

**INFLUENCIA DE DIFERENTES TRATAMIENTOS TÉRMICOS A TEMPERATURAS
INTERCRÍTICAS Y CRIOGÉNICO EN LA RESISTENCIA AL IMPACTO Y DUREZA
DE UN ACERO AISI/SAE 5160**



GILBERTO MORA GUZMÁN 20152375017


CRISTIAN NIÑO MARTINEZ 20162375057

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

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):	Gilberto	
Apellido (s):	Mora Guzmán	
Código:	20152375017	
E-mail:	moragilberto01@gmail.com	
Teléfono fijo:	2211082	
Celular:	3197487301	
Ejecutor 2		
Nombre (s):	Cristian	
Apellido (s):	Niño Martínez	
Código:	20162375057	
E-mail:	cristiancolombia1@gmail.com	
Teléfono fijo:	7179189	
Celular:	3144936388	

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	INFLUENCIA DE DIFERENTES TRATAMIENTOS TÉRMICOS A TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y CRIOGENICO EN LA RESISTENCIA AL IMPACTO Y DUREZA DE UN ACERO AISI/SAE 5160	
Duración (estimada):		
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*:		
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:		
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Mecánica de materiales, Tratamientos térmicos	

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: (Profeso (Vo. Bo.))	Carlos Arturo Bohórquez Ávila

TABLA DE CONTENIDO:

1. IDENTIFICACIÓN

1.1 TÍTULO

1.2 INTRODUCCIÓN

2. ASPECTOS CIENTÍFICOS TÉCNICOS

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.2 ESTADO DEL ARTE

3. JUSTIFICACIÓN

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

5. MARCO TEÓRICO

5.1 METALES Y ALEACIONES

5.2 ACEROS DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO

5.3 ACERO 1020

5.4 TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN

6. PRESUPUESTO Y FUENTE DE FINANCIACIÓN

7. CRONOGRAMA

8. BIBLIOGRAFÍA

1. IDENTIFICACIÓN

1.1 TÍTULO

Influencia de diferentes tratamientos térmicos a temperaturas intercríticas y criogénico en la resistencia al impacto y dureza de un acero AISI/SAE 5160.

1.2 INTRODUCCIÓN

Durante la producción del acero, si lo consideramos simplemente como una aleación de hierro y carbono, se controla la concentración de cada uno de estos elementos para definir las propiedades mecánicas del acero terminado. Aun así al acero se agregan o contienen otros elementos producto del proceso de fabricación cuales tienen la finalidad de eliminar impurezas y refinar el acero pero no tiene mayor relevancia en afectar las propiedades mecánicas. Ahora consideremos el hecho de que se pueden mejorar las propiedades del acero si lo combinamos con otros elementos denominados elementos aleantes con los que tenemos considerables variaciones en las propiedades físicas y propiedades mecánicas las cuales se pueden manipular dependiendo de los elementos y las proporciones de estos en la aleación.

Adicional a la composición de cada acero se puede someter a una serie de tratamientos térmicos los cuales consisten en elevar la temperatura del material a temperatura intercríticas donde ocurre una recristalización del material o exponerlo a un ambiente con temperaturas subcero en las que su estructura interna cambia y variando el tiempo de permanencia y la velocidad de enfriamiento las propiedades mecánicas pueden mejorar dependiendo para su aplicación [1], para este proyecto se va a analizar el comportamiento de un acero aleado con presencia de cromo y manganeso. Frente a la exposición durante un tiempo controlado a temperaturas subcero, para posteriormente someter a pruebas mecánicas de dureza e impacto que nos permite evaluar su resistencia a la penetración, y la cantidad de energía que puede absorber en una colisión, como lo es la tenacidad conforma a la norma ASTM E23 para pruebas de impacto Charpy[2].

