:	300-7191993	
Celular 2:	315-6487234	
Ejecutor 2		
Nombre (s):	Eder Ivan	
Apellido (s):	Fuentes Agudelo	
Código:	20171375025	
E-mail:	evermore22@hotmail.com	
Teléfono fijo:	3048227	
Celular:	322-3660536	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	INFLUENCIA DEL TIEMPO DE TRATAMIENTO ISOTERMICO EN UN ACERO CON CONTENIDO DE SILICIO CERCANO AL 1,5% Y DEFORMADO PLASTICAMENTE	
Duración (estimada):	12 semanas	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Investigación	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y procesos de manufactura	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Metalurgia, tratamientos térmicos y metalografía	
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

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

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	Pag. 5
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	Pag. 6
3. ESTADO DEL ARTE	Pag. 8
4. JUSTIFICACION	Pag. 16
5. OBJETIVOS	Pag. 17
6.1 Objetivo General	
6.2 Objetivos Específicos	
6. MARCO TEORICO	Pag. 18
7. METODOLOGIA	Pag. 20
8. CRONOGRAMA	Pag. 22
9. PRESUPUESTO	Pag. 23
10. BIBLIOGRAFIA	Pag. 24

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

1. RESUMEN

Este documento tiene por finalidad mostrar algunos avances que giran en torno al análisis de los aceros con microestructura bainítica, los cuales juegan un rol importante no solo en el medio científico sino que también hacen presencia en el desarrollo de la creciente industria, participando en un sin número de aplicaciones en diversos campos.

En la actualidad del ámbito investigativo en Colombia, no se han realizado muchos aportes a esta línea de estudio, que de ser aprovechada podría brindar una amplia rama a la pesquisa del área de materiales y metalurgia que se encuentra en constante desarrollo dentro de la nación.

Se presentan investigaciones realizadas en múltiples lugares alrededor del mundo, en las que el centro de análisis son los aceros con microestructura bainítica, con combinaciones de un sin número de aleantes que aportan a la mejora del material. Muchas de ellas mencionan resultados o datos muy favorables en comparación con el comportamiento inicial del material.

También se podrá encontrar datos relevantes para el desarrollo del proyecto como la metodología a emplear, el presupuesto y por qué se lleva a cabo el estudio.

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De cara al avance en esta línea de materiales de los aceros bainíticos y a las propiedades que pueden llegar a brindar en comparación con otros aceros de mayor notoriedad en el área industrial, se hace fundamental el fortalecer esta rama de investigación. En consonancia con esto hemos analizado los trabajos que anteceden el aporte al mejoramiento de la formación de bainita con características únicas, como por ejemplo el uso y la variación de la cantidad porcentual de silicio presente en la composición química del acero y como esta influye en la disminución de la formación de carburos los cuales afectan notoriamente la tenacidad del material¹.

Teniendo en cuenta lo anterior, surgen un grupo de interrogantes a resolver:

- ¿Cómo variara la microestructura bainítica al realizar un proceso de laminación en caliente previo a su formación, en comparación con una probeta de acero sin laminar?
- Como el tratamiento isotérmico se aplicara en lapsos de tiempos de 4 y 8 horas, ¿Cuál de estos dos será el tiempo ideal para la formación de una microestructura bainítica uniforme?
- Con base a la teoría analizada y a las micrografías obtenidas al final de la experimentación, se podría determinar si ¿Con el tratamiento isotérmico aplicado al material, se propicia la formación de bainita superior (arborescente) o bainita inferior (acicular)?
- ¿Cómo se comportaran los valores de dureza y microdureza en el material teniendo en cuenta que estarán sujetos a dos variables principales (tiempo de tratamiento y proceso de laminación)?

¹ F.G. Caballero, H.K.D.H Bhadeshia, K.J.A Mawella, D.G. Jones, P Brown. *DISEÑO DE NUEVOS ACEROS BAINITICOS*

Revista de Metalurgia, Vol 38, No 1 (2002)

Disponible en:

<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/377/385>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

- ¿Se puede evidenciar que la adición de silicio con valores alrededor del 1.5%, a la composición química del material, reduce ostensiblemente la formación de carburos?

- Teniendo en cuenta que el material fue sometido a configuraciones distintas de tiempos de tratamiento con y sin laminación, ¿Cuál de estas presentara el valor de tenacidad más alto? ¿Los valores obtenidos concuerdan con la teoría consultada o difieren de ella?

