

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

Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	JULIO CÉSAR	
Apellido (s):	GÓMEZ DÍAZ	
Código:	20162375136	
E-mail:	gomezd_Julioc@Hotmail.Com	
Teléfono fijo:	4970546	
Celular:	313 803 7453	

Ejecutor 2

Nombre (s):	ANDRES ESTEBAN	
Apellido (s):	PAREDES GAVIRIA	
Código:	20162075046	
E-mail:	andrespgaviria@hotmail.com	
Teléfono fijo:	4798857	
Celular:	310 555 7247	

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	INFLUENCIA DE UN TRATAMIENTO TÉRMICO DE TEMPLE DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS SEGUIDO DE UN TRATAMIENTO DE CRIOGENIA Y REVENIDO EN EL DESGASTE ABRASIVO DE UN ACERO A-131	
Duración (estimada):		
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	x
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:		
Línea de Investigación de la Facultad*:	Apoyo tecnológico empresarial	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y procesos de manufactura.	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		

INFORMACIÓN PASANTÍA

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

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	ING. CARLOS ARTURO BOHORQUEZ AVILA
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

Tabla de contenido

1.INTRODUCCION	4
2.ESTADO DEL ARTE	5
3.JUSTIFICACIÓN	6
4.PROBLEMAS	7
5.OBJETIVOS.....	8
5.1.Objetivo general	8
5.2.Objetivos especificos	8
6.MARCO TEORICO	8
6.1.ACERO ASTM A-131.....	8
6.2EFECTO DE LOS ELEMENTOS ALEANTES	9
6.3.CLASIFICACION SEGÚN ASTM	11
6.4.TRATAMIENTOS TERMICOS	12
6.4.1.TEMPLE.....	12
6.4.2.TIPOS DE TEMPLE	12
6.4.3.REVENIDO.....	13
6.4.4.CRIOGENIA	13
6.5.DESGASTE ABRASIVO.....	14
6.6. MICROGRAFIA.....	14
6.6.1SEM	15
7.METODOLOGIA	15
7.1.FASE DOCUMENTAL	15
7.2.FASE FABRICACION DE PROBETAS	16
7.3.FASE TRATAMIENTOS TERMICOS PROBETAS.....	16
7.4.FASE DESGASTE ABRASIVO	16
7.5.FASE CARACTERIZACION METALOGRAFICA.....	16
7.6.FASE ANALISIS DE DATOS.....	16
7.7.FASE DE ELABORACION DEL DOCUMENTO DE TESIS	16
8.CRONOGRAMA	17
9.PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACION	18
10.BIBLIOGRAFIA	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del acero ASTM A-131.....	9
Tabla 2. Cronograma de actividades.....	18
Tabla 3. Presupuesto general del proyecto.....	19
Tabla 4. Presupuesto asociado a recursos humanos.....	19
Tabla 5. Presupuesto de materiales y procesos.....	20
Tabla 6. Presupuesto para gastos generales.....	21

1. INTRODUCCIÓN

El mercado internacional del acero está ingresando al mercado colombiano a través de fusiones y adquisiciones haciendo el mercado más dinámico. esto se debe a que grandes compañías están tratando de llegar a economías de escala en el área de producción, así como en lo que se refiere a los canales de distribución. El mercado está siendo conducido por el sector de la construcción en Colombia y las significativas inversiones en infraestructura por parte del gobierno en carreteras, aeropuertos, túneles y puertos. El índice de crecimiento de la construcción en el 2007 fue del 17 por ciento, y en el 2008 se espera que crezca a una tasa del 10 por ciento. Por lo cual cada día en la industria se hace necesario la investigación y el desarrollo de los materiales para ayudar a la industria

Este proyecto busca contribuir en la industria estableciendo el comportamiento de un acero estructural, con amplia aplicación a la industria naval como lo es el ASTM A-131, el cual será sometido a diversos tratamientos térmicos para mejorar sus propiedades mecánicas y así establecer su comportamiento al desgaste abrasivo.

2. ESTADO DEL ARTE

A continuación, citaremos investigaciones realizadas con el material de estudio, acero ASTM A-131 y de otros materiales sometidos a los tratamientos que se van a realizar para la elaboración de este proyecto.

ANÁLISIS METALGRÁFICO DE UN ACERO ASTM A-131 CON TRATAMIENTO DE TEMPLE Y REVENIDO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS (2017). En este proyecto se buscaba establecer la influencia de tiempo de revenido en la microestructura de un acero a-131 al ser templado desde temperaturas intercríticas dando como resultado que las probetas tratadas con revenido a una temperatura de 390°C durante tiempos de 5, 10 y 15 minutos presentaron menor disminución en la dureza en comparación del revenido realizado a una temperatura de 450°C, concluyendo, de esta manera, que a mayor temperatura y tiempo de duración del tratamiento de revenido, mayor será la reducción en la dureza del materia¹

