

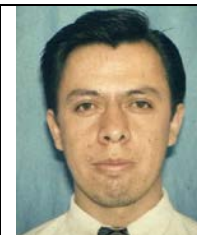
UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO

Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	Alexander
Apellido (s):	Cárdenas Castañeda
Código:	20101275009
E-mail:	2009alexc@gmail.com
Teléfono fijo:	8044884
Celular:	322 3385923



Ejecutor 2

Nombre (s):	Pedro Ferney
Apellido (s):	Gonzalez Cubillos
Código:	20102275013
E-mail:	Memeydebosa@gmail.com
Teléfono fijo:	7837945
Celular:	312 3385923



INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	INFLUENCIA DEL TEMPLE DESDE TEMPERATURAS INTERCRITICAS Y REVENIDO A TEMPERATURA DE 350° CON DIFERENTES TIEMPOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS TENSIÓN – IMPACTO DE UN ACERO SAE 1045	
Duración (estimada):	6 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	
	Monografía	x
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyectos Científicos Comunitarios	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico Local e Institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y Procesos	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Ciencia de los materiales	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

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

CONTENIDO

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
1.1 DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	7
1.2 PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO.....	8
2. ESTADO DEL ARTE.....	9
3. JUSTIFICACION.....	17
4. OBJETIVOS.....	18
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
5. MARCO TEÓRICO	19
5.1 ACEROS	19
5.2 TRATAMIENTO TÉRMICO	19
5.3 DIAGRAMAS TTT Y CCT EN UN ACERO SAE 1045.....	20
5.4 TRANSFORMACIÓN DE FASE DE LOS ACEROS	21
5.5 TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA	22
5.6 CÁLCULO DE TEMPERATURAS A1, A3 Y MS.....	23
5.7 ENSAYO DE DUREZA.....	24
5.8 ENSAYO DE TENSIÓN O TRACCIÓN	25
5.9 ENSAYO DE IMPACTO	25
6. METODOLOGÍA	26
6.1 FASE DOCUMENTACIÓN	26
6.1.1 Documentación técnica.....	26
6.1.2 Documentación de equipos.....	26
6.2 FASE DE FORMULACIÓN.....	26
6.2.1 Análisis de la información.....	26
6.2.2 Planeación y análisis de costos.....	27
6.3 FASE DE EJECUCIÓN.....	27
6.3.1 Adquisición del material.....	27
6.3.2 Alistamiento de equipos	27
6.3.3 Fabricación de probetas.....	27
6.3.4 Tratamiento térmico.....	28
6.3.5 Ensayo de tensión.....	28

6.3.6 Ensayo de impacto (ensayo charpy)	28
6.3.7 Ensayo de dureza	29
6.3.8 Microscopia óptica.....	30
6.4 FASE DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	30
6.4.1 Análisis de datos de los ensayos	30
6.4.2 Conclusiones.....	31
6.5. FASE ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO	31
6.5.1. Construcción final del documento de grado	31
7. CRONOGRAMA	32
8. COSTOS Y FINANCIACIÓN.....	33
9. BIBLIOGRAFIA	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre límite elástico y % de alargamiento	16
Figura 2. Diagrama TTT en un acero SAE 1045.....	20
Figura 3. Diagrama CCT en un acero SAE 1045.....	21
Figura 4. Transformación martensítica	22
Figura 5. Identador cónico	24
Figura 6. Máquina Universal De Ensayos (REF. UH 50-A Shimatzu).....	28
Figura 7. Péndulo de Impacto	29
Figura 8. Durómetro.....	29
Figura 9. Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)	30

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Combinación de cargas.....	24
Cuadro 2. Cronograma	32
Cuadro 3. Presupuesto global.....	33
Cuadro 4. Costo de materiales	33
Cuadro 5. Costos de ensayos.....	34
Cuadro 6. Costos de normas técnicas	34
Cuadro 7. Recurso humano	34

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La producción mundial de acero cerró el 2014 con un crecimiento de 3,0%, hasta alcanzar una cifra récord de 1.627 millones de toneladas. En 2015 arranca el primer bimestre con una caída del 2,4% por caídas de la producción en los mercados de países de la Europa oriental, como los de Turquía y Ucrania. La oferta es impulsada principalmente por China, India y Corea del Sur.¹

En los últimos 15 años, la industria siderúrgica China ha crecido de forma exorbitante. Pasó de fabricar 100 millones a 1.000 millones de toneladas, lo cual representa el 50% de la producción mundial. Las acerías de la nación más poblada del mundo tienen una sobrecapacidad que supera las 425 millones de toneladas.²

En enero 2015, América Latina y el Caribe produjeron 5,5 millones de toneladas de acero crudo, 3% superior al volumen de enero 2014. Brasil representó el 54% del total regional (2,9 millones de toneladas), registrando un crecimiento interanual del 8%. Otro país que logró un incremento en su producción de acero crudo fue Chile, con 3%. Venezuela, en cambio, redujo su producción un 18%.

En el mismo período, América Latina produjo 4,5 millones de toneladas de acero laminado, un volumen similar a enero 2014. Brasil fue el principal productor (2 millones de toneladas), participando con el 45% del total latinoamericano. México fue segundo (1,4 millones de toneladas y 32% del producto regional).

Durante el primer mes del año, el consumo de acero laminado en la región alcanzó 5,7 millones de toneladas, creciendo 1% respecto a enero de 2014. Los mayores incrementos en consumo, tanto en volumen como en términos porcentuales, se registraron en México (que incrementó 196 mil toneladas su consumo, creciendo 11%), Perú (24 mil toneladas y 11%) y Chile (10 mil toneladas, 4%). Por otro lado, Venezuela que atraviesa serias deficiencias económicas, registró una fuerte caída de 18% en su consumo de acero laminado. Del mismo modo, Argentina y Ecuador presentaron contracciones del 9% y 17%, respectivamente.³

¹ ABECED, consultora económica de argentina y américa latina. Producción mundial del acero. [página web] [consultado en octubre de 2015]. Disponible en [<http://www.abeced.com.ar>].

² Revista Metal actual. Acero barato chino pone en riesgo la industria nacional. [página web] [consultado en octubre de 2015]. Disponible en [<http://www.metalactual.com>].

³ Asociación latinoamericana del acero. América Latina: Producción de acero laminado no crece en enero 2015 mientras importaciones aumentan 14%. [pagina web] [consultado en octubre de 2015]. Disponible en [<http://www.alacero.org>].

A nivel nacional la situación con China es crítica, ya que en el primer trimestre del año en curso, los aceros planos producidos en el país, tales como lámina en frío, tuvieron un aumento de las importaciones provenientes de China del 72% en toneladas. Igualmente las ventas chinas de hojalata crecieron en 186%, la lámina galvanizada 100% y la prepintada en 68%. Estas cifras demuestran la fuerte penetración del país asiático en el mercado colombiano.