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

3. ESTADO DEL ARTE

Con el pasar del tiempo las aplicaciones en las cuales vemos presente el acero han llegado a ser tan numerosas, que el mundo se ha visto en la necesidad de estudiar la infinidad de combinaciones o aleaciones que este material nos permite crear y finalmente obtener la característica específica que se esté buscando.

Por tal motivo numerosas instituciones a nivel mundial dedican gran parte de sus esfuerzos en pro de lograr conseguir el mejor rendimiento posible de los aceros a través de la continua experimentación, comparación y análisis.

Un ejemplo de estos son los aceros bainíticos los cuales hasta el momento han brindado soluciones en múltiples áreas con resultados aun 100% favorables.

En *Bainite Formation in Medium-Carbon Low-Silicon Spring Steels Accounting for Chemical Segregation* (C. GOULAS, M.G. MECOZZI, and J. SIETSMA, 2016) vemos como se realiza un estudio de homogeneidad a los muelles o resortes fabricados con aceros bainíticos, empleando pruebas de dilatometría y microscopía, llegando a la conclusión de que los elementos aleantes impropios a la composición deseada producto de la segregación en la colada, retrasan la transformación de la microestructura y limitan la fracción volumétrica máxima que se podría obtener.²

También, se reafirma la teoría de que la formación de bainita superior incompleta y de bainita inferior más homogénea dentro del material, se da a temperaturas altas o inferiores cercanas a la temperatura de inicio de formación de la martensita respectivamente.

A su vez encontraron que en las primeras etapas de la transformación cinética de la bainita presenta una diferencia (retraso en el crecimiento de la bainita), con respecto al resto de ella debido a las homogeneidades de Cr y Mn.

²C. Goulas, M.G. Mecozzi, and J. Sietsma. *BAINITE FORMATION IN MEDIUM-CARBON LOW-SILICON SPRING STEELS ACCOUNTING FOR CHEMICAL SEGREGATION*

This article is published at Springerlink.com (2016)

Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11661-016-3418-6.pdf>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

María Jesús Santofimia Navarro (Madrid, 2007) en su trabajo de tesis doctoral *La transformación bainítica sin formación de carburos en aceros*, luego de realizar un detallado estudio de las transformaciones de fase en estado sólido y más específicamente para la formación de bainita en ellos, valido que a la adición del silicio dentro de la composición del acero ayuda a evitar la formación de carburos y a su vez junto con otros aleantes aportan propiedades de resistencia y tenacidad bastante interesantes.

Por otro lado esta investigación diseño un modelo para poder predecir la cinética de la transformación bainítica, modelo que cubre tanto la elección de la composición química como el tratamiento termomecánico más apropiado para la formación de esta microestructura.³

Modelo que aplican para la obtención una serie de muestras de material al cual le realizan su respectiva caracterización. Luego de contar con todos los datos pertinentes de la microestructura y las propiedades mecánicas del acero, concluyen que el modelo diseñado permite obtener resultados mucho mejores que los esperados inicialmente. Adicionalmente el citado modelo predice con una aproximación bastante buena de la fracción volumétrica de la bainita presente.

En otra investigación desarrollada se plantea la hipótesis de poder obtener bainita superior e inferior en el acero fundido con inclusiones de carburos presentes en el material. La metodología que emplearon fue la siguiente:

Se realizó la fundición en un horno de inducción de 15000Hz, utilizando como elementos aleantes para esta hierro noruego OB y acero St3, para el aporte de silicio a la colada se adiciono ferro-silicio Fe-Si75 y ferro-manganeso Fe-Mn65.

Un 1% de la fundición fue colocado dentro de una cámara reactiva junto con un termoelemento (PtRh10-Pt Tipo S) el cual a través de conductores compensatorios envió información a un diagramador de cristal para realizar un análisis de derivadas térmicas (TDA). La composición final del material se muestra en la tabla 1.⁴

³M. J. Santofimia, *LA TRANSFORMACIÓN BAINÍTICA SIN FORMACIÓN DE CARBUROS EN ACEROS* (Madrid 2007)

E-Prints Complutense, Universidad Complutense de Madrid
Disponibile en <http://eprints.ucm.es/7460/1/T29364.pdf>

⁴ S. Pietrowski, G. Gumienny, *ARCHIVES of FOUNDRY ENGINEERING* Volume 10, Issue 1/2010, *BAINITE OBTAINING IN CAST IRON WITH CARBIDES CASTINGS* (Polonia 2009)

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

Table 1.

