

Bogotá D.C. Junio 01 de 2015

SEÑORES

CONSEJO CURRICULAR

Proyecto Curricular de Ingeniería Mecánica

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá

Ref. Aclaración propuesta de grado

Con la presente reciban un cordial saludo señores (as) miembros del consejo curricular.

En cumplimiento del reglamento interno de la facultad para la elaboración de trabajos de grado me permito presentar mi anteproyecto titulado: INFLUENCIA DEL TIEMPO DE REVENIDO EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DE UN ACERO AISI 1020 TEMPLADO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y REVENIDO, además, con la presente me permito aclarar que este proyecto plantea una gran diferencia en cuanto al proyecto ya aprobado para un estudiante de tecnología mecánica, ya que contempla la influencia del tiempo del tratamiento térmico de revenido del material AISI SAE 1020 templado, lo cual modifica su estructura cristalina, permitiéndome así obtener resultados propios.

Cordialmente,

---

LUIS ALBERTO POVEDA CORTES

Código: 20132375009

Revisado por:

---

CARLOS ARTURO BOHÓRQUEZ

Ingeniero mecánico

Bogotá D.C. Junio 01 de 2015

SEÑORES

CONSEJO CURRICULAR

Proyecto Curricular de Ingeniería Mecánica

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá

Ref. Presentación Anteproyecto Final

Con la presente reciban un cordial saludo señores (as) miembros del consejo curricular.

En cumplimiento del reglamento interno de la facultad para la elaboración de trabajos de grado me permito presentar mi anteproyecto titulado: **INFLUENCIA DEL TIEMPO DE REVENIDO EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DE UN ACERO AISI 1020 TEMPLADO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y REVENIDO**, además, con la presente solicito la asignación de un tutor, de preferencia el Ing. Carlos Bohórquez, el cual ya está enterado del proyecto para su desarrollo.

Cordialmente,

---

LUIS ALBERTO POVEDA CORTES

Código: 20132375009

Revisado por:

---

CARLOS ARTURO BOHÓRQUEZ

Ingeniero mecánico

UNIVERSIDAD DISTRITAL “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS” - FACULTAD TECNOLÓGICA		
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA		
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
N° DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
<b>Ejecutor 1</b>		
Nombre (s):	Luis Alberto	
Apellido (s):	Poveda Cortes	
Código:	20132375009	
E-mail:	<a href="mailto:luispoveda91@gmail.com">luispoveda91@gmail.com</a>	
Teléfono fijo:	NA	
Celular:	3142723933	
<b>INFORMACIÓN DEL PROYECTO</b>		
Título del Proyecto:	INFLUENCIA DEL TIEMPO DE REVENIDO EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DE UN ACERO AISI 1020 TEMPLADO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y REVENIDO	
Duración (estimada):	2 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una “x”)	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	
	Otro	X
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyecto Científico	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular:	Diseño en ingeniería mecánica	
Grupo de Investigación:	NA	
Proyecto de Investigación:	NA	
Áreas del conocimiento que involucra:	Mecánica de Materiales y Sólidos	
<b>INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA</b>		
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**

**INFLUENCIA DEL TIEMPO DE REVENIDO EN LA RESISTENCIA AL  
DESGASTE ABRASIVO DE UN ACERO AISI 1020 TEMPLADO DESDE  
TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y REVENIDO**

**ANTEPROYECTO DE INGENIERIA MECANICA  
TECNOLOGÍA MECÁNICA**

**LUIS ALBERTO POVEDA CORTES**

**Luispoveda91@gmail.com**

**DIRECTOR: ING. CARLOS BOHORQUEZ.  
[INGCARLOSBOHORQUEZ@GMAIL.COM](mailto:INGCARLOSBOHORQUEZ@GMAIL.COM)**

## Tabla de contenido

1.	Planteamiento del problema .....	9
1.1	Estado del arte .....	11
1.1.1	Influencia de la microestructura en el comportamiento a desgaste abrasivo evaluado bajo norma ASTM G65 de depósitos de soldadura antidesgaste aplicados sobre sustratos de acero de baja aleación y bajo carbono [2] .....	11
1.1.2	Aceros de construcción de propiedades especiales. [3] .....	12
1.1.3	Propiedades mecánicas y caracterización Microestructural de diferentes aceros dual-phase [4] .....	12
1.1.4	Efecto del tratamiento térmico de desestabilización en el desgaste de hierros blancos de alto cromo [5] .....	14
1.1.5	Análisis del Desgaste Para el Par Bronce -Acero en un Molino de Caña de Azúcar. [6] ....	14
1.1.6	Resistencia al Desgaste Abrasivo de Acero con Bajas Concentraciones de Carbono mediante Borización [7] .....	15
1.1.7	Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera [8] .....	15
1.2	Justificación.....	17
2	Objetivos .....	18
2.1	Objetivo general .....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3	Marco teórico .....	19
3.1	Tratamiento térmico de temple. ....	19
3.2	Revenido en aceros templados .....	22
3.3	Transformación Martensítica .....	23
3.4	Materiales Dual Phase (DP) .....	25
3.5	Desgaste abrasivo en aceros .....	27
4	<b>Metodología</b> .....	29
5	<b>Cronograma</b> .....	30
6	Presupuesto y fuentes de financiación.....	32
6.1	Costo estimado.....	32
6.1.1	Recursos humanos.....	32
6.1.2	Recursos de tratamientos térmicos .....	32

6.1.3 Recursos de ensayo desgaste abrasivo y pruebas de comparación.....	33
6.1.4. Insumos, fungibles y gastos .....	33
6.1.5 Resumen de costos .....	34
7. Bibliografía .....	35

## Índice de tablas

Tabla 1 Valores de severidad de temple H para 3 medios de enfriamiento. [11] .....	21
Tabla 2 Velocidades de enfriamiento para una barra de acero inox templada desde 815F enfriada en varios medios [11] .....	22
Tabla 3 Cronograma de actividades. Fuente: elaboración propia .....	31
Tabla 4 Costo recursos humanos. Fuente: Elaboración Propia.....	32
Tabla 5 Costo recursos de tratamientos térmicos. Fuente: elaboración propia .....	32
Tabla 6 Costo recursos de ensayo desgaste abrasivo y pruebas de comparación. Fuente: elaboración propia .....	33
Tabla 7 Costo insumos, fungibles y gastos. Fuente: elaboración propia .....	33
Tabla 8 Resumen costos proyecto. Fuente: elaboración propia.....	34

## Índice de Figuras

Figura 1 Desarrollo de la martensita en una aleación de Fe con 1.8% de Carbono en peso, al enfriar. [1] .....	9
Figura 2 Relación entre el tamaño de grano, en % de C y diámetro crítico real. [2] .....	20
Figura 3 Procedimiento para los tratamientos de temple y revenido .....	22
Figura 4 Variación de la dureza en función de la temperatura de revenido. [12] .....	23
Figura 5 Estructura tetragonal centrada en el cuerpo con los átomos de carbono de la martensita .....	24
Figura 6 Matriz ferrítica con islotes de martensita .....	26
Figura 7 Rango de valores de resistencia vs su porcentaje de elongación .....	26
Figura 8 Desgaste abrasivo a) de los cuerpos y b) de tres cuerpos [16] .....	28
Figura 9 Desgaste abrasivo en función de la relación de dureza del sistema tribológico [17] .....	28



## 1. Planteamiento del problema

Los aceros estructurales han experimentado una creciente mejora en sus propiedades como respuesta a las altas exigencias que el mercado requiere. Equilibrar la elevada calidad de los productos con la factibilidad de su fabricación es el desafío de la industria siderúrgica actual. Los materiales pertenecientes a la familia de los HSLA (High Strength Low Alloys) han sido ampliamente demandados en los últimos años debido al creciente interés en reducir el peso de las estructuras sin comprometer su resistencia mecánica; en esta categoría se encuentran los aceros Dual Phase (DP), cuya microestructura, consistente en ferrita y martensita y eventualmente bainita, que les confiere una alta razón entre el esfuerzo máximo a la tracción y el límite de fluencia (UTS/YS).