En productos terminados, pertenecientes a la metalmecánica, la situación no es diferente, viéndose afectados productos como la tubería metálica y los alambres de diferentes tipos, los cuales, en el caso de los no revestidos, crecieron, con origen chino, 497% en el 2014, indica el informe de prensa.⁴

1.1 DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

De acuerdo a los datos proporcionados al inicio del planteamiento del problema, el consumo a nivel latinoamericano es considerable. Igual que a nivel nacional, para sectores como la construcción, metalmecánica, autopartes, infraestructura, entre otros.

El acero es una aleación de hierro con un porcentaje de carbono que varía entre 0.02 - 2,11%, con otro tipo de elementos aleantes y se clasifican en los siguientes grupos: aceros al carbono (bajo, medio, alto carbono), aceros de baja aleación, aceros inoxidables, aceros para herramientas.

Los aceros al medio carbono tiene concentraciones de carbono entre 0.2 y 0.5%, para determinar las propiedades mecánicas de este tipo de materiales y de cualquier otro grupo, se realizan pruebas de laboratorio (tracción, compresión, impacto, dureza, entre otros), ensayos controlados bajo condiciones y normas según la ASTM.

Los aceros de medio carbono poseen un nivel medio de tenacidad, resistencia mecánica, buena ductilidad, obligando a usar lámina más gruesa si se requiere para aplicaciones donde se esté expuesto a impactos, ejemplo, en la industria automotriz; puede ser fácilmente mecanizado en estado recocido, normalizado o templado.

El endurecimiento de un acero de medio carbono se realiza mediante temple esencialmente en agua o aceite. Existe un procedimiento para obtener una microestructura DP (Dual Phase) es necesario llevar el material al campo $\alpha+\gamma$ del

⁴ Diario el espectador. Importaciones de acero laminado crecen en América Latina 20%. [página web] [consultado en octubre de 2015]. Disponible en [<http://elespectador.com>].

diagrama Fe-C, esto es en el rango de temperaturas comprendidas entre A₁ y A₃, llamado también de temperaturas intercríticas. Realizando un enfriamiento rápido desde estas temperaturas. La austenita presente se transforma en martensita obteniendo las dos fases a temperatura ambiente, al aumentar la temperatura desde A₁ cambian las fracciones de los constituyentes modificando las estructuras finales.⁵

Estos grupos de aceros, a partir de un acero de bajo o medio carbono, aumentan la cantidad de energía absorbida en impactos sin romperse, son especialmente adecuados para la fabricación de piezas estructurales y de seguridad para los automóviles, como largueros, travesaños y refuerzos. A nivel mundial Toyota fabrica automóviles con 30% más de resistencia y un mayor factor de seguridad.⁶

1.2 PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO

Los aceros avanzados no son usados en la industria a nivel nacional. La finalidad de este trabajo es aportar a los trabajos de investigación ya realizados sobre la transformación de aceros de medio carbono en materiales de alta resistencia y buena deformación, cambiando las propiedades mecánicas de un acero de medio carbono (SAE 1045), para transformarlo en un acero avanzado doble fase (dual phase), mediante procesos de tratamientos térmicos (temple y revenido), mejorando las propiedades mecánicas de resistencia al impacto y una elongación elevada. Comprobando estos resultados con las pruebas de tensión e impacto, realizando su respectivo análisis.

Las empresas particulares podrán acceder a un nuevo tipo de material sin necesidad de importar el acero doble fase (DP). Así se crea otra alternativa para el consumo de un material avanzado.

⁵ Bohórquez Carlos A. (2012). Influencia del tratamiento térmico desde temperaturas intercríticas en las propiedades mecánicas del acero SAE 1045. Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia

⁶ Revista Expansión. Toyota retiene el título de mayor productor mundial de coches. [página web]. [consultado en marzo de 2014]. Disponible en. [<http://www.expansion.com/>]

2. ESTADO DEL ARTE

En el presente estado del arte encontramos varios de los estudios y proyectos que se han realizado en algunas universidades, sobre la influencia del temple desde temperaturas intercríticas en las propiedades mecánicas de un acero de baja aleación.

Se realizó la búsqueda de fuentes documentales en bases de datos, en diferentes universidades, revistas de universidades, artículos científicos, obteniendo 13 artículos de los cuales se tomaron 6. Uno de la universidad Yazd, uno de la universidad distrital, dos de universidades de México, uno de la Universidad de Oviedo y uno de la universidad libre.

Fereiduni E. (2013). Improvement of mechanical properties in a dual-phase ferrite–martensite AISI4140 steel under tough-strong ferrite formation. Este documento se ha investigado en detalle las propiedades mecánicas del acero AISI 4140 tratado térmicamente hasta obtener un acero (DP) y sus microestructuras ferrita martensita en conjunto con la (CQT) condición martensítica convencional de enfriamiento-templado completo. Para este propósito, se usaron varias probetas DP que contienen diferentes fracciones de volumen de microfases de ferrita y martensita. Esto se ha desarrollado realizando el tratamiento térmico de templado a 600 ° C durante 20-55 s, y enfriamiento en aceite después de haber sido austenizado a 860 ° C durante 60 minutos en la misma situación, en cuanto a la condición de CQT. Finalizo el tratamiento térmico de revenido llevado a cabo a 600° C durante 30 min para los dos casos el revenido produjo martensita y las muestras de acero DP optimizaron la resistencia y ductilidad. Los resultados indican que las microestructuras en aceros DP sobre la fracción de volumen de 7% de límite de grano fino de ferrita en las proximidades de martensita se asocian con excelentes propiedades mecánicas en comparación con la condición CQT.⁷

Bohórquez CA (2012). Influencia del tratamiento térmico desde temperaturas intercriticas en las propiedades mecánicas del acero SAE 1045. En este documento se analizó el efecto sobre la resistencia a la tensión, límite de

⁷ Fereiduni E. (2013). Improvement of mechanical properties in a dual-phase ferrite–martensite AISI4140 steel under tough-strong ferrite formation. Yazd University, Iran. Disponible en <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4283/4209>

elasticidad, ductilidad y dureza de los tratamientos térmicos desde temperaturas intercríticas en un acero SAE 1045. El tratamiento se lleva a cabo seleccionando cuatro temperaturas comprendidas entre A1 y A3, para posteriormente realizar un temple en agua. Basado de un modelo experimental se obtiene el número de probetas necesarias para tener validez estadística. Se fabricaron las probetas de acuerdo a la norma ASTM. Los valores encontrados experimentalmente se comparan con los que se obtienen mediante el modelado matemático del cambio en la microestructura del material. Los resultados muestran la variación en la estructura formada por ferrita y martensita en diferentes porcentajes acorde con la temperatura desde la que se realiza el tratamiento y la influencia de esta estructura en las propiedades finales del acero. Mostrando relación con las referencias pues los valores de esfuerzos de fluencia disminuyen pero aumentan las deformaciones.