The chemical composition of tested cast iron, its equivalent carbon content E_c and a degree of eutectic saturation S_c

Chemical composition, %								E_c	S_c
C	Si	Mn	Mo	Ni	P_{max}	S_{max}	Mg	%	
3,57	2,48	0,19	1,00	0,00				4,37	1,02
+	+	+	+	+	0,05	0,01	0,05	+	+
3,66	2,54	0,22	2,00	1,00				4,41	1,03

Tomado de ARCHIVES of FOUNDRY ENGINEERING Volume 10, Issue 1/2010, BAINITE OBTAINING IN CAST IRON WITH CARBIDES CASTINGS (Polonia 2009), pg.109

Todos los análisis arrojaron como conclusiones que si es posible obtener bainita en presencia de carburos, que al fundir y dejar enfriar a temperatura ambiente con una composición de 2% Mo y 0.5% Ni se presenta una microestructura bainítica superior y aumentando el Níquel al 1% hay presencia de una mezcla entre bainita superior e inferior.

“Los aceros multifase avanzados de alta resistencia generalmente se obtienen aplicando tratamientos isotérmicos alrededor de la temperatura de inicio de la martensita (M_s)” esta afirmación es el motivo de estudio A. N. López, J. Hidalgo, J. Sietsma, M.J. Santofimia en su artículo *Characterization of bainitic/martensitic structures formed in isothermal treatments below the M_s temperature* (Holanda 2017). El procedimiento experimental que se aplicó en este estudio es muy útil para determinar cómo se comporta el material sometido a un tratamiento térmico alrededor de la temperatura de formación de la martensita.

Primero realizaron un tratamiento con enfriamiento directo para experimentalmente hallar la cinética de la formación martensítica. Determinando un M_s experimental con 1% de error igual a $320 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$

Luego se practicó un tratamiento isotérmico por encima del M_s calculado para obtener una mezcla de microestructuras (bainita, austenita retenida y martensita fresca). Y por último con valores iguales e inferiores a la temperatura de formación de la martensita, se realizaron tres tratamientos para finalmente poder analizar una microestructura multifase.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

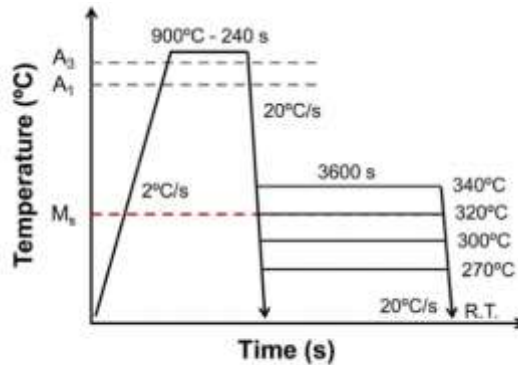



Fig. 1. Schematic representation of the heat treatments applied in the dilatometer to the selected steel.

Tomado de MATERIALS CHARACTERIZATION: CHARACTERIZATION OF BAINITIC/MARTENSITIC STRUCTURES FORMED IN ISOTHERMAL TREATMENTS BELOW THE MS TEMPERATURE (Holanda 2017), pg. 249

Se definen los tipos de formas que se pueden encontrar dentro de la microestructura al observar una micrografía se óptica o electrónica de barrido; de las cuales nos interesa identifica que formas presentan los granos de bainita.

A continuación vemos la caracterización del grano que plantean particularmente para la bainita que recibe el nombre de “SThin” (ST), con una forma de unidad delgada aspecto acicular (aguja). Tienden a estar alineas o paralelas entre sí.