2. ASPECTOS CIENTÍFICOS TÉCNICOS

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los requerimientos de la industria respecto a aceros con gran tenacidad, resistencia a la fatiga y a la tracción como lo es el AISI/SAE 5160, son de gran demanda, porque son precisamente los más adecuados para la fabricación de resortes, por ejemplo en la industria automotriz es muy utilizado en la fabricación de ballestas y muelles helicoidales; o en el área de maquinaria se usa para cuchillas para corte en frío de metales o cuchillas para desbaste de madera, en general piezas sometidas a desgaste[3].

Este tipo de propiedades ya están implícitas con el hecho de tener elementos aleantes en el acero, en este caso un acero al cromo, pero pueden mejorarse a través de una serie de tratamientos térmicos, y se pueden afinar por medio de un tratamiento con temperaturas subcero o criogénia. Para lograr una mayor dureza en un acero es importante tener en cuenta que esta radica en la cantidad de carbono y la acomodación de estos átomos en la estructura cristalina final. Así tenemos que posterior a un tratamiento de temple, obtenemos martensita con una estructura BCT con excelentes valores de dureza, pero también obtenemos austenita retenida, lo cual no es bueno para el propósito de este material. A pesar de que la proporción de austenita retenida es del orden de un 25% aproximadamente hace que el material sea muy frágil y se vuelva fácilmente fragmentable.

El método para disminuir la Austenita retenida y por lo tanto maximizar la transformación a martensita, es realizar un enfriamiento rápido y a temperaturas muy bajas de tal modo que si visualizamos esta transformación en un diagrama TTT un enfriamiento rápido hace que la transformación no toque siquiera la curva de la zona perlítica y esto nos permite ir directamente a una transformación martensítica, pero si mantenemos el enfriamiento sólo hasta la temperatura ambiente la transformación no será completa y es allí donde interviene el tratamiento con temperaturas subcero para

finalmente obtener un mínimo de austenita retenida y evitar los problemas que su presencia conlleva en el acero una vez bonificado[4].

2.2 ESTADO DEL ARTE

Los principios de los tratamientos criogénicos datan 1930 por el fabricante de aeronaves y motores alemán Junkers que experimentó con el uso de las temperaturas subcero para el tratamiento de alguno de los componentes más críticos de sus aviones. A comienzos de los años 40, una compañía de cuchillos de Massachusetts implementó también este proceso en la fabricación de sus productos. También hay noticias del uso de la criogenización durante la Segunda Guerra Mundial sobre todo tipo de componentes de maquinaria y vehículos para mejorar su resistencia al desgaste y para el año 1960 en el cual Edward Bush empezó a estudiar los beneficios que trae exponer los aceros a temperaturas bajas por tiempos prolongados logrando una mejor estabilidad en el acero. Luego el señor Bush dio a conocer y comparte su conocimiento con el doctor Randall Barron de la Universidad de Luisiana los cuales fueron pioneros en la investigación en toda clase de materiales dando grandes descubrimiento en el estudio de superconductores. [5]

Actualmente para los procesos de criogenización de metales los dos elementos más usados son nitrógeno líquido (LIN) y el dióxido de carbono (CO₂) son agentes refrigerantes que se utilizan por ser productos naturales que tienen un impacto ambiental nulo durante la aplicación. El hecho de que los dos gases sean inertes elimina el riesgo de incendio o explosión, y dado que el punto de ebullición del LIN es bajo (-196°C) y el punto de sublimación del CO₂ es bajo (-78,5°C). Esto permite una transferencia de calor a gran escala en un breve periodo de tiempo [6].

Dentro de los tratamientos con temperaturas bajo cero o de refrigeración sobre materiales se distinguen tres tipos básicos de tratamiento que dependen de la temperatura a la cual es sometido el material, el cual puede ser metálico, plástico y hasta materiales compuestos.

Cuando el material sometido a temperaturas del orden de los 10 – 20°C bajo cero se dice que se hace un tratamiento bajo cero superficial (shallow treatment). Si el material experimenta temperaturas entre los 70 – 100°C bajo cero, se dice que el material está siendo expuesto a un tratamiento intermedio (middle). Por último, si las temperaturas con las que se está tratando el material son del orden de los 200°C bajo cero se dice que se hace un tratamiento profundo (deep treatment), el cual también es llamado tratamiento criogénico [7].