En la industria automotriz la preocupación hoy en día es hacer más livianos los vehículos y al mismo tiempo conservar las características mecánicas. En la aplicación estructural de los vehículos las propiedades de alta resistencia y buena deformación es el ideal, como resultado han aumentado las aplicaciones de los aceros de doble fase, contribuyendo para que estructuras como el chasis sean más seguras a un bajo costo.

El modelamiento de los tratamientos térmicos comprenden varios aspectos: mecánico; que incluye deformaciones elásticas y plásticas, térmico y de transformaciones de fase. La principal desventaja es aumentar los esfuerzos internos, puede llegar a ser tan grande la magnitud del esfuerzo que aparecen fisuras en la pieza. Este perjudicial fenómeno aparece como consecuencia de la transformación de austenita en Martensita que conlleva un cambio volumétrico, aproximadamente de un 5% originando el estado de esfuerzos residuales. En conclusión, los resultados de dureza obtenidos mediante la utilización del modelo distan bastante de los valores experimentales cuando el medio de enfriamiento es aceite, sin embargo el modelo es más aproximado cuando el medio es agua. Este comportamiento puede ser ocasionado por la cantidad de austenita que se transforma.⁸

Haduch Z y otros (2007). Aceros de construcción de propiedades especiales. En este documento analizaron la pregunta: ¿Cómo llegar a alta resistencia y buena deformabilidad al mismo tiempo? Aumentando los elementos de aleación

⁸Bohórquez CA. (2013). Influencia del tratamiento térmico desde temperaturas intercríticas en las propiedades mecánicas del acero SAE 1045. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia. Disponible en <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4283/4209>

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 chasis en sus automóviles con 30% de más resistencia y disminución de peso.

La atención de los investigadores en área de ingeniería de materiales está dirigida a búsqueda del material que une las propiedades de alta resistencia mecánica y de fatiga, con relativamente buena ductilidad, soldabilidad y elevada resistencia a la corrosión. Esta tarea es actual especialmente en la industria automotriz en la cual se busca disminuir el peso del vehículo lo que se refleja en menor consumo de gasolina. Otra propiedad buscada es un material que presenta alto grado de endurecimiento por deformación lo que es importante en caso de un choque. Este tipo de aceros por poseer una elevada capacidad de absorber energías a impacto ofrecen una mayor seguridad frente al impacto en caso de accidente. El comportamiento de endurecimiento de los aceros doble fase es muy complejo, especialmente en las primeras etapas. Sin embargo, se cree que el alto rango de endurecimiento inicial contribuye a la buena formabilidad de estos aceros. Se espera que la resistencia de aceros doble fase aumente cuando cualquier fracción volumétrica o resistencia (dureza) de la fase martensita aumenta.

En conclusión La tecnología de fabricación de los aceros de doble fase es relativamente fácil y económica. No necesita grandes inversiones, sin embargo las ventajas que ofrece son de gran calidad en comparación a los aceros convencionales utilizados comúnmente en ingeniería.

El nivel de conocimiento para su fabricación es básico, es necesario cuidar el régimen de temperaturas de austenización y las velocidades de enfriamiento para llegar a los resultados requeridos. Las propiedades mecánicas y tecnológicas son mejores en la de los aceros de composición química comparable. Debido a que la martensita es más resistente al desgaste y a la corrosión que la perlita, también éstos son indicadores de las ventajas ofrecidas por estos tipos de aceros⁹

⁹Haduch Z y otros. (2007). Aceros de construcción de propiedades especiales. Universidad de Monterrey. México. Disponible en <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/15/15-02.pdf>

Quintana MJ. y otros (2010). Propiedades mecánicas de aceros de fase dual de grano ultrafino. En este documento analizaron las propiedades mecánicas de aceros de doble fase de grano ultra fino. Los aceros de doble fase representan una excelente alternativa en la producción de piezas automotrices que combinan alta resistencia mecánica, resistencia al impacto y elongación elevada, que además se fabrican con aceros de baja aleación, lo que representa reducción de costos y estructuras resultantes que combinan martensita y ferrita con granos de tamaño ultra fino. Lo anterior se logra a través de un estricto control de las condiciones de laminación: velocidad de deformación, velocidad de enfriamiento y aplicación de temple directo. El trabajo presenta los resultados al ensayar mecánicamente dos tipos de acero de doble fase y caracterizarlos micro estructuralmente.

Es clave relacionar el porcentaje de fases (martensita y ferrita), así como su composición química de baja aleación con sus propiedades mecánicas, que resultan ser, muy adecuadas para la fabricación de piezas automotrices con alta relación resistencia / peso.

La resistencia de los aceros doble fase, está relacionada con la cantidad de deformación plástica aplicada durante los procesos termo mecánicos en la región intercrítica, debido a la formación de subestructuras en la ferrita. La ferrita epitaxial (fase que crece con procesos termo mecánicos) es la causante de la mejora en el esfuerzo de tensión al incrementar las reducciones de área transversal durante el rolado, además esto se logra sin pérdidas significativas en la ductilidad del material.

En conclusión El proceso termo mecánico avanzado de laminación controlada (ATMCRP) permite, sobre todo a través del templado directo de la chapa de acero, modificar la cantidad de martensita presente en los aceros de doble fase, así como el tamaño y distribución de los granos suaves de ferrita, lo que resulta mecánicamente en productos terminados con resistencias máximas que pueden alcanzar los 800 MPa, lo cual sólo es posible para un acero de baja aleación si la micro estructura formada es de tamaño ultra fino (> 15 ASTM G).

Otro de los aspectos importantes a considerar y que puede resultar en aceros de poca o nula aplicación práctica, es lograr que el coeficiente de endurecimiento por deformación n sea lo suficientemente elevado (>0.1) para evitar inestabilidades y

defectos durante los procesos de doblado y estampado que se utilizan en la fabricación de piezas automotrices o de otras industrias.¹⁰

Cárdenas E y otros (2009). Estudio de las propiedades mecánicas de aceros de doble fase mediante el ensayo miniatura de punzonado. En este documento llevaron a cabo la caracterización micro estructural de diferentes aceros de bajo carbono de la familia de aceros de doble fase (Dual Phase Steels), con límites elásticos variables desde 400 hasta 900 MPa y se ha puesto en evidencia el efecto de la composición química y del tratamiento térmico intercrítico en el dominio austenita + ferrita sobre la microestructura y la resistencia de estos aceros. El comportamiento mecánico de los distintos grados de acero fue caracterizado mediante el ensayo miniatura de punzonado (EMP), utilizando probetas cuadradas de 10 x 10mm y 0.5 mm de espesor. Estas probetas fueron sujetadas firmemente en todo su contorno y expandidas biaxialmente hasta su rotura utilizando un punzón hemisférico de 2.5 mm de diámetro. Todos los ensayos se ejecutaron a temperatura ambiente. Los diferentes parámetros obtenidos en el ensayo se han relacionados con las propiedades mecánicas a tracción de estos aceros.