El desgaste es una de las principales formas en el que el acero se debilita, ya que al entrar en contacto con otro material pierde masa, obligando al debilitamiento de las paredes y ocasionando el 75% de fallas según el análisis de los sistemas mecánicos. Existen diferentes tipos de desgaste, a saber: fatiga, abrasión, erosión, corrosión, frotación, deslizamiento, vibraciones e impacto. Se deduce fácilmente que para aumentar la vida útil de un equipo se debe disminuir el desgaste al mínimo posible, para ello se han utilizado los tratamientos térmicos en el acero para cambiar las propiedades y mejorarlas de tal manera que la resistencia al desgaste aumente.

Dentro de las múltiples opciones de tratamientos térmicos evaluados se encuentran el temple, que según la ASM, es el enfriamiento rápido del acero desde una temperatura elevada, generalmente se utilizan medios de enfriamiento como el agua, el aceite, sales o el aire comprimido. Como resultado del temple, las partes deben desarrollar una microestructura aceptablemente dura (generalmente martensita, ver figura 1),

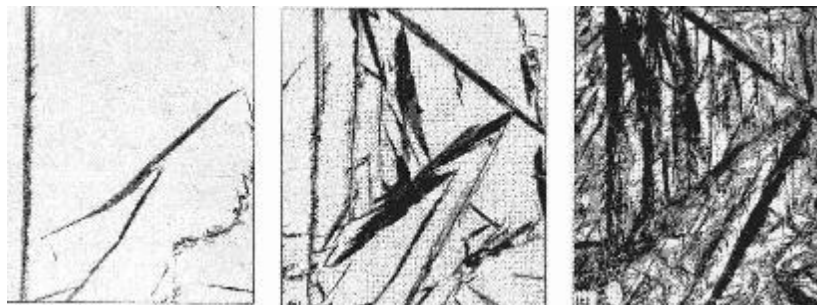


Figura 1 Desarrollo de la martensita en una aleación de Fe con 1.8% de Carbono en peso, al enfriar. [1]

Llama la atención entonces, que los tratamientos térmicos son el medio para alcanzar en los aceros las propiedades necesarias, bien sea para aumentar o disminuir una característica en particular, en este caso el desgaste, ya que la estructura martensítica obtenida a partir del temple es muy dura y frágil, pero no solo el temple es suficiente para determinar si es o no viable el material en una aplicación, mediante el revenido es posible aumentar significativamente su resistencia al impacto, aun cuando se disminuye la dureza. El revenido es otro tratamiento capaz de llevar la microestructura a una forma que permita el óptimo comportamiento del acero según la aplicación, consiste en calentar una pieza templada por períodos del orden de 1 a 3 horas a temperaturas menores que la de austenización, se incluyen variables afectadas con el revenido, temperatura, tiempo de permanencia a la temperatura y velocidad de calentamiento y enfriamiento<sup>1</sup>.

El tiempo del revenido de un acero determina lo fino y duro de la estructura, ya que a temperaturas altas, pero por debajo de la temperatura de austenización, se obtiene una estructura de grano grueso, además, el revenido consigue también eliminar, o por lo menos disminuir, las tensiones internas del material producidas a consecuencia del temple. Por lo anterior, este proyecto plantea variar el tiempo en el que se somete un material como el acero AISI 1020 en el tratamiento térmico de revenido para evaluar la influencia que tiene este en la resistencia al desgaste con una prueba según la norma ASTM G65-04

Ahora bien, otro problema que plantea solucionar este proyecto es el cómo afectara el tiempo del revenido la resistencia al desgaste de un acero AISI 1020, ya que el análisis por otros tipos de ensayos no determina este comportamiento, por ejemplo, en la evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera realizado en Medellín<sup>2</sup>, concluye que al momento de evaluar la resistencia, la dureza no es un parámetro incuestionable, puesto que pequeñas variaciones en dureza llevaron a cambios muy grandes en pérdidas de masa por abrasión. Por otra parte, el contenido de carbono en el material tiene la mayor influencia en la determinación de la resistencia al desgaste, pues condiciona de manera especial la microestructura de las capas, según un estudio<sup>3</sup> llevado a cabo con tres recubrimientos.

Sobre las bases de las ideas expuestas, se pretende usar la tribología como medio para evaluar la influencia del tiempo de revenido en el desgaste abrasivo de un acero AISI 1020 templado desde temperaturas intercríticas.

---

<sup>1</sup> <http://www.monografias.com/trabajos87/aspectos-tener-presente-revenido-aceros/aspectos-tener-presente-revenido-aceros.shtml#elrevenida#ixzz3aACoo5St>

<sup>2</sup> Gutiérrez J, León M, Mesa D, Toro A, Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera. Medellín. 2004.

<sup>3</sup> Sakihama J, Fosca C. Estudio de la Resistencia a la abrasión de bajo esfuerzo según ASTM G65 de tres recubrimientos duros aplicados mediante soldadura. Metalurgia, Materiales y Soldadura. N° 9 Marzo 2007.

## 1.1 Estado del arte

El proceso de búsqueda de información fue efectuado en la red, en un motor de búsqueda confiable como lo es google académico, bajo las referencias “*desgaste abrasivo en aceros*”, “*desgaste abrasivo en aceros AISI 1020*”, “*resistencia al desgaste abrasivo en aceros dual phase*” y similares, encontrándose allí artículos y trabajos de grado, en cuanto a los temas se refiere.

La información recolectada fue estudiada de tal manera que se incluyan en este trabajo los textos más representativos sobre la temática propuesta, dando como resultado la aparición de los siguientes puntos.

1.1.1 Influencia de la microestructura en el comportamiento a desgaste abrasivo evaluado bajo norma ASTM G65 de depósitos de soldadura antidesgaste aplicados sobre sustratos de acero de baja aleación y bajo carbono [2]

Año de publicación: 2011

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Bogotá D.C. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ingeniería – Materiales y Procesos.

Autor: Jaime Andrés Pérez Cepeda

En la reconstrucción de piezas de maquinarias es esencial el poder determinar la mejor opción en cuanto a material depositado por soldadura para recuperación de geometrías perdidas se refiere. El presente trabajo se desarrolló para mejorar las aplicaciones de recubrimientos duros y material de relleno para la reconstrucción de “sprockets”, pero que se pueda extrapolar al uso en industrias de diferente tipo. Se tomaron en cuenta tres (3) factores, material depositado, temperatura de precalentamiento y de sostenimiento y número de pases depositados, que afectan las características finales de los recubrimientos duros aplicados por soldadura. Los resultados obtenidos de la aplicación del ensayo de desgaste fueron pérdida en peso y en milímetros cúbicos (mm<sup>3</sup>) del material, lo cual brindó la resistencia al desgaste de cada una de las capas depositadas. Tomando la probeta que más se acercó al promedio obtenido del anterior ensayo, se cortó para caracterizarla microestructuralmente, tomar mediciones de microdureza en zona cercana a la cara de desgaste, analizar la superficie por microscopía SEM, medir la composición química en la capa desgastada, medir el porcentaje de poros en última capa, medir la rugosidad superficial en zona de desgaste y determinar su estructura por difracción de rayos X. Los recubrimientos obtenidos en electrodos con altos contenidos de

cromo mostraron las mejores propiedades antidesgaste, seguidos de los recubrimientos aplicados con electrodos con contenidos de manganeso del 15% y los recubrimientos aplicados con electrodos de bajo carbono y bajas y medias aleaciones mostraron los resultados más bajos según las condiciones de laboratorio aplicadas.

### 1.1.2 Aceros de construcción de propiedades especiales. [3]

Año de publicación: noviembre 2007

Documento extraído de: 8º congreso iberoamericano de ingeniería mecánica. Cusco, 23 a 25 de Octubre del 2007

Departamento de Ingeniería Universidad de Monterrey,

Morones Prieto 4500 San Pedro Garza García, N.L., México.