INFLUENCIA DEL TEMPLE DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y REVENIDO A TEMPERATURA DE 350° C CON DIFERENTES TIEMPOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS TENSIÓN - IMPACTO DE UN ACERO SAE 1045 (2016) en este proyecto se busca determinar el cambio de las propiedades mecánicas de tensión e impacto de un acero SAE 1045 llevado a temperaturas intercríticas y revenido a temperatura de 350°C en el cual da como resultado en el estudio metalográfico, los cambios de fase se van transformando desde (perlita - ferrita), se sube a temperatura intercrítica y se transforma en (austenita - ferrita), al enfriar rápidamente se obtiene un acero doble fase (martensita - ferrita). del ensayo de impacto indican una tenacidad en estado de entrega de 6.431 J, después del temple de 1.974 J indicando una disminución de 69.30 % y después del temple y revenido de 3.211 J indicando una disminución de 50.07%²

Efecto del Tratamiento Criogénico en las Propiedades Mecánicas de los Aceros de Herramienta de Trabajo en Frío (2004) se estudian los efectos producidos al aplicar a los aceros de herramienta, altamente aleados de trabajo en frío, un tratamiento criogénico adicional al tratamiento clásico de temple y revenido. El fin de dicho estudio es predecir si el tratamiento criogénico produciría un aumento de la vida útil en las herramientas fabricadas con dos aceros, los resultados obtenidos permitieron concluir que los tratamientos criogénicos efectuados al HWS y al UNIVERSAL no aportan, en ninguno de los dos casos, mejoras significativas en cuanto a la dureza, tenacidad o resistencia al desgaste. En cambio, al realizar los mismos tratamientos al WNr. 1.2379, se obtiene una notable mejora tanto en la dureza como en la resistencia al desgaste.³

ARMADO ESTRUCTURAL DE UN BLOQUE EN UNA CONSTRUCCIÓN NAVAL. Esta tesis tiene como principal objetivo, ofrecer información para el Armado Estructural de un bloque de una construcción naval con información de diseño de detalle determinar la cantidad de material de acero naval con clasificación ASTM A131 que se requiere para la fabricación del bloque y la generación de información técnica como ingeniería de producción para el armado en los distintos procesos constructivos de un bloque. Como segundo objetivo se encuentra el proporcionar información sobre el método para

¹ <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6008/1/GalindoCa%C3%B1onLeidyTatiana2017.pdf>

² <file:///C:/Users/gomez/Downloads/C%C3%A1rdenasCasta%C3%B1edaAlexander2016.PDF..pdf>

³ <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3210/34099-1.pdf?sequence=1>

clasificar y seleccionar los electrodos para los distintos procesos de soldadura al arco eléctrico, de acuerdo a las normas emitidas por la American Welding Society AWS, con un control del aseguramiento de calidad que cumpla con la normativa de casa clasificadora Lloyd's Register y la aprobación satisfactoria del cliente de un producto terminado bajo los parámetros de plazo, costo y calidad establecidos contractualmente dando apoyo con información de producción en el área de la construcción de la estructura principal de un buque.⁴

Estudio de sostenibilidad de un acero ASTM a 131 grado DH 36 mediante el proceso gmaw pulsado (2015). Esta investigación estudia la soldabilidad y el comportamiento de un acero de uso naval ASTM A.131 grado DH 36 soldado bajo el proceso GMAW – pulsado, utilizando dos composiciones de gases de protección al 100%, como argón y dióxido de carbono (CO₂), y distintos flujos de gas, con el objeto de determinar las condiciones de la zona afectada por el calor y metal base, se utilizaron técnicas de ensayos no destructivos para encontrar discontinuidades inherentes producto del proceso y ensayos destructivos para caracterizar microestructuralmente, y a su vez analizar las propiedades mecánicas de las juntas soldadas, así como los criterios de aceptación y rechazo del código AWS D1.1 2010 para posteriormente calificar las soldaduras, Al realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos en el ensayo de microdureza, con un nivel de confianza del 95% se encontraron diferencia significativas como la variación entre las medias realizadas con gas de protección CO₂ con respecto a las hechas con argón, específicamente en los flujos de 25 -20 CFH y de 30 – 25 CFH , presentando cambio pronúnciales entre estos flujos, ratificando que la aplicación de gases inerte generan una atmosfera más controlada, con menos interacciones al metal fundido, que favorece a la propiedades mecánicas encontradas en el metal solidificado.⁵

3. JUSTIFICACIÓN

Es necesario el estudio de los materiales para identificar y establecer cómo será su comportamiento en las aplicaciones industriales. La ciencia de los materiales se encarga de estudiar cómo están formados y cuáles son sus propiedades físicas y químicas. Para mejorar estas propiedades por lo general de tipo mecánicas del material, especialmente la dureza, la resistencia, la tenacidad y la maquinabilidad se realizan tratamientos térmicos que son procesos en los cuales mediante una sucesión de operaciones de calentamiento y enfriamiento, se modifica la microestructura y la constitución sin variar su composición química.

El objetivo de este proyecto es establecer el comportamiento de un acero ASTM A-131 tratado térmicamente y conocer las características de este material mediante sus propiedades, específicamente frente al desgaste abrasivo y con esto obtener el campo de sus aplicaciones en ingeniería.