Los aceros de bajo contenido en carbono, muy poco aleados, requieren un tratamiento intercrítico en el dominio austenita+ferrita, seguido de un enfriamiento lo suficientemente rápido como para transformar la austenita en martensita. Las propiedades finales de estos aceros dependen de la fracción volumétrica de sus dos fases constitutivas, ferrita y martensita, que a su vez dependen de su contenido en carbono, de la temperatura del tratamiento intercrítico y de la facilidad de temple, que a su vez es función del contenido en elementos de aleación y del espesor de la chapa.

Los investigadores han tomado una serie de aceros DP comerciales, que fueron caracterizados micro estructuralmente y se empleó el ensayo miniatura de punzonado (EMP) para realizar su caracterización mecánica. El ensayo miniatura de punzonado es un ensayo que puede considerarse como no destructivo debido al reducido tamaño de las probetas que utiliza (10 x 10 x 0.5 mm de espesor), a partir del cual se pueden obtener parámetros que permiten predecir directamente

¹⁰Haduch Z y otros. (2010) Propiedades mecánicas de aceros de fase dual de grano ultrafino. Universidad Panamericana. México. Disponible en http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2010/A3/A3_34.pdf

las propiedades mecánicas fundamentales del material, como el límite elástico, la resistencia a la tracción, la ductilidad y la energía de rotura.

En conclusión se ha demostrado la idoneidad del ensayo miniatura de punzonado (EMP) en la caracterización mecánica de aceros de fase dual que se obtienen tras un recocido intercrítico seguido de un enfriamiento rápido con objeto de lograr finalmente una microestructura de ferrita y martensita, cuyas fracciones volumétricas dependen esencialmente del contenido de carbono del acero y de la temperatura del tratamiento intercrítico. Los gráficos EMP obtenidos han mostrado una rigidez tanto mayor cuanto mayor era el contenido de carbono del acero y una excelente correlación entre el parámetro EMP, P_y/t_2 (donde P_y es la fuerza para la que se inicia el régimen plástico y t el espesor de la probeta) y el límite elástico de los aceros. Sin embargo el parámetro P_{max}/t_2 (donde P_{max} es la fuerza máxima registrada en el ensayo), que en principio estaría relacionado con la resistencia a la tracción, ha mostrado una alta dispersión, especialmente llamativa en el caso de los aceros más resistentes y frágiles, que se ha justificado en virtud de que la presencia de fases especialmente frágiles pueden en ciertas ocasiones ser capaces de iniciar la fractura de la muestra bajo cargas relativamente bajas.¹¹

En este trabajo Libardo E. y otros (2013). Influencia del tratamiento térmico de temple desde temperaturas intercríticas en las propiedades de tensión, impacto, tenacidad de fractura y coeficiente de endurecimiento del acero (dp) aisi/sae 1045. En este documento estudiaron la influencia de los tratamientos térmicos de doble fase (DP) en un acero AISI/SAE 1045 observando la influencia en sus propiedades mecánicas tales como su resistencia a la tracción, límite de elasticidad, ductilidad y dureza. Las condiciones de trabajo planteadas son cinco temperaturas diferentes (730°C, 745°C, 760°C, 775°C y 790°C), las cuales están comprendidas en la zona limitada por las líneas de temperatura Ac_1 (725°C) - Ac_3 (800°C) del diagrama hierro carbono y la exposición de las probetas al tratamiento térmico de temple, comparando sus propiedades con el material sin tratamiento, con ensayos de tensión, impacto y tenacidad a la fractura.

En conclusión, La propiedad de la resistencia a la tensión aumento aproximadamente el 57,9 % según el ensayo de Tracción para las probetas tratadas a 760°C respecto al material entregado por el fabricante. Se aumentó un 42,8 % aproximado en las propiedades de absorción de energía, según el ensayo

¹¹Cárdenas E y otros (2009). Estudio de las propiedades mecánicas de aceros de doble fase mediante el ensayo miniatura de punzonado. Universidad de Oviedo. Buenos Aires. Disponible en <http://www.gef.es/Congresos/26/pdf/27.pdf>

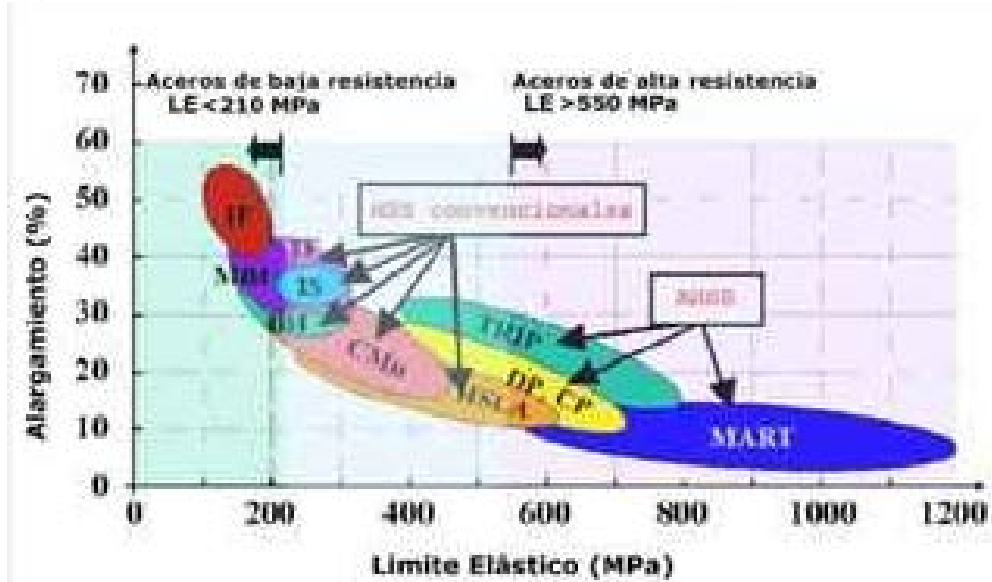
de Impacto para las probetas tratadas a 745°C respecto al material entregado por el fabricante. Según los valores de dureza obtenidos, se aumentó la dureza HRC obtenidas en las probetas de 760°C, 775°C y 790°C de aproximadamente el 400 % comparado con el material entregado por el fabricante. Según la aplicación de ingeniería que se requiera se pueden configurar las condiciones y propiedades mecánicas para tal propósito. Para poder producir un acero doble fase (DP) en donde las propiedades mecánicas cambian (mejora su comportamiento en condiciones de trabajo) es importante controlar muy bien las variables de Temperatura y Tiempo las cuales intervienen en la fase de calentamiento y enfriamiento, debido a que pequeñas variaciones en el tiempo o la temperatura empleada pueden modificar notablemente los resultados del acero por ejemplo dar lugar a distorsiones en la matriz inducidas por el enfriamiento; en donde se quiere que haya microestructuras de ferrita - martensita. El punto de fluencia aumentó un 12% Aproximadamente lo cual hace que este acero AISI/SAE 1045 influenciado con tratamientos térmicos de doble fase (DP) mejore su resistencia a la fatiga sin distorsionar la deformación propia del material. Al realizar el tratamiento térmico y no tener la necesidad de llevar el acero hasta la fase de austenización completa disminuyen los costos del proceso, el cual le da un valor agregado al producto final en comparación con la materia prima sin tratamiento.¹²