Durante los últimos tiempos se han puesto a prueba múltiples aleaciones con diferentes tiempos de permanencia bajo las temperaturas mencionadas evaluando y comparando la propiedades mecánicas obtenidas. Se destaca que algunos elementos sometidos a este tipo de tratamiento presentan una mejor resistencia al desgaste [8], convirtiéndolo en una buena alternativa para la industria.

Este tipo de tratamiento cambia tanto la composición de la microestructura como también realiza la distribución de esfuerzos residuales posterior a algunos tratamientos térmicos que presentan esfuerzos residuales a la compresión, mejorando su desempeño mecánico [9].

Durante mucho tiempo se creía que la criogenización únicamente era útil para aquellos aceros que tras el temple no transformaban toda la austenita en martensita. Esta creencia se basaba en el hecho demostrado de que en algunos aceros, la temperatura final de transformación de la martensita es menor que la temperatura ambiente, y un tratamiento subcero motivaba la finalización de este proceso de conversión (en el caso del acero AISI D2, dicha temperatura de finalización es de -125°C pero estudios posteriores demostraron que un tratamiento de criogenización a temperaturas de -196°C seguía modificando y mejorando determinadas propiedades mecánicas del material. Además, la transformación de la austenita retenida en martensita es un proceso que no necesita de la permanencia a bajas temperaturas durante mucho tiempo y, en cambio, cuando se dejaba el material a temperaturas de -196°C durante un periodo de 24 horas[10], se observaba un aumento de capacidad que no podía explicarse tan solo con la transformación de la austenita retenida antes mencionada.

Se han adelantado estudios sobre el efecto de someter un acero con una composición química similar al AISI/SAE 5160 y sometidos a tratamientos térmicos convencionales incluyendo la exposición durante un periodo determinado a una temperatura subcero, las cuales fueron sometidas a pruebas de deflexión y fatiga, dando como resultado que las propiedades mecánicas son superiores y hay una reducción en la propagación de las grietas como lo da a conocer el Ingeniero David Granados en su tesis Doctoral. [11]

3. JUSTIFICACIÓN

Al realizar este proyecto se pretende evaluar el comportamiento y ampliar el conocimiento sobre los aceros con diversos elementos aleantes, particularmente del acero AISI/SAE 5160 al ser sometido a distintos tratamientos térmicos, incluyendo el uso de técnicas de enfriamiento a temperaturas subcero, para determinar el cambio en sus propiedades durante los distintos momentos del tratamiento y realizar una comparativa entre los datos obtenidos a través de pruebas mecánicas de laboratorio y de análisis microestructurales.

Esto con el fin de entregar un documento con información importante como precedente para futuras investigaciones con este tipo de acero que es de uso frecuente en la industria tanto automotriz, como de procesos de producción; además del hecho que los datos obtenidos también pueden ser aprovechados no sólo en el campo académico sino también para aplicarse en procesos industriales que coincidan con la necesidad de un material con propiedades mecánicas equiparables a las de nuestro acero.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de diferentes tratamientos térmicos a temperaturas intercríticas, combinado con un tratamiento criogénico en la resistencia al impacto y dureza de un acero AISI/SAE 5160.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir la secuencia de tiempos y temperaturas en el acero AISI/SAE 5160 para realizar el tratamiento térmico y criogénico.
- Realizar un análisis metalográfico y micrografía electrónica de barrido de los resultados obtenidos en el material luego de llevar a cabo los tratamientos para observar el comportamiento del material ante los tratamientos térmicos aplicados.
- Realizar pruebas de dureza y de impacto para determinar la influencia de los tratamientos térmicos en las propiedades del material.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 METALES Y ALEACIONES