El problema siempre actual en caso del acero como un material de construcción es la pregunta: ¿Cómo llegar a alta resistencia y buena deformabilidad al mismo tiempo? Aumentando los elementos de aleación especialmente de carbono, sube la resistencia mecánica del acero pero se pierden las propiedades plásticas del material. Antes para la carrocería de autos se aplicaba acero al bajo carbono sin elementos de aleación, lo que si cumplía con buena deformabilidad, pero tenía baja resistencia mecánica, factor que hacía que en esos casos los ingenieros tuvieran que aumentar el grosor de la lámina y consecuentemente el peso de la estructura. En los últimos años se han elaborado varios tipos de aceros que conjuntan éstas propiedades de plasticidad y alta resistencia. Éstos son los aceros HSLA, TRIP y aceros de doble-fase. Varias compañías automotrices, entre ellas Toyota, ya fabrican chasises en sus automóviles con 30% de más resistencia y disminución de peso.

En la ponencia se presentarán las últimas novedades en el diseño de aceros de propiedades especiales, de alta resistencia, deformabilidad y excelente soldabilidad, que sobrepasan a otros tipos de aceros, lo que es el futuro en la aplicación de aceros de construcción.

### 1.1.3 Propiedades mecánicas y caracterización Microestructural de diferentes aceros dual-phase [4]

Año de publicación: noviembre de 2008

Documento extraído de: Estudio realizado en Argentina por parte del Laboratorio de Soldadura, Centro de Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial y el Laboratorio de Materiales y Estructuras, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Autores: Hernán Lorusso, Alejandro Burgueño, Hernán G. Svoboda.

En los últimos años, la industria automotriz ha promovido numerosos desarrollos de nuevos aceros vinculados con la disminución de peso y aumento de la seguridad de vehículos. En este sentido los Aceros de Alta Resistencia Avanzados (AHSS) son una de las familias de nuevos materiales que han presentado mayor interés. Estos nuevos materiales han surgido como respuesta a los crecientes requerimientos relacionados a los materiales empleados en la industria automotriz en componentes estructurales. Dentro de estos requerimientos se encuentran una mayor resistencia, capacidad de absorción de energía y complejidad de las partes, entre otros. Los aceros Dual Phase (DP) forman parte de los AHSS y consisten en una matriz ferrítica con fracciones variables de una segunda fase martensítica, en forma de “islas”. Estos aceros de última generación se aplican en partes estructurales presentando una alta resistencia mecánica del orden de 600 a 1000 MPa, manteniendo muy buena conformabilidad. Sin embargo existen diversos materiales base (aceros microaleados, aceros de grano ultrafino, aceros al CMn, etc) a partir de los cuales pueden obtenerse dichos aceros DP, siendo escasos los estudios sistemáticos realizados al respecto. El objetivo del presente trabajo es estudiar las transformaciones de fase y las propiedades mecánicas de aceros DP, obtenidos a partir de chapa fina de diferentes materiales: acero al C-Mn, acero microaleado al Ti-Nb y acero microaleado al Nb.

Se estudiaron tres aceros en chapa fina de 1 mm de espesor, dos de ellos microaleados y uno convencional al C-Mn. Se determinó la composición química los tres materiales base a emplear y se analizaron las transformaciones de fase mediante dilatometría (DA), para cada caso, determinándose las temperaturas críticas superior e inferior. Se realizaron barridos de tratamientos térmicos en el rango de temperaturas AC1-AC3 para obtener diferentes grados de aceros DP, en función de la fracción de martensita transformada, para cada material base. Se realizó la caracterización microestructural mediante microscopía óptica (LM) y electrónica de barrido (SEM), realizándose la cuantificación microestructural.

Se determinó la microdureza Vickers (HV) y se obtuvieron las propiedades en tracción, para cada caso. A partir de los resultados obtenidos se discutió el efecto del material base en la evolución microestructural y en las propiedades mecánicas de los aceros DP obtenidos, analizando los mecanismos involucrados en cada caso. Las mejores propiedades se obtuvieron para los aceros DP obtenidos a partir de acero microaleados.

Este hecho estaría asociado al menor tamaño de grano ferrítico y a la más fina dispersión de la fase martensítica.

#### 1.1.4 Efecto del tratamiento térmico de desestabilización en el desgaste de hierros blancos de alto cromo [5]

Año de publicación: 2010

Grupo de Integridad Estructural: Universidad de los Andes; Facultad de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia.

Autores: Iván R. Morales, Wilson A. Hormaza, Luís M. Méndez.

La resistencia a la abrasión de hierros fundidos de alto cromo puede ser mejorada mediante la aplicación de tratamientos térmicos específicos que favorezcan tanto la transformación de austenita en martensita, como la precipitación de carburos secundarios. En esta investigación se estudió, mediante microscopía óptica, el efecto de la temperatura de desestabilización entre 900o C y 1050o C para una aleación 26Cr2.5C2Mo de hierro blanco. La resistencia a la abrasión fue medida en términos de la pérdida de masa durante un ensayo de desgaste abrasivo según norma ASTM G65. La resistencia a la abrasión de las muestras mejoró al ser tratada térmicamente mediante un proceso de desestabilización a una temperatura determinada, para la cual el tamaño de los carburos secundarios y la dureza superficial se optimizó.

#### 1.1.5 Análisis del Desgaste Para el Par Bronce -Acero en un Molino de Caña de Azúcar. [6]

Año de publicación: 2004

Escuela de Ingeniería Mecánica – Facultad de Ingeniería - Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

Autor: John Jairo Coronado Marín

Los ejes y las chumaceras de molino de caña de azúcar sufren excesivo desgaste en condiciones normales de operación. En este estudio se efectuaron observaciones metalográficas y de microscopía electrónica de barrido para identificar el mecanismo de desgaste del par bronce-acero.

Se encontró que las marcas dejadas sobre la superficie del eje por partículas abrasivas, disminuyen su resistencia a la fatiga y favorecen el crecimiento de fisuras superficiales. Las fisuras se propagan en forma de fisuras semilípticas o circunferenciales. El sobrecalentamiento de las chumaceras produce segregación y fusión del plomo presente en el bronce, permitiendo la formación y propagación de las fisuras.

### 1.1.6 Resistencia al Desgaste Abrasivo de Acero con Bajas Concentraciones de Carbono mediante Borización [7]

Año de publicación: 2006

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica

Para realizar el tratamiento se dispuso de un contenedor en donde se introduce la mezcla de borizado y el acero. La mezcla de borizado es colocada alrededor del acero. El contenedor es calentado a alta temperatura, alrededor de los 1000°C y luego enfriado a temperatura ambiente por un tiempo determinado, por lo general en un rango de entre 1 a 8 horas.

La temperatura de tratamiento aplicada se encuentra en un rango de 1223 y 1323K y la duración en un rango de 2 y 8 h. Los test de abrasión a las probetas fueron realizadas usando un aparato de rueda de goma, conforme al estándar ASTM-G65, funcionando a una velocidad en la periferia de 2 - 2.5 m/s y con una fuerza contra las muestras de 130 N, la arena de cuarzo (200  $\mu$ m) fue usado como el agente abrasivo. La pérdida de masa de las probetas fue medida cada 60 s.

Luego de estudiar el borizado en una variedad de aceros, en los cuales se han modificado las temperaturas aplicadas, los tiempos de enfriado y además se han comparado propiedades, se puede concluir que todos los aceros utilizados pueden ser borizados satisfactoriamente con una mezcla de bórax y SiC a una temperatura de 1273K, la mayor microdureza registrada en todos los aceros fue 2000 HV0,1, el carbono posee baja solubilidad a la capa borizada, por tanto a mayor concentración de carbono menor será el grosor de la capa.

De todos los aceros el SAE 1020 fue el que mostró mayor resistencia abrasiva, y esto se debe principalmente a que el acero SAE 1020 posee menor concentración de carbono comparado con las otras muestras.

### 1.1.7 Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera [8]

Año de publicación: 2004

Publicado por: Scientia et Technica, No 25, Agosto 2004. UTP. ISSN 0122-1701

Fue estudiada la resistencia al desgaste abrasivo de dos recubrimientos duros de alto Cr y alto W, usados como protección en la industria minera. Los recubrimientos fueron aplicados en una sola capa sobre un substrato de acero estructural AISI A36, mediante soldadura eléctrica SMAW. El recubrimiento RFeCrA1, aplicado con soldadura oxiacetilénica, fue usado como material de comparación debido a su

elevada resistencia a la abrasión. La resistencia al desgaste se evaluó en máquina de arena seca y rueda de caucho mediante el procedimiento A de la norma ASTM G65.