Los antecedentes citados hasta el momento se inclinaron al estudio de la modificación de la cantidad de ferrita y martensita en un acero doble fase a partir de un acero base de baja aleación, la comparación de propiedades con un acero DP y el efecto sobre la resistencia a la tensión, límite de elasticidad, ductilidad y dureza.

Por lo anterior el interés de este equipo de trabajo es realizar una investigación enfocada en las pruebas de tensión impacto de un acero SAE 1045, con esfuerzo de fluencia 413 Mpa y deformación 23% (Figura 1), para analizar como la resistencia mecánica del material mejora sus propiedades con el fin de aumentar la cantidad de energía que absorbe el acero sin deformarse hasta la ruptura.

¹² Libardo E. y otros (2013). Influencia del tratamiento térmico de temple desde temperaturas intercríticas en las propiedades de tensión, impacto, tenacidad de fractura y coeficiente de endurecimiento del acero (dp) aisi/sae 1045. Universidad libre. Bogotá. Colombia. Disponible en <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/10901/7826/1/VasquezTorresEdwinLibardo2013.pdf>

Figura 1. Relación entre límite elástico y % de alargamiento



Fuente. http://www.moldesymatrices.com/ThyssenKrupp-Estampacion_en_frio-Chapa.htm

3. JUSTIFICACION

El presente estudio pretende hacer un aporte a los trabajos de investigación ya realizados sobre la transformación de aceros de medio carbono en materiales de alta resistencia y buena deformación. Es escasa la información de estos nuevos materiales transformados y nula la aplicación a nivel nacional. Los aceros doble fase abren la posibilidad de adquirir por parte de las compañías nacionales aceros especiales sin la necesidad de importar.

En el mercado los aceros de medio carbono en este caso SAE 1045 son de fácil adquisición por su bajo costo, que no requiere de procesos complejos para la transformación.

La mayor parte de la documentación sobre los estudios son para aplicaciones en la industria automotriz, Compañías como Toyota han adoptado la investigación y el estudio de materiales aleados, transformando las propiedades mecánicas mediante procesos de temple y revenido para convertirlos en materiales resistentes, con un 30% más de resistencia, con mayor ductilidad, soportando mayores esfuerzos y deformaciones.¹³

A nivel nacional, no se cuenta con empresas de autopartes que investiguen la transformación de aceros de medio carbono en aceros doble fase, para que sean utilizados en cualquier tipo de vehículo sin generar un mayor sobre costo.

¹³ Toyota retiene el título de mayor productor mundial de coches. [consultado el 10 mayo de 2014]. Disponible en [<http://www.expansion.com/2014/01/23/empresas/motor/1390474498.html>].

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

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.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar el Diseño experimental para determinar el número de probetas a utilizar en los diferentes tratamientos.

Realizar el tratamiento térmico de temple y revenido a temperatura de 350°C, en probetas de acero SAE 1045, por intervalos de tiempo de 15, 30, 45 y 60 minutos.

Realizar los ensayos según las norma ASTM E-8 de tensión y E-23 de impacto a los diferentes grupos de probetas.

Establecer cómo influyen los cambios microestructurales después de la secuencia de tratamientos en las probetas de acero SAE 1045.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 ACEROS

Los aceros son aleaciones de hierro-Carbono, comúnmente llevan contenidos porcentajes de otros elementos aleantes. Las propiedades mecánicas dependen del porcentaje de Carbono, generalmente son inferiores al 1%. Los aceros son clasificados según el contenido de carbono: bajo, medio y alto carbono.

El acero SAE 1045 de medio carbono es un acero considerado de baja templabilidad, de baja aleación, de bajo costo, proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad por ello es de fácil maquinabilidad inclusive en estado de temple.

5.2 TRATAMIENTO TÉRMICO

El tratamiento térmico para formar martensita consiste en dos pasos: austenitización, temple y revenido. La austenitización implica calentamiento del acero a una temperatura lo suficiente alta para convertirlo parcialmente en austenita (aprox. entre los 727 y 1.500°C). Y el revenido es un enfriamiento hasta obtener una estructura martensítica.¹⁴

Un acero aleado de alta templabilidad es aquel que se endurece, o forma martensita, no solo en la superficie sino también en su interior. La templabilidad es un parámetro utilizado para averiguar la influencia de la composición en la susceptibilidad a la formación de micro estructura predominantemente martensítica. Un procedimiento estándar utilizado para determinar la templabilidad

¹⁴<http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=ppt%20tratamientos%20termicos%20del%20acero&source=web&cd=1&ved>

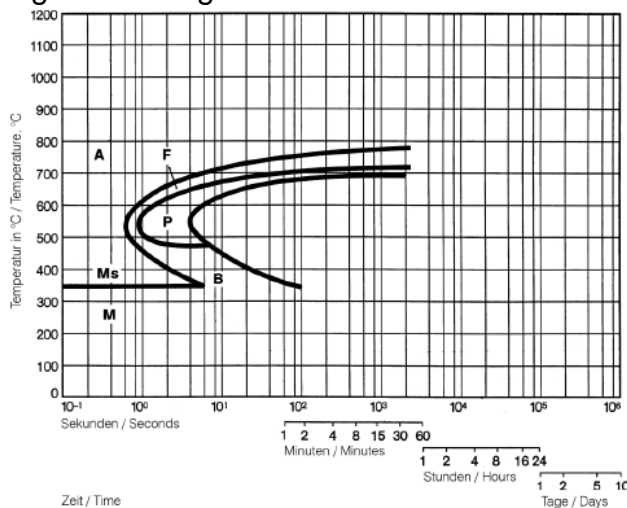
es el ensayo jominy que permite trazar las curvas de templabilidad. Los medios de temple son agua, aceite y aire.¹⁵

Dependiendo de la templabilidad, la velocidad de enfriamiento (medio refrigerante) y tamaño de la pieza, el resultado del temple es un metal muy duro y de mucha resistencia mecánica.¹⁶

5.3 DIAGRAMAS TTT Y CCT EN UN ACERO SAE 1045

TTT (diagrama de transformación tiempo temperatura, figura 2), CCT (diagrama de enfriamiento continuo, figura 3), son proporcionados por los diferentes fabricantes de aceros como ayuda a fin de obtener las propiedades deseadas. Estos diagramas varían de acuerdo a las diferentes composiciones que se encuentran en los yacimientos donde se extrajo la materia prima.