Los metales y aleaciones poseen muchas propiedades útiles, por lo que representan gran aplicación en los diseños de ingeniería. El hierro y sus aleaciones (principalmente el acero) suponen aproximadamente el noventa por ciento de la producción mundial de metales, fundamentalmente por la combinación de buena resistencia, tenacidad y ductilidad a un coste relativamente bajo. Cada metal tiene propiedades especiales para su uso en diseños de ingeniería y su elección resulta del análisis comparativo de costos con otros metales y materiales

5.2 TRATAMIENTO TÉRMICO

El Tratamiento Térmico involucra varios procesos de calentamiento y enfriamiento para efectuar cambios estructurales en un material, los cuales modifican sus propiedades mecánicas. El objetivo de los tratamientos térmicos es proporcionar a los materiales unas propiedades específicas adecuadas para su conformación o uso final. No modifican la composición química de los materiales, pero si otros factores tales como los constituyentes estructurales y la granulometría, y como consecuencia las propiedades mecánicas. Se pueden realizar Tratamientos Térmicos sobre una parte ó la totalidad de la pieza en uno o varios pasos de la secuencia de manufactura. En algunos casos, el tratamiento se aplica antes del proceso de formado (recocido para ablandar el metal y ayudar a formarlo más fácilmente mientras se encuentra caliente). En otros casos, se usa para aliviar los efectos del endurecimiento por deformación. Finalmente, se puede realizar al final de la secuencia de manufactura para lograr resistencia y dureza. Entre los tratamientos térmicos más usados se tiene:

- Temple: El temple tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia de los aceros. Para ello, se calienta en general el acero a una temperatura ligeramente más elevada

que la crítica superior y se enfría luego más o menos rápidamente (según la composición y el tamaño de la pieza) en un medio conveniente, agua, aceite, etc.

- Revenido: Es un tratamiento que se da a las piezas de acero que han sido previamente templadas. Con este tratamiento, que consiste en un calentamiento a temperatura inferior la crítica, se disminuye la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, quedando el acero con la dureza o resistencia deseada.

5.3 TRATAMIENTOS SUB-CERO

Son aquellos que involucran “frío” , en los que las temperaturas son muy bajas en relación a la temperatura ambiente, los cuales tienen el objetivo de modificar la microestructura, aliviar tensiones residuales, modular la precipitación de partículas de segunda fase o completar las transformaciones martensíticas. Dentro de este tipo de tratamientos, pueden encontrarse distintas clases, dependiendo de la temperatura a la que se vaya a utilizar, también se puede conseguir un aumento de dureza, un refinamiento en la distribución de carburos y lograr un alivio en las tensiones residuales. En los tratamientos térmicos con criogenia se emplean etapas de enfriamiento a temperaturas muy por debajo de la temperatura ambiente y usualmente se utilizan como complemento de los tratamientos térmicos que se utilizan tradicionalmente para mejorar las propiedades mecánicas del material.

5.4 ACERO AISI/SAE 5160

Es un acero aleado al cromo para temple de alta dureza y mediana templabilidad caracterizado por su gran tenacidad, alta resistencia a la fatiga y a la tracción debido a sus componentes elevados de carbono, cromo y manganeso. Utilizado en la industria automotriz en la fabricación de muelles helicoidales, ballestas para automóvil y ferrocarril, árboles de transmisión, barras de torsión, cuchillas para corte en frío de metal, placas de presión para piezas de extrusión, cinceles, bielas, rotores de turbinas, piezas sometidas al desgaste.

Propiedades mecánicas:

Dureza: 293 HB

Esfuerzo de fluencia: 600 MPa

Esfuerzo máximo: 970 MPa

Elongación: 20%

Reducción de área: 50%

Maquinabilidad: 45% en estado recocido

Composición Química:

0.56 – 0.64 % C

0.75 – 1.00 % Mn

0.035 % P máx

0.040 % S máx

0.15 – 0.35 % Si

0.70 – 0.90 % Cr

6. PRESUPUESTO Y FUENTE DE FINANCIACIÓN

El presente proyecto tendrá una duración aproximada de cuatro meses, la financiación económica del proyecto corre por parte de los ejecutores. Cabe aclarar que los costos de los materiales y procesos que se van a utilizar son estimaciones basadas en cotizaciones de distintas fuentes y están sujetos a modificaciones.