⁴ <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcig241a/doc/bmfcig241a.pdf>

⁵ <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/7856>

4. PROBLEMAS

En América Latina las cifras de producción, consumo y comercio del 2016 cerraron con una disminución, reflejando el difícil año de la industria siderúrgica latinoamericana. El consumo de acero laminado se contrajo 8% y la producción de acero crudo y de laminado lo hizo en 10% y 5%, respectivamente, versus 2015. 2017, por otra parte, se estima que será un año de recuperación. Por su parte, el consumo regional es abastecido en un 32% por importaciones, disminuyendo dos puntos versus 2015 (34%). La balanza comercial de la región se mantiene negativa, a pesar de que en 2016 el déficit en toneladas disminuyó 23% vs 2015.

PRODUCCIÓN

América Latina y el Caribe tuvo una producción de 57,3 millones de toneladas (MT) de acero crudo en 2016, 10% por debajo de 2015. Brasil es el principal productor con un 53% del total regional (30,2 MT), no obstante, presentó una contracción interanual de 9%. En el mismo año, la región produjo 50,6 MT de acero laminado, un volumen 5% inferior al alcanzado en 2015. Brasil es el principal productor con 20,9 MT, 41% del total latinoamericano. México fue segundo con 18,7 MT, con 37%.

CONSUMO DE ACERO

Durante el 2016, la región registró un consumo de acero laminado de 61,9 MT, disminuyendo 8% vs 2015. Los principales países que incrementaron su consumo, tanto en términos absolutos como porcentuales fueron, México (649 mil toneladas adicionales y creciendo 3%), Perú (196 mil toneladas adicionales y creciendo 7%) y Bolivia (45 mil toneladas adicionales y creciendo 8%). Contrariamente, en Brasil el consumo de acero laminado se contrajo 3,1 MT, cayendo 14% vs 2015. Mientras Argentina, Chile, Colombia y Ecuador registraron caídas de 20%, 8%, 5% y 9%, respectivamente. Del total latinoamericano, 53% corresponde a productos planos (32,7 MT), 45% a productos largos (27,8 MT) y 1% a tubos sin costura (738 mil toneladas).

Importaciones. En 2016, América Latina importó 19,8 MT de acero laminado, 14% menos que lo importado en 2015 (23,1 MT). De este total, 65% corresponden a productos planos (12,9 MT), 33% a productos largos (6,5 MT) y 2% a tubos sin costura (446 mil toneladas). Actualmente, las importaciones de laminados representan 32% del consumo de la región, lo que trae aparejado desincentivos para la industria local, fricciones comerciales y pone en riesgo fuentes de trabajo.⁶

⁶ https://www.alacero.org/sites/default/files/noticias/docs/pr_2017-02-23_produccion-comercio_ene-dic_2016.pdf

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Establecer la influencia de un tratamiento térmico de temple desde temperaturas intercríticas, seguido de un tratamiento criogénico y de revenido, en el desgaste abrasivo de un acero ASTM A-131.

5.2. objetivos específicos

- ◆ Establecer la composición química del acero ASTM A-131 para obtener el rango de temperaturas intercríticas a los que se realizará el temple, seguido de un tratamiento criogénico por 24 y 48 horas y un posterior revenido por 5, 10 y 15 minutos.
- ◆ Fabricar probetas bajo la norma ASTM G65 para ensayos de desgaste abrasivo.
- ◆ Analizar el comportamiento del material tratado térmicamente por medio de un ensayo de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G65.
- ◆ Realizar el análisis microestructural por microscopía óptica (MOC) y microscopía electrónica de barrido (MEB) y determinar la influencia del tratamiento criogénico en la resistencia al desgaste abrasivo.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Acero ASTM A-131

Según la norma Standard Specification for Structural Steel for Ships, Designation: A 131/A 131M – 014

- ◆ Alcance
 - Esta especificación se refiere a las placas de acero estructural, formas, barras y remaches destinados principalmente a la construcción naval.
 - El material bajo esta especificación está disponible en las siguientes categorías:
 - Fuerza ordinaria-Grados A, B, D, CS y E con un límite de elasticidad mínimo especificado de 34 ksi [235 MPa], y
 - Grados de Fuerza Superior AH, DH, EH y FH con límites de rendimiento mínimo especificados de 46 ksi [315 MPa], 51 ksi [350 MPa], o 57 ksi [390 MPa].

- Las formas y barras están normalmente disponibles como Grados A, AH32 o AH36. Otras calidades pueden ser proporcionadas por acuerdo entre el comprador y el fabricante.
- Cuando se va a soldar el acero, se presupone que un procedimiento de soldadura adecuado para el grado de acero y el uso previsto o el servicio será utilizado. Consulte el Apéndice X3 de la Especificación A 6 / A 6M para obtener información sobre la soldabilidad.

TABLE 3 Chemical Requirements Ordinary Strength Hull Structural Steel

Grade	A	B	D	E	CS
Deoxidation	Killed or Semi-Killed ^A t ≤ 2.0 in. [50 mm] Killed t > 2.0 in. [50 mm]	Killed or Semi-Killed t ≤ 2.0 in. [50 mm] Killed t > 2.0 in. [50 mm]	Killed t ≤ 1.0 in. [25 mm] Killed and Fine Grain t > 1.0 in. [25 mm] ^D	Killed and Fine Grain ^B	Killed and Fine Grain ^B
Chemical composition (ladle analysis), % max, unless specified otherwise ^C					
C	0.21 ^D	0.21	0.21	0.18	0.16
Mn _{min}	2.5 × C	0.80 ^E	0.60	0.70	1.00
Si	0.50	0.35	0.10–0.35 ^F	0.10–0.35 ^F	0.10–0.35 ^F
P	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
S	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
Ni	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G
Cr	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G
Mo	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G
Cu	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G	See Footnote ^G
C + Mn/6	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

^A For Grade A, rimmed steel shapes and bars may be accepted up to and including 0.5 in. [12.5 mm].