Structural Feature	Schematic Representation
$S_{Thin} (S_T)$	 Acicular units

Tomado de MATERIALS CHARACTERIZATION: CHARACTERIZATION OF BAINITIC/MARTENSITIC STRUCTURES FORMED IN ISOTHERMAL TREATMENTS BELOW THE MS TEMPERATURE (Holanda 2017), pg. 250

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

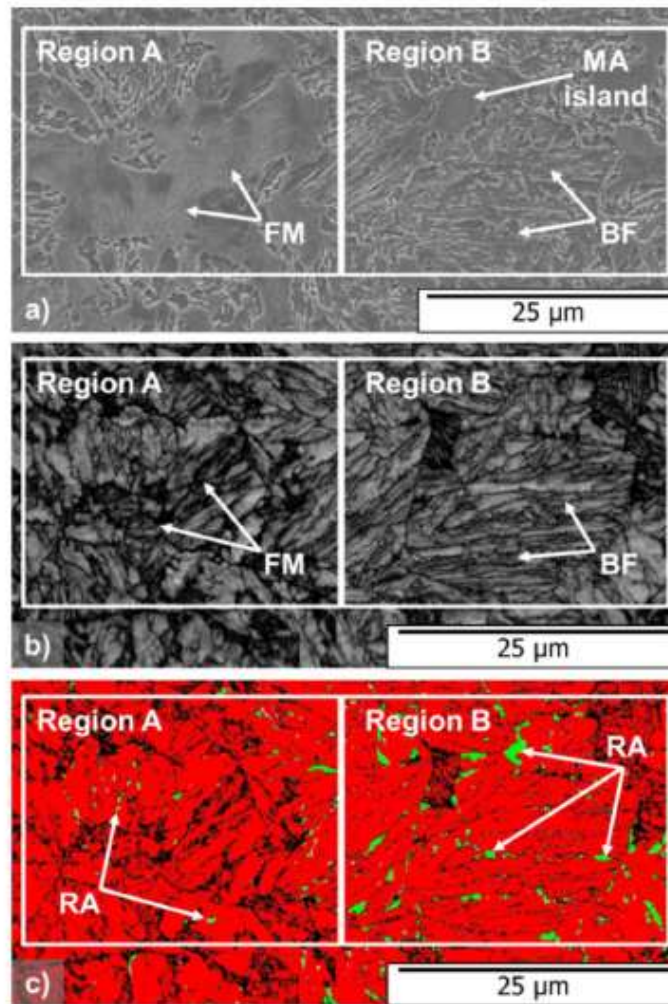


Fig. 3. a) SEM micrograph, b) Image Quality (IQ) map, and c) Phase Distribution (PD) map of a determined area of the specimen isothermally treated at 340 °C (above M_s).

Tomado de MATERIALS CHARACTERIZATION: CHARACTERIZATION OF BAINITIC/MARTENSITIC STRUCTURES FORMED IN ISOTHERMAL TREATMENTS BELOW THE M_s TEMPERATURE (Holanda 2017), pg. 251

Se concluye que la ferrita bainítica (bainita) aparece en formas de unidades aciculares delgadas o listones irregulares más anchos que los primeros. Unidades aciculares alineadas entre y con una longitud media de entre 5 y 8 μm.

Por otra parte el estudio realizado por F.G Caballero, H.K.D.H Bhadeshia, K.J.A Mawella, D.G Jones y P. Brown. Llamado *Diseño de nuevos aceros bainíticos* (Madrid 2002), en el que se realiza una optimización a los procesos de diseño y fabricación, a fin de cuentas para evitar la formación de martensita y favorecer la de austenita retenida en la microestructura; adicional a esto se busca impedir la

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

aparición de carburos por medio de la adicción de silicio como compuesto aleante. Una vez ajustado el procedimiento para la obtención de estos aceros el resultado fue un material con una microestructura y propiedades mecánicas excepcionales, mostrando unos excelentes valores de tenacidad y resistencia.⁵

En el siguiente estudio se analizaron dos composiciones químicas de aceros bainíticos de alta resistencia diferentes pero con una característica en común: libre de carburos, las composiciones empleadas son las siguientes:

- 0.47 % C, 1.22 % Si, 1.07 % Mn, 0.7 % Cr (S1) (wt %)
- 0.30 % C, 1.76 % Si, 1.57 % Mn, y 0.144 % Cr (S2) (wt %)

Se calcularon los límites de temperaturas de formación de la bainita (Ms y Bs) para poder escoger una serie de temperaturas a aplicar a los dos aceros. Se emplearon dos tipos de tratamientos térmicos uno de ellos con el nombre de austempering (temple bainítico) y otro tratamiento isotérmico.