Las superficies desgastadas fueron analizadas con ayuda de microscopía óptica y electrónica y los resultados mostraron que la mayor resistencia al desgaste abrasivo se obtuvo con recubrimientos cuya microestructura está compuesta por carburos primarios de tipo (Fe, Cr)  $7C_3$  y matriz eutéctica, mientras que en muestras donde se observó austenita pro-eutéctica la pérdida de masa fue mayor. El recubrimientos tipo Fe-W-C, en cuya microestructura se observaron carburos de tipo WC, presentó también elevada resistencia al desgaste debido a la dureza y capacidad de deformación de la estructura.



## 1.2 Justificación

Esta propuesta pretende analizar la relación entre la resistencia al desgaste del acero AISI 1020 y la variación en el tiempo del tratamiento térmico de revenido del mismo, porque esta variable cambia las características del material, determina lo fino y duro de la estructura, ya que a temperaturas altas, se obtiene una estructura de grano grueso, además, el revenido consigue también eliminar, o por lo menos disminuir, las tensiones internas del material producidas a consecuencia del temple.

Debido al desarrollo de la industria demanda materiales que en su funcionamiento tengan mejores comportamientos en cuanto a desgaste se refiere, ya que se pueden aprovechar de una mejor manera en áreas como la automotriz para reducir la concentración de material, reduciendo así el peso y por ende el consumo de combustible.

Así mismo, se hace necesaria la evaluación de esta propiedad en aceros dual phase más usados comúnmente, como el acero AISI 1020, debido a que los análisis están enfocados hacia los recubrimientos para endurecer las capas externas, pero si bien es cierto, la mejor manera de aprovechar un material es modificando su estructura interna puesto que los enlaces estructurales se verán reflejados en todo el material.

Finalmente, la pérdida volumétrica mostrara la diferencia entre el material comercial y el tratado térmicamente a temple, a una temperatura y condición dada, y lo más importante son las condiciones y la variación en el tiempo en el tratamiento de revenido; esta pérdida se evaluará bajo la norma ASTM G65-04.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Establecer la influencia del tiempo de revenido en la resistencia al desgaste abrasivo de un acero AISI 1020 templado desde temperaturas anticríticas y revenido, bajo la norma ASTM G-65.

### 2.2 Objetivos específicos

- Especificar la secuencia de tiempos y temperaturas de tratamiento para el acero AISI 1020 y el número de ensayos bajo criterios estadísticos.
- Realizar ensayo por desgaste abrasivo a las probetas de acuerdo a la norma ASTM G-65.
- Establecer la influencia del tiempo de revenido en la resistencia al desgaste del acero AISI 1020

### 3 Marco teórico

En esta sección se presentara información técnica y teórica necesaria para el óptimo desarrollo de este proyecto relacionada con tratamientos térmicos de temple y revenido, revenido en aceros templados, desgaste abrasivo en aceros, ensayo por desgaste abrasivo según la norma G65-04, influencia de la martensita presente en el acero y materiales dual phase.

#### 3.1 Tratamiento térmico de temple.

Los tratamientos térmicos se pueden definir como aquellos procesos por medio de los cuales se pueden obtener las propiedades deseadas (y estas dependen a la vez de la microestructura y del tipo de material), en una pieza con ayuda de la temperatura y de una velocidad de enfriamiento adecuada de las piezas.

Los tratamientos térmicos se pueden clasificar en: a) convencionales y b) termoquímicos, los primeros a la vez se pueden clasificar (en dependencia de la forma como se obtiene las diferentes microestructuras durante el enfriamiento), en: tratamientos con enfriamiento continuo o con enfriamiento isotérmico. Los tratamientos termoquímicos en general son llamados tratamientos térmicos superficiales. Otro tipo de tratamiento, el cual busca la precipitación de partículas duras en el acero es conocido como envejecimiento.

Para el entendimiento de los tratamientos térmicos, es indispensable comprender una serie de conceptos como: fases, microestructuras, transformaciones de fase, termodinámica de las transformaciones, cinética, variables de control, medios de enfriamiento, poder templante, severidad de temple, templabilidad, temperatura de austenización, etc. Algunos de estos conceptos serán tratados brevemente a continuación.

La templabilidad de un acero 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 en un acero depende de:

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

Los factores que afectan la templabilidad del acero se pueden establecer de la siguiente manera:

El tamaño de grano de la austenita: Un grano muy fino tiene mucha área de límite de grano que facilita la nucleación de ferrita y perlita, disminuyendo la templabilidad del acero. Por otra parte, un grano grande de austenita no es deseable porque reduce la ductilidad final del acero y aumenta la tendencia al agrietamiento en el temple, así pues, no es buena práctica hacer crecer el grano austenítico.

El contenido de carbono: Un incremento del contenido de C en un acero aumenta fuertemente su dureza y su templabilidad. Sin embargo, un alto % de C no siempre es deseable, por eso, una alternativa para aumentar la dureza de un acero de bajo C es añadir

elementos de aleación. La relación entre el %C, el tamaño del grano de la austenita y el  $D_i$ , se muestra en la Figura 2.

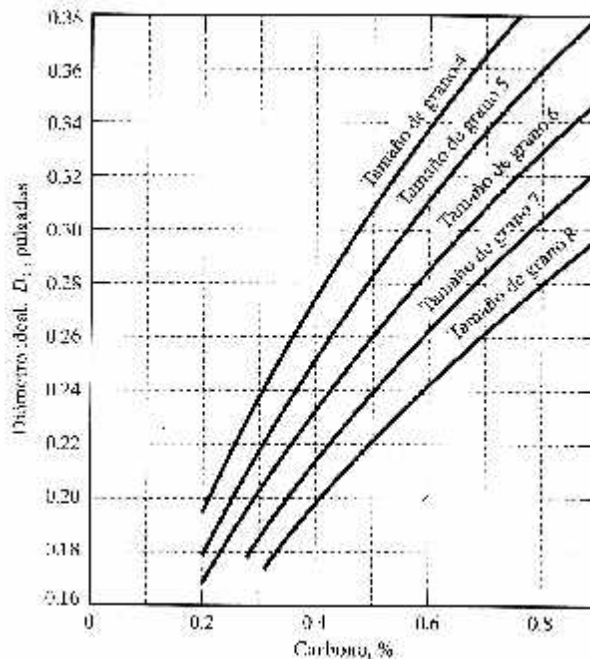


Figura 2 Relación entre el tamaño de grano, en % de C y diámetro crítico real. [2]

Durante el temple de los aceros se originan tensiones que pueden llegar a jugar un papel importante en el tratamiento, pudiendo incluso originar distorsiones y generar grietas en la pieza templada. Las tensiones surgen a consecuencia de dos fenómenos distintos:

Tensiones ténnicas y tensiones por cambio de fase.

El desarrollo de tensiones de origen ténnico se puede esquematizar con sencillez en el curso del enfriamiento de una pieza cilíndrica, que inicialmente se encuentra a una temperatura uniforme  $T_H$ , siendo  $T_1$  la temperatura del medio de temple y al introducir la pieza en el medio refrigerante, su superficie se enfría hasta  $T_1$  y debería contraerse, sin embargo, el centro de la pieza se encuentra todavía a la temperatura  $T_H$ , generando así una contracción, pero en este caso se considera que es una deformación elástica.[9]

Por el contrario, cuando en el curso del enfriamiento, la superficie de la pieza se encuentra a una temperatura  $T_1$  y el centro está todavía a la temperatura  $T_H$ , se supone que las tensiones internas generadas son suficientes para inducir una cierta deformación plástica (puede ocurrir tanto en la superficie como en el centro), la región central se contraerá y la superficial se expandirá, produciéndose de este modo una relajación de las tensiones internas. En el enfriamiento posterior de la región central y dado que la deformación plástica es irreversible, aparecerán tensiones de tracción en el centro y de compresión en periferia.