Elemento	Costo (\$)
Acero AISI/SAE 5160	\$107600
Mecanizado y preparación de probetas	\$135000
Alquiler Cámara criogénica	\$145000
Temple	N/A
Revenido	N/A
Corte transversal en cortadora metalográfica	\$ 20.000*
Micrografía en microscopio electrónico	\$ 160.000*
Estudio de componentes	\$150.000
Papelería, Impresiones	\$ 100.000
Costo Total	\$ 667.000

7. CRONOGRAMA

FASE	TAREAS	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
FASE DOCUMENTAL	Recopilación de información.	X				
	Definición del problema. Planteamiento de Objetivos.	X				
FASE EXPERIMENTAL	Compra del acero.		X			
	Búsqueda en laboratorios de la facultad para establecer capacidad para ataque de probetas, micrografías y cortes con la cortadora metalográfica		X			

	Búsqueda de posible laboratorio para espectrometría		X			
	Elaboración de los tratamientos térmicos			X		
FASE DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Elaboración de pruebas de dureza y micrografías			X		
	Recopilación y análisis de resultados				X	
	Posibles modificaciones y correcciones a los datos finales obtenidos				X	
FASE DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS FINALES	Desarrollo del documento con las conclusiones					X

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] Universidad de Santiago de Chile “Evolución histórica metalografía” capítulo 3 pag 91 2014.

[2] American National Standard “Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials ASTM E23” recuperado [http://mhriau.ac.ir/_DouranPortal/Documents/ASTM%20E23%20\(impact%20test\)_2016_0406_233024.pdf](http://mhriau.ac.ir/_DouranPortal/Documents/ASTM%20E23%20(impact%20test)_2016_0406_233024.pdf). Septiembre.2007

[3] Aceroscol S.A.S. “Producto SAE 5160” Recuperado de <http://www.aceroscol.com/?p=b10403>, Mar. 2018.

[4] Loaiza. Dilan, Ruiz Freddy. “EFECTO DEL TRATAMIENTO CRIOGENICO EN LA RESISTENCIA AL IMPACTO Y LA MICROESTRUCTURA DE UN ACERO A572” Universidad Distrital, Facultad Tecnológica , 2017.

[5] Calaf Chica José “PASADO Y FUTURO DE LA CRIOGENIZACIÓN DE LOS MATERIALES” Universidad de Burgos , diciembre 2016.

[6] Abello linde “Gases industriales para enfriamiento rapido y criogenización” Linde España marzo 2018 recuperado de http://www.abellolinde.es/es/processes/freezing_and_cooling/rapid_cooling.

[7] S. Kalia, “Cryogenic processing: A study of materials at low temperatures,” J. Low Temp. Phys., vol. 158, no. 5–6, pp. 934–945, Nov. 2010.

[8] K. Amini, A. Akhbarizadeh y S. Javdapour, «Investigating the effect of quenchenvironment and deep cryogenic treatment on the wear behavior of AZ91,» Materialsand Design, vol. 54, pp. 164-160, 2014.

[9] A. Bensely, S. Venkatesh, D. Mohan lal, G. Nagarajan, A. Rajadurai y K. Junik,«Effect of cryogenic treatment on distribution of residual stress in case carburized EN 353 steel,» Materials Science & Engineering, vol. 479, pp. 229-235, 2008.

[10] R. W. Thornton, “Investigating the effects of cryogenic processing on the wear performance and microstructure of engineering materials”, Thesis, University o Sheffield, 2014.

[11] Granados Juan ,“*Comparación de la tenacidad de fractura y la ratade crecimiento de grietas por fatiga, para el aceroAISI SAE 5160H, entre la condición de bonificadotradicional y la de bonificado incluyendotemperaturas bajo cero.*”, Universidad Nacional de Colombia, Facultad Ingeniería. 2016.