Una de las pruebas que sumo a su investigación y que es la que más nos llama la atención es la siguiente:

⁵ F.G. Caballero, H.K.D.H Bhadeshia, K.J.A Mawella, D.G. Jones, P Brown. *DISEÑO DE NUEVOS ACEROS BAINITICOS*
Revista de Metalurgia, Vol 38, No 1 (2002)
Disponible en:
<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/377/385>

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

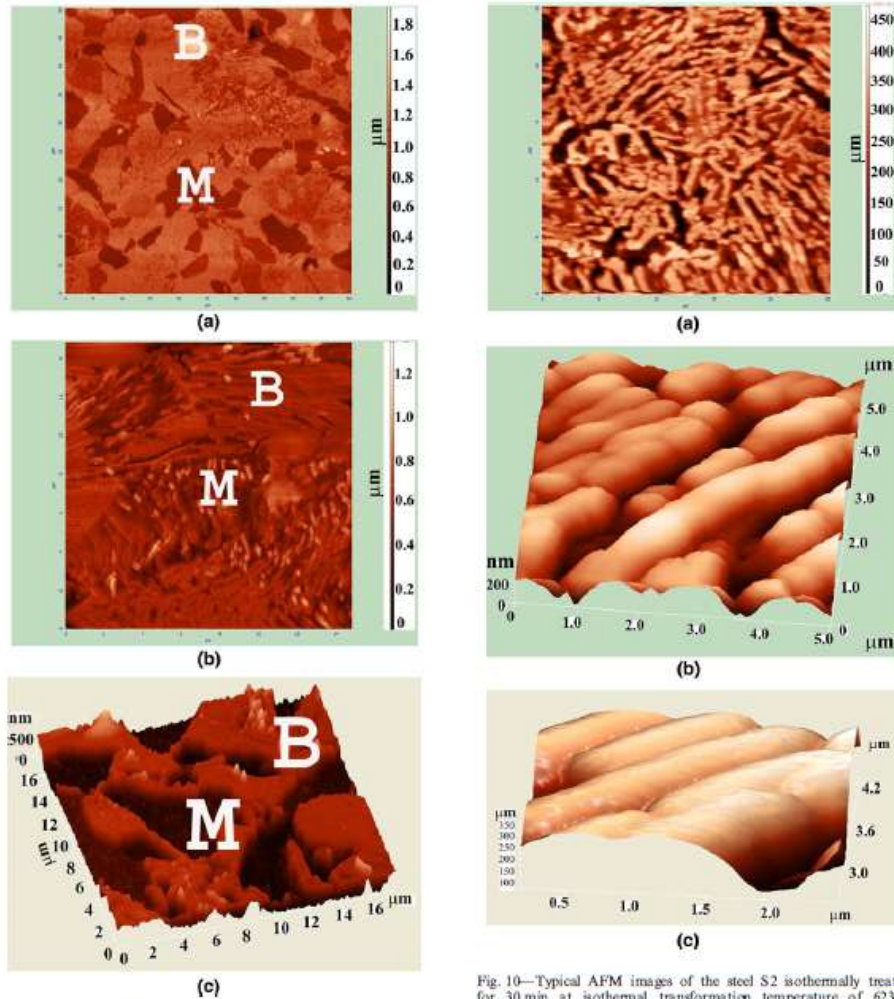


Fig. 9—Typical AFM images of the steel S1 treated for 30 min at isothermal transformation temperature of 623 K (350 °C) showing (a) 2-D surface topography of scanning area $50 \times 50 \mu\text{m}^2$, (b) 2-D surface topography of scanning area $15 \times 15 \mu\text{m}^2$, and (c) 3-D surface topography of scanning area $16 \times 16 \mu\text{m}^2$.

Fig. 10—Typical AFM images of the steel S2 isothermally treated for 30 min at isothermal transformation temperature of 623 K (350 °C) showing (a) 2-D surface topography of scanning area $50 \times 50 \mu\text{m}^2$, (b) 2-D surface topography of scanning area $5 \times 5 \mu\text{m}^2$, and (c) 3-D surface topography of scanning area $2.0 \times 4.2 \mu\text{m}^2$.

Tomado de METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS A VOLUME 42A, DECEMBER 2011—3921:
 Development of New High-Strength Carbide-Free Bainitic Steels (2011)⁶

Las anteriores son imágenes obtenidas con AFM (Atomic force microscope) las cuales les permitieron revelar la ultrafina morfología de las muestras tratadas térmicamente y también fue necesaria para observar otras fases y carburos presente en la microestructura del material.