Un factor importante dentro de este tratamiento térmico es el medio para el temple y su temperatura, ya que generalmente, conforme la temperatura del medio aumenta, la rapidez

de enfriamiento disminuye, lo cual se debe al aumento en persistencia de la etapa de la capa de vapor. Como el medio está más cercano a su punto de ebullición, se necesita menos calor para formar la película de vapor. Esto es particularmente cierto en agua y salmuera; sin embargo, las cantidades para la Gulf super-quench (Líquido de temple, Gulf a 23°C) en la tabla 1 muestran un incremento en la rapidez de enfriamiento, con un aumento en la temperatura del medio lo cual parece contrastar con la proposición anterior.

Valores típicos de H			
	Medios de temple		
Agitación	Aceite	Agua	Salmuera
Ninguna	0,25-0,30	0,90-1,0	2
Moderada	0,35-0,40	1,2-1,3	
Fuerte	0,5-0,8	1,0-2,0	5

Tabla 1 Valores de severidad de temple H para 3 medios de enfriamiento. [11]

En el caso del aceite, hay dos factores opuestos a considerar. Conforme la temperatura del aceite aumenta, hay una tendencia a que la rapidez de enfriamiento disminuya, debido a la persistencia de la película de vapor; sin embargo, conforme la temperatura del aceite aumenta, también se hace más fluido, lo cual incrementa la rapidez de conducción del calor a través del líquido. Lo que sucede a la rapidez de enfriamiento lo determina el factor que ejerce la mayor influencia. Si el incremento en la rapidez de conducción de calor es mayor que el decremento debido a la persistencia de la película de vapor, el resultado neto será un aumento en la rapidez real de enfriamiento como en el caso de la Gulf super quench-. Sin embargo, si lo contrario es cierto, entonces el resultado neto será un decremento en la rapidez real de enfriamiento como lo indican las cantidades para aceite lento.

Las rapidezces óptimas de enfriamiento se obtienen con aceites de temple convencionales en baños a temperaturas entre 49 y 65.5°C. Para prevenir un aumento de temperatura en el medio durante el temple, siempre es necesario proporcionar suficiente volumen del medio. En algunos casos, se insertan serpentines de enfriamiento en el tanque de temple, para controlar la temperatura del medio. La rapidez de enfriamiento puede mejorarse y la temperatura del medio mantenerse constante por circulación del medio y agitación de la pieza. Esto quita efectivamente la película de vapor tan rápidamente como la forma, reduce la longitud de la etapa de la capa de vapor, y resulta un enfriamiento más rápido. La tabla 2 muestra la severidad del temple, en relación con agua inmóvil, a la cual se da el valor de 1.0, para varias condiciones de temple. [10]

BAÑO	Velocidad a 704°F, °C/seg		Velocidad a 649°F, °C/seg		Velocidad media 676-482°F, °C/seg	
	75°	125°	75°	125°	75°	125° ;
-Salmuera (10%)	212	164.4	212	180	292.1	159
-Agua de grifo	112	25.5	124	65	122	97.7
-Gulf super-quenche	44.4	47.2	94.5	100	75	76
-Aceite lento	20	17.8	16.7	14.4	21.6	24.4
-10% de aceite soluble, -90% de agua	20	16.7	20	16.7	18.9	15.5
-Aire inmóvil	2.8	---	2.2	---	1.6	---
Sal fundida (a 400° F)	90		72.2		36.7	

Tabla 2 Velocidades de enfriamiento para una barra de acero inox templada desde 815F enfriada en varios medios [11]

### 3.2 Revenido en aceros templados

La estructura martensítica obtenida por temple es muy dura y frágil. Mediante el revenido es posible aumentar significativamente su resistencia al impacto, aun cuando se disminuye la dureza.

El revenido consiste en calentar una pieza templada por períodos del orden de 1 a 3 horas a temperaturas menores que la de austenitización. Como se muestra en la Figura 3, primero se calienta el acero a una temperatura levemente superior a la de austenitización A3 o Acm, luego es enfriado rápidamente, de modo que no se corte la nariz de las curvas TTT, para formar una estructura martensítica. Posteriormente, el acero es recalentado a una temperatura inferior a A1 para obtener la dureza deseada.

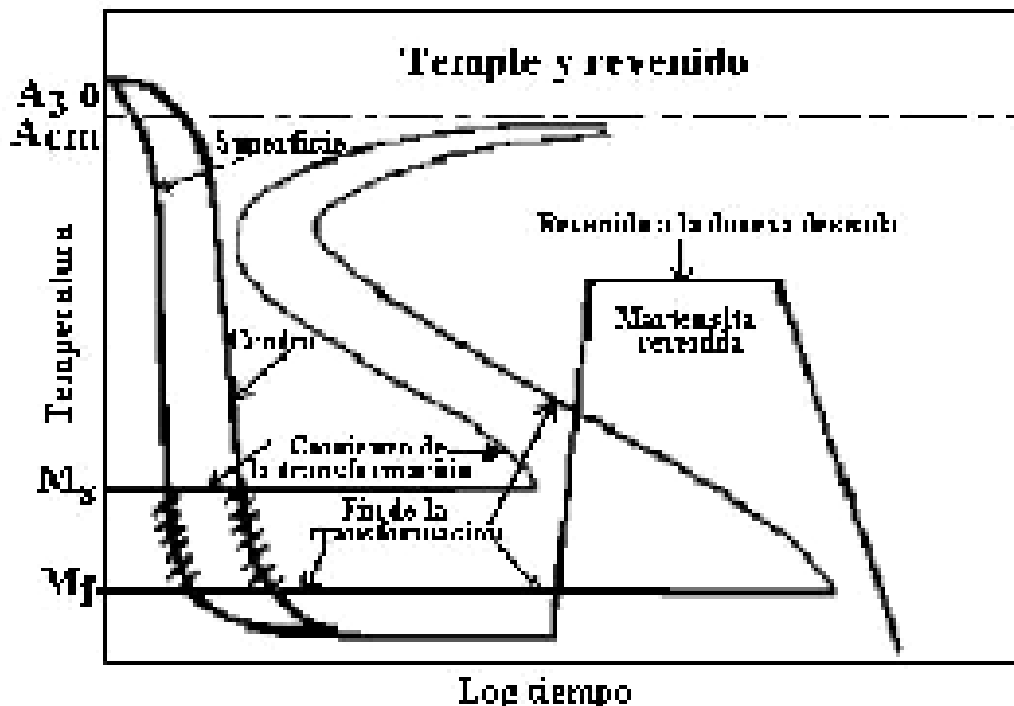


Figura 3 Procedimiento para los tratamientos de temple y revenido

Procedimiento para los tratamientos de temple y revenido

La Figura 4 muestra la disminución de dureza en aceros revenidos a diferentes temperaturas. Se debe notar que en aceros de alto carbono revenidos a baja temperatura aumenta en algo la dureza, esto se explica por los cambios microestructurales que se producen con el revenido, lo que se detallará a continuación.