^B Grade D steel over 1.0 in. [25 mm], Grade E steel and Grade CS steel are to contain at least one of the grain refining elements in sufficient amount to meet the fine grain practice requirements (see Section 7).

^C Intentionally added elements are to be determined and reported.

^D A maximum carbon content of 0.23 % is acceptable for Grade A shapes and bars.

^E For Grade B steel of cold flanging quality or where fully killed, the lower limit of manganese may be reduced to 0.60 %.

^F Where the content of soluble aluminum is not less than 0.015 %, the minimum required silicon content does not apply.

^G The contents of nickel, chromium, molybdenum and copper are to be determined and reported. When the amount does not exceed 0.02 %, these elements may be reported as ≤0.02 %.

tabla 1. tabla composición química del acero ASTM A-131

6.2. Efecto de los elementos aleantes.

Las aleaciones con contenido de C comprendido entre 0.03% y 1.76% tienen características muy bien definidas y se denominan aceros. Los aceros de cualquier proporción de carbono dentro de los límites citados pueden alearse con otros elementos, formando los denominados aceros aleados o aceros especiales. Algunos aceros aleados pueden contener excepcionalmente hasta el 2.5% de C. Los aceros generalmente son forjables, y es ésta una cualidad muy importante que los distingue. Si la proporción de C es superior a 1.76% las aleaciones de Fe-C se denominan fundiciones, siendo la máxima proporción de C aleado del 6.67%, que corresponde a la cementita pura. Las fundiciones, en general, no son forjables.

Tipos de aceros: En las aleaciones Fe-C pueden encontrarse hasta once constituyentes diferentes, que se denominan: ferrita, cementita, perlita, austenita, martensita, troostita sorbita, bainita, ledeburita, steadita y grafito.

FERRITA

Aunque la ferrita es en realidad una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es tan pequeña que no llega a disolver ni un 0.008% de C. Es por esto que prácticamente se considera la ferrita como hierro alfa puro. La ferrita es el más blando y dúctil constituyente de los aceros. Cristaliza en una estructura BCC. Tiene una dureza de 95 Vickers, y una resistencia a la rotura de 28 Kg/mm², llegando a un alargamiento del 35 al 40%. Además de todas estas características, presenta propiedades magnéticas. En los aceros aleados, la ferrita suele contener Ni, Mn, Cu, Si, Al en disolución sólida sustitucional. Al microscopio aparece como granos monofásicos, con límites de grano más irregulares que la austenita. El

motivo de esto es que la ferrita se ha formado en una transformación en estado sólido, mientras que la austenita, procede de la solidificación.

La ferrita en la naturaleza aparece como elemento proeutectoide que acompaña a la perlita en:

- Cristales mezclados con los de perlita (0.55% C)
- Formando una red o malla que limita los granos de perlita (0.55% a 0.85% de C)
- Formando agujas en dirección de los planos cristalográficos de la austenita.

CEMENTITA

Es carburo de hierro y por tanto su composición es de 6.67% de C y 93.33% de Fe en peso. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanzando una dureza de 960 Vickers. Cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño. Es magnética hasta los 210°C, temperatura a partir de la cual pierde sus propiedades magnéticas. Aparece como:

- Cementita proeutectoide, en aceros hipereutectoides, formando un red que envuelve a los granos perlíticos.
- Componente de la perlita laminar.
- Componente de los glóbulos en perlita laminar.
- Cementita alargada (terciaria) en las uniones de los granos (0.25% de C)

PERLITA

Es un constituyente compuesto por el 86.5% de ferrita y el 13.5% de cementita, es decir, hay 6.4 partes de ferrita y 1 de cementita. La perlita tiene una dureza de aproximadamente 200 Vickers, con una resistencia a la rotura de 80 Kg/mm² y un alargamiento del 15%. Cada grano de perlita está formado por láminas o placas alternadas de cementita y ferrita. Esta estructura laminar se observa en la perlita formada por enfriamiento muy lento. Si el enfriamiento es muy brusco, la estructura es más borrosa y se denomina perlita sorbítica. Si la perlita laminar se calienta durante algún tiempo a una temperatura inferior a la crítica (723 °C), la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, recibiendo entonces la denominación de perlita globular.

AUSTENITA

Este es el constituyente más denso de los aceros, y está formado por la solución sólida, por inserción, de carbono en hierro gamma. La proporción de C disuelto varía desde el 0 al 1.76%, correspondiendo este último porcentaje de máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita en los aceros al carbono, es decir, si ningún otro elemento aleado, empieza a formarse a la temperatura de 723°C. También puede obtenerse una estructura austenítica en los aceros a temperatura ambiente, enfriando muy rápidamente una probeta de acero de alto contenido de C a partir de una temperatura por encima de la crítica, pero este tipo de austenita no es estable, y con el tiempo se transforma en ferrita y perlita o bien cementita y perlita.