⁶ S. Sharma, S. Sangal, and K. Mondal, METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS A VOLUME 42A, DECEMBER 2011—3921: *DEVELOPMENT OF NEW HIGH-STRENGTH CARBIDE-FREE BAINITIC STEELS* The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2011

Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11661-011-0797-6.pdf>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

Luego de realizar pruebas de caracterización del material encontraron que la fracción de volumen de bainita incrementa con el tiempo a cierta temperatura de tratamiento isotérmico, y la fracción de volumen de la misma también está directamente asociada con la posición de la temperatura isotérmica dentro de las curvas C en el diagrama de TTT.

Por ultimo determinaron que para la composición del material S2 la temperatura correcta para obtener las mejores propiedades tanto mecánicas como microestructurales es a 623 K (350 C), y con un tiempo de duración del tratamiento de 30 minutos.

De igual modo una serie de aportes importantes son destacados en una de las publicaciones hecha por el grupo de trabajo conformado por Jean-Christophe HELL, Moukrane DEHMAS, Sébastien ALLAIN, Juscelino Mendes PRADO, Alain HAZOTTE y Jean-Philippe CHATEAU en su artículo llamado Microstructure – Properties Relationships in Carbide-free Bainitic Steels (ISIJ International, Vol. 51 (2011), en donde se realiza la fabricación de dos aceros totalmente libres carburos por medio de la utilización de un proceso de austempering y el uso de algunos aleantes específicos. Ahora estas microestructuras fueron analizadas a través de la técnica EBSD (Electron backscatter diffraction) y difracción de sicrotron, que brindan una caracterización cristalográfica y microestructural más completa. Así mismo cabe destacar que en el estudio se busca ampliar el camino hacia los denominados aceros de alta resistencia de 3ra generación, para los que el valor de UTS (Ultimate effort to stress) logro alcanzar valores superiores a 1250 Mpa, buena ductilidad (UEL> 6%) y tensión de fractura (RA hasta 46%).

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

4. JUSTIFICACION

Dentro de toda la investigación realizada en torno a los aceros bainíticos, numerosos documentos exaltan las grandes características que presentan esta clase de aceros frente a muchos otros que actualmente son empleados en los ámbitos de la industria.

Conviene subrayar que gran parte de los estudios se han ido enfocando no solo en la obtención de bainita, sino en optimizar las propiedades mecánicas presentes en esta fase (resistencia y tenacidad) y que podrían funcionar como análogos de aceros con costos extremadamente elevados y de compleja fabricación.

Por tal motivo surge para nosotros la necesidad de realizar una investigación que profundice un poco más en los estudios que se han llevado a cabo hasta la fecha sobre la formación de aceros en el que se priorice la obtención de una microestructura final bainítica.

Llegados a este punto y trabajando de la mano con el Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Morelia, México), se trabajara en la fundición que busca producir un acero con contenido medio de carbono y un porcentaje de silicio cercano al 1.5%. Deformado plásticamente (HR) y tratado isotérmicamente para así obtener una microestructura bainítica. Para que en definitiva nos brinde la posibilidad de realizar una caracterización específica.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer la influencia de la deformación plástica en la microestructura de un acero medio carbono con contenido de silicio cercano al 1.5%, sometido a un tratamiento isotérmico a 450 °C en un baño de sales de nitruración, durante lapsos de 4 y 8 horas.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular el balance de carga para obtener la composición química deseada y realizar la fundición del acero.
- Realizar el análisis de composición química al material fundido y con los datos obtenidos calcular las temperaturas críticas.
- Establecer la secuencia de tiempos y temperaturas a las cuales el material se someterá a tratamiento.
- Realizar la deformación plástica (laminación al 50%) de los lingotes y enseguida el tratamiento isotérmico bajo los parámetros del objetivo anterior.
- Caracterizar el material mediante el uso de algunas técnicas metalográficas como: microestructura óptica, microscopio electrónico de barrido (scanning electron microscope), difracción de rayos X, ensayo de dureza y ensayo de microdureza.

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

6. MARCO TEORICO

6.1. Bainita

Se puede definir a la bainita como la mezcla de dos fases (ferrita y cementita), y para su formación se han de ver presentes procesos de difusión. Esta se forma en un rango de temperaturas que depende de la composición química del material pero se puede aproximar a que estaría dentro de los 250 a 550 °C.