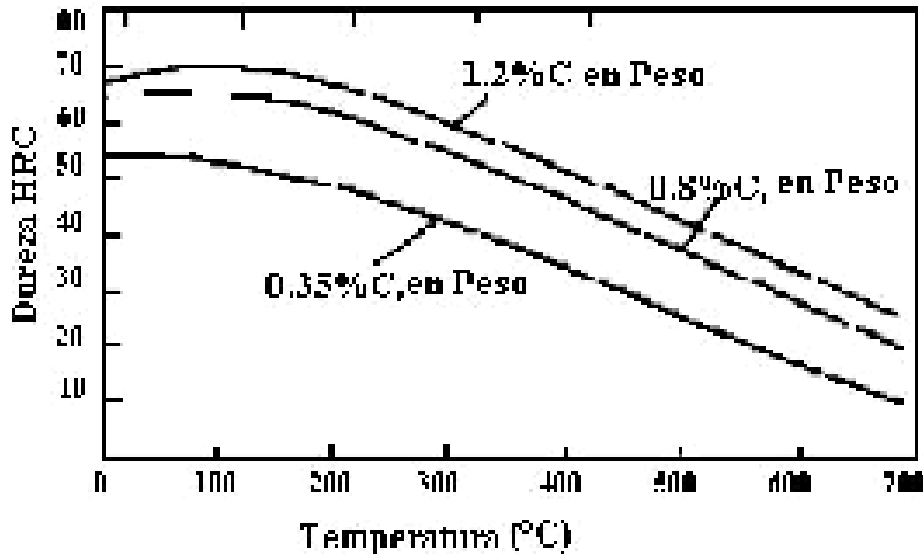


Figura 4 Variación de la dureza en función de la temperatura de revenido. [12]

Además, durante el proceso de revenido ocurren cambios microestructurales o etapas debidos a reacciones en estado sólido. Las reacciones más importantes son:

- Segregación de átomos de C
- Precipitación de carburos
- Descomposición de la austenita retenida
- Recuperación y recristalización de la matriz ferrítica y formación de cementita globular

Pero, no todas estas reacciones ocurren en los diferentes materiales tratados a la misma temperatura y en el mismo período de tiempo. Muchas de ellas suceden simultáneamente, esto determina que las microestructuras resultantes sean muy complejas.

### 3.3 Transformación Martensítica

Si se enfría rápidamente la austenita a una velocidad mayor que la velocidad crítica de temple (menor velocidad a la que se impide la formación de las estructuras perlitobainíticas) la transformación de la austenita tiene lugar por debajo de los 250°C. La estructura que se forma como consecuencia de la citada transformación se denomina martensita (es la microestructura más dura y frágil de los aceros) y el enfriamiento rápido con el que se realiza el anterior fenómeno se denomina temple.

De otro modo, 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, véase la Figura 5, donde las posiciones intersticiales x e y están vacías).

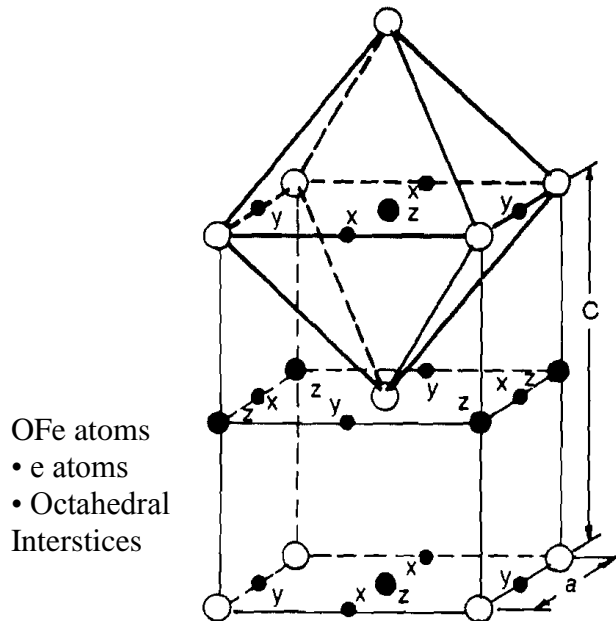


Figura 5 Estructura tetragonal centrada en el cuerpo con los átomos de carbono de la martensita

Cuanto mayor es el contenido en carbono de la martensita, un mayor número de lugares intersticiales son ocupados y, consecuentemente, la tetragonalidad de la celda aumenta, la distorsión que produce el carbono en la estructura martensítica se cuantifica de la siguiente forma:  $c/a = 1 + 0.045 \%C$ , de tal modo que una martensita sin carbono tiene la misma estructura que la ferrita (la extrapolación a carbono cero del parámetro reticular de la martensita coincide con el parámetro de la ferrita).

La transformación martensítica no es una transformación que tiene lugar por nucleación y crecimiento, sino que presenta unas características propias, que se citan a continuación:

- En virtud de la práctica ausencia de difusión en estado sólido por las bajas temperaturas a la que tiene lugar, la transformación martensítica no altera su composición química de las fases que intervienen: la composición química de la martensita es la misma que la de la austenita de la que procede. De este modo, el cambio estructural producido por la transformación ocurre por cizalladura gracias a pequeños movimientos atómicos.

- La transformación martensítica no depende del tiempo sino solo de la temperatura. Enfriada la austenita por debajo de la temperatura a la que esta transformación comienza a producirse, ésta tiene lugar instantáneamente (la formación de placas individuales de martensita ocurre en tiempos del orden de los  $10^{-7}$  s) y no progresa aunque mantengamos constante la temperatura durante largos periodos de tiempo.



- La transformación de la austenita en martensita tiene lugar con un aumento de volumen que depende ligeramente del contenido en carbono del acero, pero que en términos generales se sitúa en torno al 4%. Una consecuencia de esta característica es la creación de un fuerte campo local de tensiones residuales, que puede, en algunos casos, llegar a producir el agrietamiento del acero.

- La cantidad de austenita transformada en martensita aumenta al disminuir la temperatura. Se denomina  $M_s$  a la temperatura a la que se inicia esta transformación y  $M_f$  es la temperatura a la que toda la austenita se ha transformado en martensita. Estas temperaturas dependen casi exclusivamente de la composición química del acero: cualquier elemento químico, a excepción del cobalto y aluminio, disminuyen la temperatura  $M_s$ , pero la influencia de los elementos intersticiales (carbono y nitrógeno) es mucho mayor. La fórmula de Andrews (1965) es la más utilizada a la hora de estimar la temperatura  $M_s$  de un acero:

$$M_s (OC) = 539 - 423C - 30Mn - 17.7Ni - 12.1Cr - 7.5Mo$$

Por otro lado, la transformación martensítica es función del grado de subenfriamiento,  $\Delta T$ , por debajo de la temperatura  $M_s'$  (Una temperatura por debajo de la que comienza la martensita). Al aplicar estas fórmulas a un acero aleado de alto contenido en carbono veríamos que su temperatura  $M_e$  es inferior a la temperatura ambiente, de modo que tras el temple del acero quedará una cierta fracción de austenita no transformada (austenita residual) a no ser que se realice un temple subcero, que consiste en un enfriamiento por debajo de la temperatura ambiente hasta alcanzar la temperatura  $M_e$  del acero.

### 3.4 Materiales Dual Phase (DP)

Estos aceros poseen una matriz ferrítica con islotes de martensita como se muestra en la figura 6. Se pueden obtener altos valores de resistencia según la cantidad de martensita presente. Los aceros son fabricados con un alto control en el enfriamiento de la austenita para posteriormente transformar esta en martensita, aunque dependiendo del proceso de fabricación pueden mejorar por la aparición de bainita. El recocido al que es sometido va a ser clave en estos aceros ya que de ahí se obtendrá la fase más dura. La figura 7 muestra el rango de valores de resistencia que posee comparado con su porcentaje de elongación. El efecto de endurecimiento incrementa el valor del límite elástico con una elevada temperatura de envejecimiento. [13]

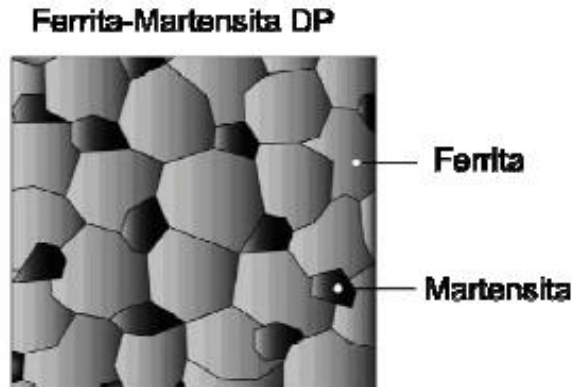


Figura 6 Matriz ferrítica con islotes de martensita

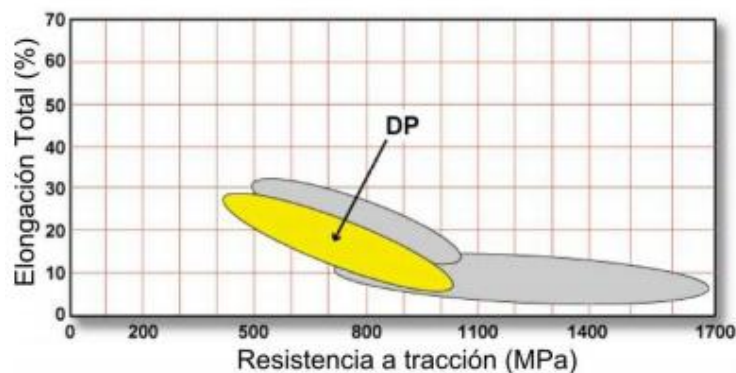


Figura 7 Rango de valores de resistencia vs su porcentaje de elongación

En los DP elementos como el manganeso, el cromo, el molibdeno, vanadio y níquel ayudan a la formación de la martensita. Fuente: International Iron and steel institute Esta capacidad dual da los materiales una muy buena conformabilidad, ya que coexiste una fase blanda como la ferrita y una dura como la martensita. El proceso de endurecimiento por cocción va a dotar a estos materiales de una mayor resistencia como consecuencia de la aparición de compuestos intermetálicos.