Excepcionalmente, hay algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos, cuya estructura es austenítica a la temperatura ambiente. La austenita está formada por cristales cúbicos de hierro gamma con los átomos de carbono intercalados en las aristas y en el centro. La austenita tiene una dureza de 305 Vickers, una resistencia de 100 Kg/mm² y un alargamiento de un 30 %. No presenta propiedades magnéticas.

MARTENSITA

Bajo velocidades de enfriamiento bajas o moderadas, los átomos de C pueden difundirse hacia afuera de la estructura austenítica. De este modo, los átomos de Fe se mueven ligeramente para convertir su estructura en una tipo BCC. Esta transformación gamma-alfa tiene lugar mediante un proceso de nucleación y crecimiento dependiente del tiempo (si aumentamos la velocidad de enfriamiento no habrá tiempo suficiente para que el carbono se difunda en la solución y, aunque tiene lugar algún movimiento local

de los átomos de Fe, la estructura resultante no podrá llegar a ser BCC, ya que el carbono está "atrapado" en la solución). La estructura resultante denominada martensita, es una solución sólida sobresaturada de carbono atrapado en una estructura tetragonal centrada en el cuerpo. Esta estructura reticular altamente distorsionada es la principal razón para la alta dureza de la martensita, ya que como los átomos en la martensita están empaquetados con una densidad menor que en la austenita, entonces durante la transformación (que nos lleva a la martensita) ocurre una expansión que produce altos esfuerzos localizados que dan como resultado la deformación plástica de la matriz.

Después de la cementita es el constituyente más duro de los aceros. La martensita se presenta en forma de agujas y cristaliza en la red tetragonal. La proporción de carbono en la martensita no es constante, sino que varía hasta un máximo de 0.89% aumentando su dureza, resistencia mecánica y fragilidad con el contenido de carbono. Su dureza está en torno a 540 Vickers, y su resistencia mecánica varía de 175 a 250 Kg/mm² y su alargamiento es del orden del 2.5 al 0.5%. Además es magnética.

BAINITA

Se forma la bainita en la transformación isoterma de la austenita, en un rango de temperaturas de 250 a 550°C. El proceso consiste en enfriar rápidamente la austenita hasta una temperatura constante, manteniéndose dicha temperatura hasta la transformación total de la austenita en bainita.

LEDEBURITA

La ledeburita no es un constituyente de los aceros, sino de las fundiciones. Se encuentra en las aleaciones Fe-C cuando el porcentaje de carbono en hierro aleado es superior al 25%, es decir, un contenido total de 1.76% de carbono.

La ledeburita se forma al enfriar una fundición líquida de carbono (de composición alrededor del 4.3% de C) desde 1130°C, siendo estable hasta 723°C, descomponiéndose a partir de esta temperatura en ferrita y cementita[3].

6.3. Clasificación según la ASTM.

La norma ASTM (American Society for Testing and Materials) no especifica la composición directamente, sino que más bien determina la aplicación o su ámbito de empleo. Por tanto, no existe una relación directa y unívoca con las normas de composición. El esquema general que esta norma emplea para la numeración de los aceros es:

YXX

Donde,

Y es la primera letra de la norma que indica el grupo de aplicación según la siguiente lista:

A: si se trata de especificaciones para aceros;

B: especificaciones para no ferrosos;

C: especificaciones para hormigón, estructuras civiles;

D: especificaciones para químicos, así como para aceites, pinturas, etc.

E: si se trata de métodos de ensayos;

Ejemplos:

A36: especificación para aceros estructurales al carbono;

A285: especificación para aceros al carbono de baja e intermedia resistencia para uso en planchas de recipientes a presión;

A325: especificación para pernos estructurales de acero con tratamiento térmico y una resistencia a la tracción mínima de 120/105 ksi;

A514: especificación para planchas aleadas de acero templadas y revenidas con alta resistencia a la tracción, adecuadas para soldar;

A continuación se adjunta una tabla con las características de los aceros que son más comunes, según esta norma:

En el cual podemos observar nuestro material de estudio que es un acero astm a-131.⁷

6.4. tratamientos térmicos

6.4.1. Temple

El Temple es un tratamiento térmico que tiene por objetivo aumentar la dureza y resistencia mecánica del material, transformando toda la masa en Austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento brusco (con aceites, agua o salmuera), se convierte en Martensita, que es el constituyente duro típico de los aceros templados.

En el temple, es muy importante la fase de enfriamiento y la velocidad alta del mismo, además, la temperatura para el calentamiento óptimo debe ser siempre superior a la crítica para poder obtener de esta forma la Martensita. Existen varios tipos de Temple, clasificados en función del resultado que se quiera obtener y en función de la propiedad que presentan casi todos los aceros, llamada Templabilidad (capacidad a la penetración del temple), que a su vez depende, fundamentalmente, del diámetro o espesor de la pieza y de la calidad del acero.⁸

6.4.2. Tipos de temple

1. Temple continuo de austenización completa: se aplica a los aceros hipoeutectoides. Se calienta el material a 50°C por encima de la temperatura crítica superior A3, enfriándose en el medio adecuado para obtener martensita.