Figura 2. Diagrama TTT en un acero SAE 1045

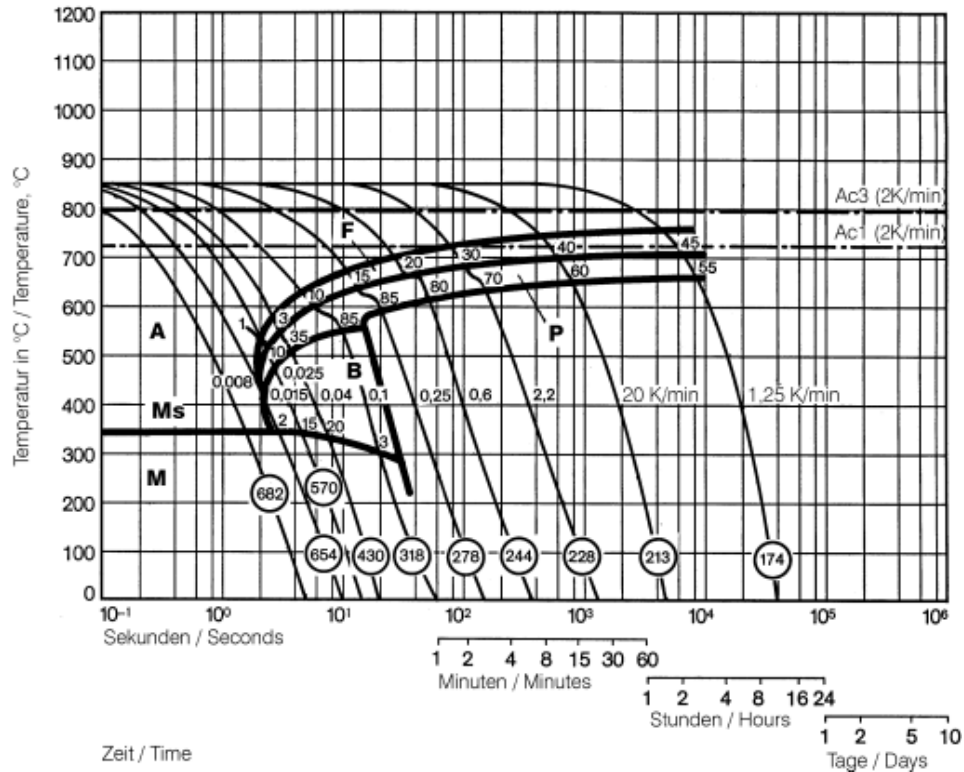


Fuente: Manual de laboratorio Centro don Bosco

¹⁵<http://www.decmecanico.files.wordpress.com/2010/07/2Ftratamientos-termicos2.ppt&ei=aZyBUcb9PIrJ0gGQ7oCYCQ&usg=AFQjCNE9wi8OdO-ovr9FLIds6OUzECD4uQ> 2 Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Callister William.

¹⁶<http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=ppt%20tratamientos%20termicos%20del%20acero&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fdecmecanico.files.wordpress.com%2F2010%2F07%2Ftratamientos-termicos2.ppt&ei=aZyBUcb9PIrJ0gGQ7oCYCQ&usg=AFQjCNE9wi8OdO-ovr9FLIds6OUzECD4uQ>

Figura 3. Diagrama CCT en un acero SAE 1045



Fuente: Manual de laboratorio Centro don Bosco

Los diagramas TTT se obtienen utilizando principalmente dos métodos: por metalografía y por dilatometría. En el primer método se utilizan pequeñas probetas de acero, las cuales se austenitizan y se templean en un baño de sal o plomo líquidos a temperatura fija y constante entre A1 y Ms. después de tiempos diferentes, se sacan las probetas del baño y se templean en agua (a temperatura ambiente), de modo que la austenita no transformada aún, se transforme en martensita. De esta forma se puede evaluar metalográficamente el porcentaje de austenita transformada en función de la temperatura y el tiempo.

5.4 TRANSFORMACIÓN DE FASE DE LOS ACEROS

Mediante los procesos de tratamientos térmicos los aceros sufren cambio a nivel micro estructural como el crecimiento del grano.

El primer proceso de transformación es la nucleación que es la formación de sub partículas que son núcleos de una nueva fase. El segundo es incremento del tamaño de las sub partículas desapareciendo la fase madre. La evolución del cambio de fase de un sólido se comporta cinéticamente y se calcula con la expresión de Avrami.

Ecuación 1:

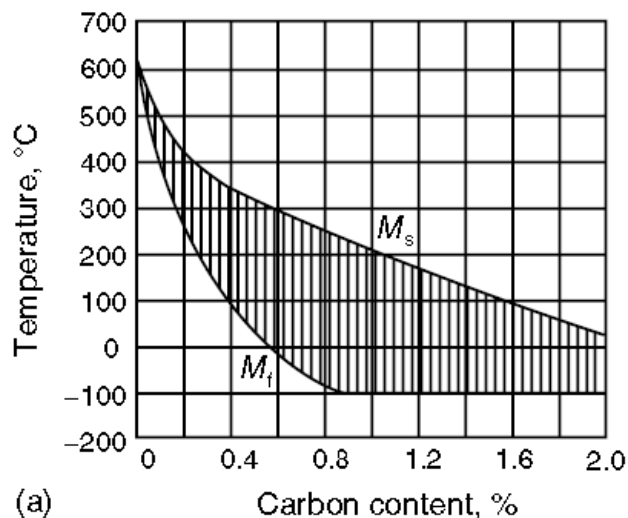
$$f = 1 - \exp(-kt^n)$$

Donde f es la fracción volumétrica, k y n son constantes independientes del tiempo, t es el intervalo de tiempo isotérmico. La constante k es la velocidad de nucleación y crecimiento de las sub partículas.

5.5 TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA

Depende de la refrigeración después de haberse llevado a una temperatura A_1 disminuyendo la difusión del carbono. La transformación de austenita en martensita (figura 4), se inicia a una temperatura determinada M_s (inicio de la martensita), se visualiza en forma de agujas y ocurre con una velocidad cercana a la velocidad del sonido en el acero. Para que siga la transformación de la austenita es necesario bajar a una temperatura mínima llamada M_f (final de la martensita).