Para que la formación sea posible, hay que enfriar rápidamente la austenita hasta una temperatura constante (entre Ms y Bs) y con un mantenimiento en esa temperatura hasta que haya una transformación total de la austenita.

Su microestructura es el producto de una reacción eutectoide no laminar, opuesta a la perlita (reacción eutectoide laminar). Como la transformación ocurre en una temperatura menor a la de la formación de perlita, pierde la característica laminar de esta y en su lugar se producen agujas entre las cuales se evidencian las dos fases anteriormente mencionadas.

Se puede clasificar en dos tipos que dependen básicamente del aspecto que presentan al ser analizadas bajo un microscopio y por el rango de temperaturas en la cual se forman.

6.1.1. Bainita superior

La bainita superior o plumosa, es la formada entre 350 y 550 °C, en ella la cementita está en forma de barras y no en placas. La ferrita y la cementita nuclean independientemente y el crecimiento de la bainita superior es controlado por el carbono presente en la austenita. El crecimiento de la ferrita y de la cementita es cooperativo, la primera repele o rechaza el carbono y la segunda lo recibe. Sin embargo esta estructura es demasiado fina para ser resoluble en el microscopio óptico; además, al atacarse químicamente se observa como material claro.

Si el acero presenta una cantidad suficiente de elementos aleantes retardadores de la formación de cementita (como silicio o aluminio), entonces la formación de carburos puede ser evitada por completo, de tal forma que se obtendría una

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

microestructura de bainita superior compuesta exclusivamente de ferrita bainítica y austenita retenida y enriquecida en carbono⁷.

6.1.2. Bainita inferior

La bainita inferior, se da ente el rango de temperatura de 250 °C y 350 °C. Debido a que la difusión del carbono es baja a esta temperatura, la cementita precipita en el interior de las placas de ferrita. Se observa al microscopio óptico en forma de placas oscuras.

6.2. FUNDICION

Dentro de los procesos de fundición podemos encontrar un sin número de clasificaciones que dependen de los porcentajes de la composición química final del material. Para este caso en específico trabajaremos con una fundición Fe-C en donde el contenido de C variara entre el rango de 0,25% y 0,6% clasificado como un acero medio carbono.

Más que fundición se podría llamar en mejor medida metalurgia del material puesto que la fundición busca el obtener un producto de una forma específica, y en la metalurgia los que realmente queremos obtener es una aleación adicionando al proceso minerales metálicos.

6.3. LAMINADO EN CALIENTE

Los productos laminados en caliente se obtienen de la disminución del espesor de una pieza metálica, mediante la aplicación de un proceso termomecánico, a altas temperaturas.

6.4. TRATAMIENTO ISOTERMICO

Se conoce como tratamiento térmico al conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad, presión, de los metales o las aleaciones en estado sólido, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la elasticidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono.⁸

⁷ Bibliografía [12]

⁸ Disponible en : [https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento t%C3%A9rmico](https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_t%C3%A9rmico)

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

7. METODOLOGIA

- Se recopilara información relacionada con aceros que presentan microestructura bainítica y toda clase de artículos, ensayos, monografías o tesis realizados que mencionen aceros aleados con silicio.
- Se viajara a la ciudad de Morelia en el estado Michoacán, México, donde se encuentra ubicado el Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales.
- Se iniciara este proceso calculando las proporciones de materiales necesarias para lograr la composición teórica, teniendo en cuenta los insumos con que dispone el laboratorio.
- Se realizara el proceso de fundición del material de estudio en un horno de inducción eléctrica con capacidad para 20Kg de material.
- Con una muestra del material en estado de colada, se realizara una prueba de difracción de rayos X para determinar la composición química.
- Se calcularan las temperaturas críticas para determinar cuál se empleara en el tratamiento isotérmico.
- Se cortaran los lingotes con la misma sección para el proceso de laminado en caliente.
- Después del proceso de laminación se colocaran los lingotes dentro de un baño de sales para realizar el tratamiento isotérmico.
- Una vez finalizado el proceso de tratamiento se le realizara la preparación metalográfica bajo la norma ASTM-3.
- Se tomaran las micrografías bajo el microscopio óptico a 50, 100, 200, 500 y 1000 aumentos.
- Se someterán todas las probetas a la prueba de difracción de rayos X.
- Luego se practicara el ensayo de dureza, realizando cinco indentaciones por probeta. Tomando valores tanto en Vickers como en HRC.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