2. Temple continuo de austenización incompleta: se aplica a los aceros hipereutectoides. Se calienta el material hasta AC1 + 50°C, transformándose la perlita en austenita y dejando la cementita intacta. Se enfría a temperatura superior a la crítica, con lo que la estructura resultante es de martensita y cementita.

3. Temple superficial: el núcleo de la pieza permanece inalterable, blando y con buena tenacidad, y la superficie se transforma en dura y resistente al rozamiento. Con el temple superficial se consigue que solamente la zona más exterior se transforme en martensita,

⁷ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>

⁸ http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1537_tratamientostermicosr2.pdf

y para ello el tiempo durante el que se mantiene el calentamiento debe ser el adecuado para que solamente un reducido espesor de acero se transforme en austenita.

4. Temple Escalonado (Martempering): consiste en calentar el acero a temperatura de austenización y mantenerlo el tiempo necesario para que se transforme completamente en austenita. Posteriormente se enfría en un baño de sales bruscamente hasta una temperatura próxima pero superior a M_s , con el fin de homogeneizar la temperatura en toda la masa y se acaba reduciendo la temperatura para que toda la pieza se transforme en martensita.

5. Temple isotérmico (Austempering): consiste en calentar el acero a temperatura de austenización y mantenerlo el tiempo necesario para obtener austenita. Posteriormente se enfría bruscamente en un baño de sales hasta una temperatura determinada, para igualar la temperatura en toda la masa y luego se vuelve a disminuir la temperatura para que toda la pieza se transforme en bainita.

6.4.3. Revenido

El Revenido es un tratamiento complementario del Temple, que generalmente prosigue a éste. Después del Temple, los aceros suelen quedar demasiados duros y frágiles para los usos a los cuales están destinados. Lo anterior se puede corregir con el proceso de Revenido, que disminuye la dureza y la fragilidad excesiva, sin perder demasiada tenacidad. Durante el revenido, se forma una mezcla íntima de ferrita y cementita a partir de la martensita. El tratamiento de revenido controla las propiedades físicas del acero. Este tratamiento térmico consiste en calentar el acero, (después de haberle realizado un Temple) a una temperatura inferior al punto crítico (o temperatura de recristalización), seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretende resultados altos en tenacidad, o lentos, cuando se pretende reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.⁹

6.4.4. Criogenia

Bajo el concepto de tratamiento a baja temperatura deben distinguirse dos categorías dependiendo principalmente la temperatura por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alcanzada en el proceso:

Tratamiento sub cero: Donde las piezas alcanzan unas temperaturas de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, con utilización de hielo seco.

Tratamiento criogénico: Donde la temperatura alcanzada está en unos $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura correspondiente al nitrógeno líquido.

El proceso criogénico no es un sustituto de otros tratamientos térmicos para el acero, sino una extensión del ciclo térmico que involucra, a diferencia de otros tratamientos adicionales, todo el material y no solo su superficie. Se basa en predeterminar un ciclo térmico que involucre un enfriamiento de las piezas en una cámara criogénica, manteniendo el material a esa temperatura durante 20-40 horas, y finalmente, calentar hasta temperatura ambiente. Las velocidades de enfriamiento y calentamiento deben

⁹ http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1537_tratamientostermicosr2.pdf

ser tales que no induzcan ni tensiones residuales ni un choque térmico a las piezas tratadas.¹⁰

El tratamiento Criogénico ofrece los siguientes beneficios:

- ✦ Aumenta la resistencia al desgaste por abrasión.
- ✦ Cambia la estructura completa de la cuchilla, no sólo la superficie. Las operaciones posteriores de refinamiento o reafilado no afectan las mejoras permanentes.
- ✦ Aumenta la durabilidad y la vida útil.
- ✦ Disminuye la fragilidad.
- ✦ Aumenta la resistencia a la tensión, la dureza y la estabilidad, junto con la liberación de imperfecciones internas.¹¹

6.5. Desgaste abrasivo

De todos los tipos de desgaste mecánicos que puede sufrir una herramienta (abrasión, adhesión, fatiga superficial, plastificación localizada, fricción, erosión o cavitación), las resistencias al desgaste adhesivo y abrasivo son las más importantes para los aceros de herramienta generalmente de trabajo en frío, por ser estos dos mecanismos de desgaste, ya sea individualmente o por combinación entre ellos, la principal causa del fin de la vida útil en las aplicaciones a las que los aceros de herramienta de trabajo están destinados.

El desgaste abrasivo ocurre cuando partículas abrasivas como carburos, u otras inclusiones duras, bien sean del material a conformar, bien del acero de herramienta por desprendimiento previo o bien por partículas exteriores como polvo de la zona de trabajo, son forzadas contra las superficies en el proceso de conformado o corte produciendo surcos y arrancando parte del material de una o de las dos superficies.¹²

6.6. Micrografía

Las propiedades mecánicas de una aleación no dependen solamente de su composición química, o sea del porcentaje en peso de cada elemento, sino también de la manera de presentarse estos. Así, por ejemplo, los elementos químicos que forman una aleación pueden encontrarse en forma de una solución sólida homogénea, en forma de una mezcla eutéctica, en forma de un compuesto intermetálico de composición química definida, dispersa en el seno de una solución sólida, etc. Cada uno de estos componentes se llama un constituyente metalográfico y de su proporción, forma y extensión dependen en gran parte las propiedades de las aleaciones. Estos constituyentes metalográficos son detectados al microscopio y su reconocimiento constituye el análisis micrográfico de la aleación.