Figura 4. Transformación martensítica



Fuente: ASM Handbook. "Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials"

5.6 CÁLCULO DE TEMPERATURAS A1, A3 Y MS

En el diagrama de hierro- carbono encontramos zonas de temperatura A1, A2 y A3. La zona ubicada en las temperaturas A1 y A3, es conocida como una zona de doble fase por la presencia de austenita y ferrita. Las temperaturas se calculan con las siguientes expresiones:

Ecuación 2:

$$\begin{aligned} \mathbf{Ac1} = & 723 - 7.08 \text{ Mn} + 37.7 \text{ Si} + 18.1 \text{ Cr} + 44.2 \text{ Mo} + 8.95 \text{ Ni} + 50.1 \text{ V} + 21.7 \text{ Al} \\ & + 3.18 \text{ W} + 297 \text{ S} - 830 \text{ N} - 11.5 \text{ C Si} - 14.0 \text{ Mn Si} - 3.10 \text{ Si Cr} \\ & - 57.9 \text{ C Mo} - 15.5 \text{ Mn Mo} - 5.28 \text{ C Ni} - 6.0 \text{ Mn Ni} \\ & + 6.77 \text{ Si Ni} - 0.80 \text{ Cr Ni} - 27.4 \text{ C V} + 30.8 \text{ Mo V} - 0.84 \text{ Cr}^2 - 3.46 \text{ Mo}^2 \\ & - 0.46 \text{ Ni}^2 - 28 \text{ V}^2 \end{aligned}$$

Ecuación 3:

$$\begin{aligned} \mathbf{Ac3} = & 912 - 370 \text{ C} - 27.4 \text{ Mn} + 27.3 \text{ Si} - 6.35 \text{ Cr} - 32.7 \text{ Ni} + 95.2 \text{ V} + 190 \text{ Ti} + 72 \text{ Al} \\ & + 64.5 \text{ Nb} + 5.57 \text{ W} + 332 \text{ S} + 276 \text{ P} + 485 \text{ N} - 900 \text{ B} + 16.2 \text{ C Mn} \\ & + 32.3 \text{ C Si} + 15.4 \text{ C Cr} + 48 \text{ C Ni} + 4.32 \text{ Si Cr} - 17.3 \text{ Si Mo} - 18.6 \text{ Si Ni} \\ & + 4.8 \text{ Mn Ni} + 40.5 \text{ Mo V} + 174 \text{ C}^2 + 2.46 \text{ Mn}^2 - 6.86 \text{ Si}^2 + 0.322 \text{ Cr}^2 \\ & + 9.9 \text{ Mo}^2 + 1.24 \text{ Ni}^2 - 60.2 \text{ V}^2 \end{aligned}$$

Para realizar cálculos de las temperaturas es necesario tener la composición química del material a tratar térmicamente. Generalmente un acero normalizado a la hora de su compra, el fabricante hace entrega de un documento con la composición química y propiedades mecánicas del material.

La martensita comienza a formarse a una temperatura característica de cada acero y se calcula con una de las siguientes fórmulas:

Ecuación 4

$$\begin{aligned} \text{Ms} &= 539 - 423 \text{ C} - 30.4 \text{ Mn} - 17.7 \text{ Ni} - 12.1 \text{ Cr} - 11.0 \text{ Mo} \\ \text{Ms} &= 512 - 453 \text{ C} - 16.9 \text{ Ni} - 9.5 \text{ Mo} + 217 \text{ C}^2 - 715 \text{ C Mn} + 15 \text{ Cr} - 67.6 \text{ C Cr} \end{aligned}$$

5.7 ENSAYO DE DUREZA

La dureza es la propiedad que tiene un material en su capa superficial para resistir deformaciones plásticas, elásticas y destrucciones, por esfuerzos. El ensayo Rockwell es un método en el cual se mide la resistencia de un material a ser penetrado. El estándar ASTM E 18-05 define este ensayo como de indentación en el cual una máquina calibrada con un indentador cónico-esferoidal de diamante o una esfera de acero endurecido (acero o carburo de tungsteno), a condiciones específicas, penetra la superficie de la probeta bajo la acción de una carga previa, que se mantiene hasta el final del ensayo, luego se expone a una carga total $P_t = P_o + P_i$, aumentando la profundidad, el sistema se recupera y ya es posible la medición de la profundidad, la cual determina el número de dureza Rockwell.

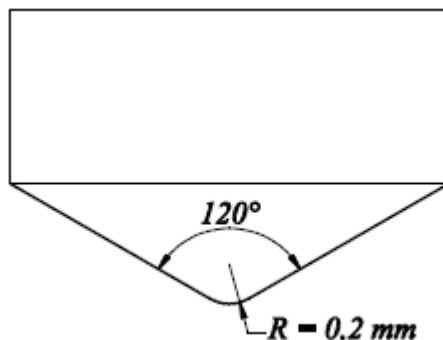
Cuadro 1. Combinación de cargas

Carga previa P_o [Kgf]	10		
Carga principal P_i [Kgf]	50	90	140
Carga total P_t [Kgf]	60	100	150

Fuente: Apraiz, José, 1995. Tratamiento térmico de los aceros.

Para la toma de durezas se encuentran indentadores esféricos con diámetros de: 1/16", 1/8", 1/4", 1/2". En el caso del indentador cónico presentan las dimensiones que se ven en la figura 5.

Figura 5. Identador cónico



Fuente: Apraiz, José, 1995. Tratamiento térmico de los aceros.

5.8 ENSAYO DE TENSIÓN O TRACCIÓN

Los ensayos de tensión son utilizados para determinar propiedades mecánicas como resistencia al límite elástico, resistencia a la tracción, ductilidad, mediante la aplicación de una fuerza estática, que es la mejor forma para encontrar las propiedades mecánicas de los metales. Consiste en alargar una probeta por fuerza de tensión continua, a medida que se aumenta la carga se estudia la deformación que se produce.

La ductilidad es la propiedad que tiene un material a soportar deformación sin romperse. Cuando un material está sometido a tracción sus secciones transversales son sometidas a cargas normales uniformemente repartidas para producir su alargamiento.

La norma ASTM E-28 describe los métodos que se utilizan en los ensayos de tensión, además, se aplican para diferentes formas de materiales metálicos como: varilla, tubo, hojas metálicas, placas, alambres. Para las diferentes presentaciones donde se va aplicar el ensayo, la norma define dimensiones y geometrías convenientes al ensayo.

5.9 ENSAYO DE IMPACTO

El ensayo de impacto permite determinar la cantidad de energía absorbida por situaciones de cargas instantáneas, cuando el material sufre un golpe repentino la velocidad de deformación es extremadamente rápida.