- Por último se tomaran micrografías con el Microscopio electrónico de barrido.
- Se analizarán los valores obtenidos del material laminado contra los datos del material sin laminar, para de esta manera determinar las variaciones que se presentaron.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

N°	Actividades	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
		Semanas				Semanas				Semanas				Semanas			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Duración de la investigación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Entrega anteproyecto al proyecto curricular.	■															
3	Planeación del viaje (Trazado ruta de trabajo IIMM)		■	■	■	■	■	■	■	■	■						
4	Proceso de fundición y aplicación del tratamiento											■					
5	Preparación de probetas para practicas del laboratorio											■	■				
6	Pruebas metalográficas y prácticas de laboratorio											■	■	■			
7	Recopilación y análisis de datos													■	■		
8	Entrega de documento final																■

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

9. PRESUPUESTO

Presupuesto Total del Proyecto				
Item	Descripcion	N° de unidades	Valor unidad	Subtotal
1	Tiquete BOG-MEX / MEX-BOG	1	\$900.000	\$900.000
2	Gastos generales de estadía	1	\$650.000	\$650.000
3	Papelería en general.	-	\$2.150	\$25.000
Subtotal				\$1'750.000
Imprevistos	10% del total			\$175.000
Total Presupuesto				\$1'925.000

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

10. BIBLIOGRAFIA

1. ACEROS BAINÍTICOS AVANZADOS: MECANISMOS DE TRANSFORMACIÓN Y PROPIEDADES MECÁNICAS. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/21536/1/T34499.pdf>
2. BAINITE FORMATION IN MEDIUM-CARBON LOW-SILICON SPRING STEELS ACCOUNTING FOR CHEMICAL SEGREGATION. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11661-016-3418-6.pdf>
3. CHARACTERIZATION OF BAINITIC/MARTENSITIC STRUCTURES FORMED IN ISOTHERMAL TREATMENTS BELOW THE MS TEMPERATURE. Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S1044580317302917/1-s2.0-S1044580317302917-main.pdf?_tid=ec1d4d39-e0bc-4dc4-a17c-c2aaa3c1cf47&acdnat=1520725554_32bbeb2fb35813b9f3c445fa12e52c9b
4. DEVELOPMENT OF NEW HIGH-STRENGTH CARBIDE-FREE BAINITIC STEELS. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11661-011-0797-6.pdf>
5. DISEÑO DE NUEVOS ACEROS BAINITICOS. Disponible en: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/377/385>
6. ESTIMATION OF THE VOLUME PERCENT OF NORMAL AND NANOSTRUCTURED BAINITE IN BAINITIC STEELS. Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S2214785315001236/1-s2.0-S2214785315001236-main.pdf?_tid=244f0157-b22b-40b2-b62f-c2fd5ad6b554&acdnat=1520726787_34b6a9ecfbca2b1fb3908b9803d4a662
7. INFLUENCE OF SILICON ON THE MICROSTRUCTURES, MECHANICAL PROPERTIES AND STRETCH-FLANGEABILITY OF DUAL PHASE STEELS. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs12613-014-0968-8.pdf>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto Curricular de Mecánica

FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO
Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico

8. LA TRANSFORMACIÓN BAINÍTICA SIN FORMACIÓN DE CARBUROS EN ACEROS. Disponible en:
<http://eprints.ucm.es/7460/1/T29364.pdf>
9. OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO BAINÍTICO FE-0.32C-1.45SI-1.97MN-1.26CR-0.26MO-0.10V ALEADO CON BORO. Disponible en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/8940/1/291418.2011.pdf>
10. TRANSFORMACIÓN BAINÍTICA EN ALEACIONES FE-C. Disponible en:
<http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/download/497/473/0>
11. MICROSTRUCTURE DEVELOPMENT AND MECHANICAL PROPERTIES OF MEDIUM CARBON CARBIDE-FREE BAINITE STEELS. Disponible en:
https://ac.els-cdn.com/S1877705814014271/1-s2.0-S1877705814014271-main.pdf?_tid=0f20a309-400b-402f-94c6-a93a1b2d2062&acdnat=1520798817_013ce712fbcfbf241e738e18c752b1f64
12. METALOGRAFÍA, Revista digital para profesionales de la enseñanza. No 17 - Noviembre 2011
<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8732.pdf>