En estos aceros se transforma la mayoría de la matriz en martensita durante el proceso de templado conteniendo pequeñas cantidades de bainita y ferrita. Son los que mayor resistencia mecánica poseen alcanzando valores de hasta incluso 1700 MPa. En frecuente someterles a un post calentamiento para reducir su fragilidad y aumentar su conformabilidad ya que de esta forma aumentamos su ductilidad. En estos aceros el carbono es el encargado del aumento de la resistencia mecánica, aunque elementos como el Mn, Si, Cr... pueden aumentar también esta característica. La fabricación es similar a la de los CP pero interviene una química más ajustada para producir una menor austenita retenida y formar precipitados.

En comparación con los aceros convencionales la elección del diseño de una herramienta y de una matriz puede ser muy diferente. En el caso de los aceros convencionales la geometría de la pieza conformada es muy similar a la del útil y matriz de conformación, para los nuevos aceros esto varía y deben configurarse según el acero y según las herramientas de conformado. Un buen método para este tipo de diseños es el acompañado por los programa de elementos finitos que nos darán cierta información de los springbacks y de las tensiones de los útiles.

### 3.5 Desgaste abrasivo en aceros

El desgaste abrasivo definido por la ASTM, se debe a las partículas duras o a las protuberancias duras que son forzadas a moverse en contra y a lo largo de una superficie sólida. Desgaste, también se puede definir como un daño a una superficie compacta que implica generalmente la pérdida progresiva de material y se debe al movimiento relativo entre esa superficie y una sustancia o varias que entran en contacto con esta, ocurriendo así en ambas superficies.

Este fenómeno al igual que la corrosión y la fatiga, es una de las formas más importantes de degradación de piezas, elementos mecánicos y equipos industriales. Este fenómeno se manifiesta por lo general en las superficies de los materiales, llegando a afectar la sub-superficie. El resultado del desgaste, es la pérdida de material y la subsiguiente disminución de las dimensiones y por tanto la pérdida de tolerancias. Los mecanismos de daño en los materiales se deben principalmente a deformación plástica, formación y propagación de grietas, corrosión y/o desgaste Desde que el desgaste comenzó a ser un tópico importante y que necesitaba ser estudiado y entendido, comenzaron a aparecer en los libros de diseño y en la mente de los diseñadores, ideas sencillas de cómo prevenirlo o combatirlo, entre esas ideas se tienen:

1. Mantener baja la presión de contacto
2. Mantener baja la velocidad de deslizamiento
3. Mantener lisas las superficies de rodamientos
4. Usar materiales duros
5. Asegurar bajos coeficientes de fricción
6. Usar lubricantes

Existen varios tipos de desgaste; a saber: por fatiga de contacto, abrasivo, por cavitación, adhesivo, erosivo y erosivo-corrosión, por fretting, y finalmente por deslizamiento. La diferencia entre desgaste abrasivo y desgaste por deslizamiento es el “grado de desgaste” entre los cuerpos involucrados (mayor en el desgaste abrasivo), ya sea por la naturaleza, tipo de material, composición química, o por la configuración geométrica.

Como se muestra en la figura 8, existen básicamente de los tipos de desgaste abrasivo, estos son: desgaste abrasivo de los cuerpos o de tres cuerpos. En abrasión de los cuerpos, el desgaste es causado por rugosidades duras pertenecientes a una de las superficies en contacto, mientras que la abrasión a tres cuerpos, el desgaste es provocado por partículas duras sueltas entre las superficies que se encuentran en movimiento relativo. Como ejemplo

de desgaste abrasivo a dos cuerpos, se tiene un taladro penetrando una roca, mientras que a tres cuerpos se puede citar el desgaste sufrido por las mandíbulas de una trituradora al quebrar la roca, o por la presencia de partículas contaminantes en un aceite que sirve para lubricar de los superficies en contacto deslizante.[16]

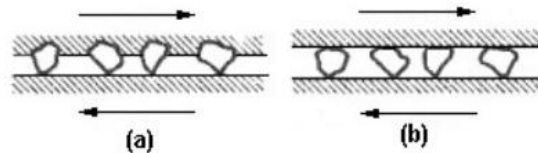


Figura 8 Desgaste abrasivo a) de los cuerpos y b) de tres cuerpos [16]

Ahora bien, de acuerdo con lo afirmado por Wahl y Wellinger<sup>4</sup>, el desgaste abrasivo puede ocurrir a un alto o bajo nivel dependiendo de la relación entre la dureza del abrasivo y la de la superficie desgastada. En la figura 9 se muestra, para un material homogéneo y otro no homogéneo de igual dureza, la transición entre desgaste de bajo y alto nivel.

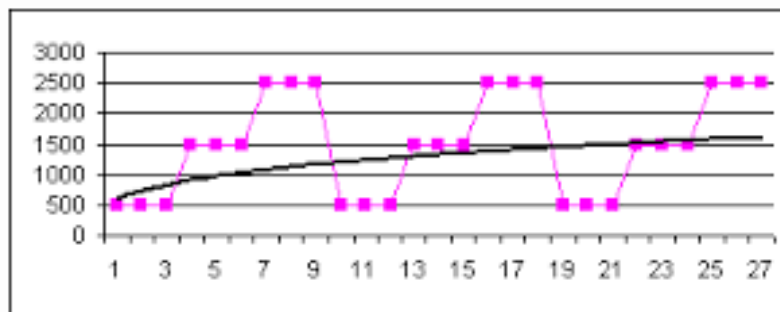


Figura 9 Desgaste abrasivo en función de la relación de dureza del sistema tribológico [17]

En la figura 9, el no homogéneo representa un acero cuya matriz incluye carburos. El aumento del bajo al alto nivel de desgaste ocurre en el material homogéneo cuando la dureza del abrasivo es igual a la de la superficie desgastada. La transición de bajo a alto nivel en los materiales no homogéneos empieza y termina cuando la dureza de la matriz y la dureza de la fase dura (carburos) es excedida por la dureza del abrasivo.

En base a lo anterior, los abrasivos podrían subdividirse según el efecto que causen en: abrasivos duros y abrasivos blandos [18]

<sup>4</sup> H. Wahl, Verschlei problema im Braunkohlenbergbau, Braunkohle. Warme und Energie 3 (5/6) (1951) p75-87. En ZUM GAHR, Karl. Microstructure and wear of materials. Amsterdam: Elsevier Science. 1987. P94

## 4 Metodología

El proceso de realización del proyecto se llevara a cabo siguiendo unos pasos a proponer para la documentación, diseño y manipulación del sistema que se dan a continuación.



## **5 Cronograma**

A continuación se presenta una tabla con una duración estimada de las actividades que se van a llevar a cabo en el proyecto. El proyecto tendrá una duración de ocho semanas, divididas en 6 fases, cada una con sus actividades y el tiempo en semanas utilizado para ejecutarlas.