El análisis micrográfico de un metal se hace sobre una probeta pulida del material que se ataca con un reactivo. Cada constituyente metalográfico tiene una determinada velocidad de reacción con el reactivo de ataque. Los constituyentes menos atacables quedan con más brillo y reflejan mayor cantidad de luz en el microscopio, apareciendo más claros a la observación. Esta diferencia permite detectar los distintos constituyentes

¹⁰ <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3210/34099-1.pdf?sequence=1>

¹¹ <http://www.cbmfg.com/es/heat-treat-cryogenics.php>

¹² <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3210/34099-1.pdf?sequence=1>

y determinar su proporción, distribución, tamaño, etc. Cada constituyente metalográfico este compuesto por un gran número de cristales, que agrupados constituyen el grano metalúrgico. Los bordes del grano son atacados con mayor intensidad y se denominan 'límite de grano'.¹³

6.6.1. SEM

La microscopía electrónica de barrido o SEM se basa en el principio de la microscopía óptica en la que se sustituye el haz de luz por un haz de electrones. Con esto conseguimos resoluciones muy superiores a cualquier instrumento óptico.

Su funcionamiento consiste en hacer incidir un barrido de haz de electrones sobre la muestra. La muestra (salvo que ya sea conductora) está generalmente recubierta con una capa muy fina de oro o carbón, lo que le otorga propiedades conductoras. La técnica de preparación de las muestras se denomina "sputtering" o pulverización catódica. Al alcanzar el haz la superficie de la muestra se generan principalmente las siguientes partículas:

- Electrones retrodispersados (e1)
- Electrones secundarios (e2)

Además de radiación electromagnética (rayos X) y otras partículas menos significativas.

El microscopio se encuentra internamente equipado con unos detectores que recogen la energía y la transforman en imágenes y datos que permite la observación y caracterización de materiales orgánicos e inorgánicos en escalas nanométricas y micrométricas y así obtener imágenes topográficas a muy altas magnificaciones.¹⁴

7. METODOLOGÍA

- 7.1. **Fase Documental:** Para el presente proyecto, esta fase comprenderá la ampliación de la información encontrada en artículos, trabajos de grado, libros, normas, fichas técnicas de equipos y materiales. Lo anterior como complemento al estado del arte y marco teórico. Toda la información documentada será clasificada de manera transversal, cruzando las diferentes fuentes encontradas de acuerdo a: tipo de recursos (informáticos o físicos), herramienta de búsqueda (bases de datos, catálogos de bibliotecas, etc.), temáticas (corrosión, análisis metalográfico, etc.).
- 7.2. **Fase de fabricación de probetas:** en esta parte del proyecto se consigue el material certificado, un acero ASTM A-131 y se realizan la probeta según la norma ASTM G65.

¹³<http://www.inspt.utn.edu.ar/academica/carreras/67/TPracticos/Tecnologial/Trabajos.Practicos/ENSAYOS.LABORATORIO/1EnsayosMetalografia/2TeoriaMetalografia.pdf>

¹⁴ <https://www.patologiasconstruccion.net/2012/12/la-microscopia-electronica-de-barrido-sem-i-concepto-y-usos/>

- 7.3. **Fase tratamientos térmicos a las probetas:** Con las probetas conformadas, se procederá a realizar un temple dentro del rango de temperaturas intercríticas durante 30 min y un posterior enfriamiento en agua, se tratara criogénicamente durante 48 horas, y se procederá a realizar un revenido de la piezas a dos temperaturas la primera a 450°C durante (5, 10 y 15) min y la segunda a una temperatura de 350°C durante (5, 10 y 15)min.
- 7.4. **Fase de desgaste abrasivo:** teniendo listas las probetas se someterán a un ensayo bajo la norma ASTM G65 donde se tomará su peso antes de iniciar la prueba y se hará un pesaje inmediatamente después de la prueba para poder analizar la resistencia del material frente a la abrasión.
- 7.5. **Fase de caracterización metalográfica:** Con base en lo definido, se procederá a la realización de las pruebas donde se implementará microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM). Los resultados de las pruebas serán sistematizadas por medio de Excel u otro software apropiado para dicha actividad.
- 7.6. **Fase de análisis de datos:** En esta fase se realizará el análisis de la información obtenida de los ensayos realizados en las probetas ASTM A-131 para observar la importancia de un tratamiento frente al desgaste abrasivo.
- 7.7. **Fase de elaboración del documento de tesis:** Corresponde a actividades de construcción del documento de tesis de grado para optar al título de ingeniero Mecánico, siguiendo las normas disponibles para tal fin.

8. CRONOGRAMA

fase	Actividad	Duración (semanas)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1.documental	1.1 búsqueda, clasificación, y sistematización de la información	■							
	1.2 lectura y análisis de la información	■							
2. diseño teorico practico	2.1 analisis información y formulación de actividades		■						
3.alistamiento de probetas acero ASTM A-131	3.1 consulta y asesoría en establecimientos certificados		■						
	3.2 cotizacion de materiales y insumos		■						
	3.3 compra del material		■						
	3.4 preparacion de probetas		■						
4.tratamiento térmico del acero ASTM A-131	4.1revisión y ajustes de equipo para los tratamientos			■					
	4.2 temple de las probetas			■					
	4.3 criogenia de las probetas			■					
	4.4 revenido de las probetas				■				
5.prueba desgaste abrasivo	5.1 fabricacion de la goma de la rueda y compra de la arena Ottawa				■				
	5.2 realizar ajustes necesarios para la prueba				■				
	5.3 exposicion de las pruebas al desgaste abrasivo				■				

Gastos Generales		\$ 771.800	Personal
Subtotal		\$ 64.024.970	
5%	Imprevistos	\$ 3.201.248	
Total presupuestado		\$ 67.226.218	

Tabla 3. presupuesto general del proyecto

Recurso Humano Asociado				
Descripción	Cantidad de personas	Dedicación semanal (promedio)	Valor Hora	Costo personal
	Numero	Horas	Pesos	Pesos
Autores del proyecto	2	20	\$ 100.000	\$ 16.000.000
Director o tutor	1	4	\$ 200.000	\$ 6.400.000
Asesorías varias	2	0,5	\$ 100.000	\$ 400.000
				\$ 22.800.00
Carga Prestacional			51,30%	\$ 11.696.400
			TOTAL	\$ 34.496.400

Tabla 4. Presupuesto asociado a recursos humanos

Costos de materiales y procesos					
Materiales y procesos	Detalle/Material	Unidad de medida	Cantidad	valor unitario	Total
Material probetas	ASTM A-131	Unidad lamina	1	4.000.000	4.000.000
Corte de probetas	Herramienta segueta	Según trabajo	3	10.000	30.000
TRATAMIENTO TERMICO	TEMPLE	HORAS	2	150.000	300.000
TRATAMIENTO TERMICO	CRIOGENIA	HORAS	48	100.000	100.000
TRATAMIENTO TERMICO	REVENIDO	HORAS	2	150.000	300.000
ENSAYO DESGASTE ABRASIVO	ASTM G 65		1	149.800	149.800
MICROGRAFIA		Según trabajo	1	120.000	120.000
Microscopia electrónica de barrido (SEM)	Microscopia con focal laser y medición de rugosidad	Según trabajo	1	\$180.000	\$180.000
Imprevistos (%)				15%	\$ 776.970
Total					\$ 5.956.770

Tabla 5. Presupuesto de materiales y procesos

Gastos generales					
Generales	Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Fotocopias	Documentación técnica	unidad	200	\$ 50	\$ 10.000
Norma ASTM G 65	Ensayo desgaste abrasivo	unidad	1	\$ 149.800	\$ 149.800
Norma ASTM E-986	Caracterización SEM	unidad	1	\$ 72.000	\$ 72.000
Suministros de oficina	Papelería	unidad	50	\$ 2.000	\$ 100.000
Transportes	Traslados laboratorios/ bibliotecas/Universidades	pasajes	200	\$ 2.200	\$ 440.000
Total					\$ 771.800

Tabla 6. Presupuestos para gastos generales.

10. BIBLIOGRAFÍA.

BARREIRO, José Apraiz. Tratamientos Térmicos De Los Aceros, 8 edición, dossat, s.a. 1984.

" Análisis metalográfico de un acero astm a-131 con tratamiento de temple y revenido desde temperaturas intercríticas ". Disponible en : <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6008/1/galindoca%c3%b1onleidyatiana2017.pdf>

"influencia del temple desde temperaturas intercriticas y revenido a temperatura de 350° c con diferentes tiempos en las propiedades mecánicas tensión - impacto de un acero sae 1045". Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4151>

"efecto del tratamiento criogénico en las propiedades mecánicas de los aceros de herramienta de trabajo en frío" disponible en : <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3210/34099-1.pdf?sequence=1>

"armado estructural de un bloque en una construcción naval" disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcig241a/doc/bmfcig241a.pdf>

"estudio de sostenibilidad de un acero astm a 131 grado dh 36 mediante el proceso gmaw pulsado" disponible en: [Http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/7856](http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/7856)

ASTM. Standard Specification for Structural Steel for Ships, Designation: A 131/A 131M – 014

<http://www.acerosmapa.com.co/index.php/productos/laminas/lamina-hr/lamina-naval-a131-grado-a>

<http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/Tema%2001.pdf>

https://www.alacero.org/sites/default/files/noticias/docs/pr_2017-02-23_produccion-comercio_ene- dic_2016.pdf

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>

http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1537_tratamientostermicosr2.pdf

http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1537_tratamientostermicosr2.pdf

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3210/34099-1.pdf?sequence=1>

<http://www.cbmfg.com/es/heat-treat-cryogenics.php>

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3210/34099-1.pdf?sequence=1>

<http://www.inspt.utn.edu.ar/academica/carreras/67/TPRACTICOS/Tecnologial/Trabajos.Practicos/ENSAYOS.LABORATORIO/1EnsayosMetalografia/2TeoriaMetalografia.pdf>

<https://www.patologiasconstruccion.net/2012/12/la-microscopia-electronica-de-barrido-sem-i-concepto-y-usos/>

<http://www.estudiomercado.cl/colombia/>