FASE	ACTIVIDAD	DURACION ESTIMADA EN SEMANAS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
<b>RECOPIACION</b>	Informacion	■							
	Estudio de metodos								
	Evaluacion de proyectos similares								
<b>ESPECIFICACIONES</b>	Temperatura Temple		■						
	Tiempo de temple		■						
	Temperatura Revenido		■						
	Tiempo de revenido		■						
	Cantidad de probetas		■						
	Dimensiones de probetas		■						
<b>TRATAMIENTOS</b>	Temple			■					
	Revenido			■					
<b>ENSAYO DESGASTE</b>	Preparacion de probetas				■	■			
	Ensayo desgaste abrasivo				■	■			
<b>COMPARACION</b>	Perdida de masa					■	■	■	
	Metalografico					■	■	■	
<b>FINANCIACION</b>	Estudio financiero								■
	Analisis y resultados								■

Tabla 3 Cronograma de actividades. Fuente: elaboración propia

## 6 Presupuesto y fuentes de financiación

### 6.1 Costo estimado.

#### 6.1.1 Recursos humanos

- Tutor: profesor de planta de la Universidad Distrital encargado de seguir el desarrollo del proyecto y de guiar al desarrollador. También se encarga de corregir los documentos.
- Desarrollador: Encargado de ejecutar el proyecto, siguiendo las guías del tutor. Genera la documentación.

Se estima un promedio de 10 horas por semana para el desarrollador y dos horas por semana para el supervisor

Recurso	Coste por hora	Horas dedicadas	Costo total	Fuente de financiación
Supervisor	\$ 40.000	16	\$ 640.000	Universidad Distrital F.J.C.
Desarrollador	\$ 15.000	240	\$ 3.600.000	Desarrollador
			<b>Total</b>	<b>\$ 4.240.000</b>

Tabla 4 Costo recursos humanos. Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.2 Recursos de tratamientos térmicos

Corresponde a los equipos y otros elementos físicos que se usaran durante el proyecto, se estima su costo según su duración estimada del proyecto.

Recurso	Costo	Vida Útil (meses)	Tiempo de uso (meses)	Costo total	Fuente de financiación
Mufla	\$ 7.500.000	60	1	\$ 125.000	Universidad Distrital F.J.C.
Consumo energético	\$ 1.000.000	indeterminado	1	\$ 100.000	Universidad Distrital F.J.C.
				<b>Total</b>	<b>\$ 225.000</b>

Tabla 5 Costo recursos de tratamientos térmicos. Fuente: elaboración propia



### 6.1.3 Recursos de ensayo desgaste abrasivo y pruebas de comparación

Corresponde a los equipos que se utilizaran durante el desarrollo del proyecto en la fase de ensayo por desgaste abrasivo, se estima su costo según su la duración estimada del proyecto.

Recurso	Costo	Vida Útil (meses)	Tiempo de uso (meses)	Costo total	Fuente de financiación
Maquina desgaste abrasivo ASME G65	\$ 1.000.000	48	1	\$ 40.000	Universidad Distrital F.J.C.
Microscopio electrónico de barrido	\$ 3.000.000	60	1	\$ 600.000	Universidad Distrital F.J.C.
Balanza electrónica digital	\$ 300.000	12	1	\$ 35.000	Universidad Distrital F.J.C.
Costos energéticos totales	\$ 250.000	indeterminado	1	\$ 250.000	Universidad Distrital F.J.C.
				<b>Total</b>	<b>\$ 925.000</b>

Tabla 6 Costo recursos de ensayo desgaste abrasivo y pruebas de comparación. Fuente: elaboración propia

### 6.1.4. Insumos, fungibles y gastos

Corresponden a gastos requeridos para la ejecución del proyecto con la duración estimada del mismo.

Recurso	Costo mes	Tiempo de uso (meses)	Costo total	Fuente de financiación
Libros	\$ 10.000	2	\$ 20.000	Desarrollador
Transportes	\$ 80.000	2	\$ 160.000	Desarrollador
Servicios públicos, energía e internet	\$ 50.000	2	\$ 100.000	Desarrollador y Universidad Distrital F.J.C
			<b>Total</b>	<b>\$ 280.000</b>

Tabla 7 Costo insumos, fungibles y gastos. Fuente: elaboración propia

### 6.1.5 Resumen de costos

Se presenta la tabla con el resumen de los costos del proyecto en la tabla siguiente:

Recurso	FUENTE DE FINANCIACION		Total
	Desarrollador	Universidad Distrital F.J.C.	
Humano	\$ 3.600.000	\$ 640.000	\$ 4.240.000
Tratamientos térmicos	\$ NA	\$ 225.000	\$ 225.000
Ensayo desgaste abrasivo y comparaciones	\$ NA	\$ 925.000	\$ 925.000
Fungibles, insumos y gastos	\$ 180.000	\$ 100.000	\$ 280.000
<b>Total</b>	<b>\$ 3.780.000</b>	<b>\$ 1.890.000</b>	<b>\$ 5.670.000</b>
<b>%</b>	<b>66%</b>	<b>33%</b>	<b>100%</b>

Tabla 8 Resumen costos proyecto. Fuente: elaboración propia

Los valores consignados en las tablas de presupuesto son datos sacados en promedio de información dada por la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas y sus laboratorios de mecánica e igualmente de los precios del mercado a la fecha.

El costo total del proyecto es de \$5.670.000, divididos en los ítems más influyentes como son el recurso humano, tratamientos térmicos, ensayo por desgaste abrasivo y las comparaciones realizadas en el material AISI SAE 1020, y finalmente, los fungibles, costos y gastos.

## 7. Bibliografía

- [1]. ASM HANDBOOK Vol 9. .Metallography and Microstructures. United States of America. 9 ed. ASM International, 1998. 775 p.
- [2]. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Bogotá D.C. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ingeniería – Materiales y Procesos.
- [3]. 8º congreso iberoamericano de ingeniería mecánica. Cusco, 23 a 25 de Octubre del 2007
- [4]. Estudio realizado en Argentina por parte del Laboratorio de Soldadura, Centro de Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial y el Laboratorio de Materiales y Estructuras, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, noviembre 2008
- [5]. Universidad de los Andes; Facultad de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia. 2010.
- [6]. Escuela de Ingeniería Mecánica – Facultad de Ingeniería - Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.2004.
- [7]. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2006.
- [8]. Scientia et Technica, No 25, Agosto 2004. UTP. ISSN 0122-1701. 2004
- [9]. ACEROS Y FUNDICIONES: ESTRUCTURAS, TRANSFORMACIONES, TRATAMIENTOS TERMICOS y APLICACIONES, F. J. BELZUNCE, Universidad de Oviedo, 2001.
- [10]Universidad Tecnológica de Pereira, Inc. [en línea]. [Fecha de consulta: 22 abril2015]. Disponible en: <http://www.utp.edu.co/~dhmesa/pdfs/clase9ttteoria.pdf>
- [11]. Avner, Sidney H. Introducción a la metalurgia física. 2ª ed.-- México; Madrid. McGraw Hill, 1979. 695 p
- [12]. MACHADO Isabel. TRATAMENTOS TÉRMICOS E DE SUPERFÍCIE. Prof. Escola Politécnica da Universidad de São Paulo. Depto. de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos PMR 2002

[13] OTEA (Observatorio Tecnológico del metal) [en línea]. [Fecha de consulta: 01 mayo 2015]. Disponible en: [http://www.aimme.es/archivosbd/observatorio\\_oportunidades/Aceros\\_AHSS\(final\).pdf](http://www.aimme.es/archivosbd/observatorio_oportunidades/Aceros_AHSS(final).pdf)

[14]. ASM HANDBOOK Vol 1. .Properties and Selection: Irons, Steels and High. Performance Alloys. United States of América. 10 ed. ASM International, 1995. 937 p.

[15] INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE

[16]Universidad Tecnológica de Pereira, Inc. [en línea]. [Fecha de consulta: 22 abril2015]. Disponible en: <http://www.utp.edu.co/~dhmesa/pdfs/desgaste.pdf>

[17]ZUM. K. op cit.P94

[18] ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ANTIDESGASTE DEL ACERO TEMPLADO AISI/SAE 4140 Y EL ACERO MAXDUR 450. Universidad distrital Francisco Jose de Caldas, Facultad tecnológica, Ingeniería mecánica, Bogotá, 2012