La norma ASTM E-23 describe los métodos (Charpy e Izod) para realizar los ensayos en probetas metálicas. Los ensayos dinámicos consisten en dejar caer un péndulo con una velocidad entre 3m/s y 6 m/s (según norma).

6. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolla siguiendo la planeación de las fases descritas a continuación.

6.1 FASE DOCUMENTACIÓN

6.1.1 Documentación técnica

Se plantea el problema de investigación, posteriormente se recoge, clasifica y sistematiza la información previa de trabajos de grado, artículos científicos y libros sobre los aceros doble fase.

La información se clasificará comparando las fuentes encontradas de acuerdo con: tipo de recursos (informáticos o físicos), herramienta de búsqueda (bases de datos, catálogos de bibliotecas, etc.), temáticas (tratamientos térmicos, medios de enfriamiento, análisis metalográficos, ensayos de dureza, ensayos de tensión, ensayo de impacto).

6.1.2 Documentación de equipos

Consiste en la recopilación de manuales de operación, fichas técnicas, normas de seguridad de los equipos que se utilizaran para el desarrollo del proyecto de investigación, tales como tornos, fresadoras universales, hornos de mufla, equipos para ensayos de tensión e impacto, equipo de toma de dureza y metalográficas.

6.2 FASE DE FORMULACIÓN

6.2.1 Análisis de la información

Con base en la información obtenida de la fase anterior se procede a la estructuración y formulación metódica de los ensayos a realizar sobre probetas de

acero SAE 1045 para el cambio de sus propiedades mecánicas. Se establece el método para el análisis de los resultados, basados en la proyección de resultados que se obtendrán en las pruebas.

6.2.2 Planeación y análisis de costos

Con el esquema de trabajo para el desarrollo del proyecto de investigación definido, se procede a la asignación de tareas, la transformación del acero SAE 1045 de acuerdo a los objetivos planteados, analizando el costo de cada tarea desde la adquisición de las materias primas, normas, tutorías, fabricación de probetas y costos por utilización de equipos.

6.3 FASE DE EJECUCIÓN

6.3.1 Adquisición del material

Los ensayos de tensión e impacto (ensayo de impacto charpy), según normas ASTM E8 y ASTM E23 indican dimensiones para la fabricación de las probetas de ensayo, se adquiere el acero SAE 1045 certificado de acuerdo a la cantidad de probetas.

6.3.2 Alistamiento de equipos

Según la norma para cada uno de los ensayos, la documentación técnica, análisis de los manuales de manejo y seguridad de los equipos involucrados, se inspeccionarán, pondrán a punto y se dará inicio a los procesos de fabricación, tratamientos térmicos y ensayos de tensión e impacto.

6.3.3 Fabricación de probetas

Se procede a realizar el diseño experimental para determinar el número de probetas a fabricar, para realizar la cantidad de ensayos necesarios. Se realizará la fabricación de probetas de acuerdo con las dimensiones de la normas ASTM para cada uno de los ensayos.

6.3.4 Tratamiento térmico

Tomando una temperatura de 350°C, para un acero SAE 1045, se realizan ensayos adicionando 50°C y disminuyendo 50°C a la temperatura mencionada en tiempos de 15, 30, 45 y 60 minutos, en grupos de tres probetas para cada temperatura y tiempo.

6.3.5 Ensayo de tensión

Se procede a realizar los ensayos de tensión (figura 6), bajo la guía de la norma ASTM - E8, haciendo este ensayo a una probeta sin tratamiento térmico y a probetas tratadas térmicamente para analizar el cambio de las propiedades mecánicas, cumpliendo con las normas de seguridad.

Figura 6. Máquina Universal De Ensayos (REF. UH 50-A Shimatzu)



Fuente. (Guía Laboratorio Mecánica de Materiales)

6.3.6 Ensayo de impacto (ensayo charpy)

Se procede a realizar ensayos de impacto (figura7), bajo la guía de la norma ASTM E23, haciendo este ensayo a una probeta sin tratamiento térmico y a probetas tratadas térmicamente para analizar el cambio de las propiedades mecánicas, cumpliendo con las normas de seguridad.

Figura 7. Péndulo de Impacto



Fuente. http://www.udistrital.edu.co:8080/image/image_gallery?uuid

6.3.7 Ensayo de dureza

Siguiendo la norma ASTM E18-05 se procede a la toma de durezas a las probetas tratadas térmicamente, para conocer su dureza en escala Rockwell, utilizando el durómetro (figura 8), de la universidad distrital francisco José de caldas.

Figura 8. Durómetro



Fuente. Propia

6.3.8 Microscopia óptica

Se realiza este ensayo metalográfico por medio de micrografías, para determinar la estructura cristalina formada en la probetas tratadas térmicamente, siguiendo los parámetros para el uso de los equipos y desarrollo del ensayo. Este ensayo se va a realizar en el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) de la Universidad de los Andes (Figura 9).

Figura 9. Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)



Fuente. <https://investigaciones.uniandes.edu.co/index.php/es/centro-de-microscopia/microscopio-electronico-de-barrido-meb>

6.4 FASE DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

6.4.1 *Análisis de datos de los ensayos*

Se recopilan los datos de los ensayos de tensión, impacto, dureza y metalográficos, para el análisis respectivo y evaluar las nuevas propiedades mecánicas obtenidas después de tratar térmicamente las probetas en las condiciones proyectadas.

6.4.2 Conclusiones

Se realiza un breve resumen de los datos obtenidos y las diferentes variables que se presentaron en el desarrollo de la fase de ejecución para la obtención de las propiedades deseadas en probetas de acero SAE 1045.

6.5. FASE ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO

6.5.1. Construcción final del documento de grado

Se procede a la digitalización de los resultados obtenidos y las conclusiones de la INFLUENCIA DEL TEMPLE DESDE TEMPERATURAS INTERCRITICAS Y REVENIDO A TEMPERATURA DE 350° CON DIFERENTES TIEMPOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS TENSIÓN – IMPACTO DE UN ACERO SAE 1045.

7. CRONOGRAMA

Cuadro 2. Cronograma

		Cronograma de actividades																												
		Duración de actividades (semanas)																												
Fase	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
		1. Documentación	Documentación teórica																											
Documentación de equipos																														
2. Formulación	Análisis de la información																													
	Planeación y análisis de costos																													
3. Ejecución	Adquisición del material																													
	Fabricación de probetas																													
	Tratamientos térmicos (temple y revenido)																													
	Alistamiento de equipos																													
	Ensayos de tensión																													
	Ensayos de impacto charpy																													
	Ensayos de Dureza																													
	Microscopia Óptica																													
4. Análisis y procesamiento de datos	Análisis de datos en ensayos																													
	conclusiones																													
5. Elaboración de documento	Construcción final documento de grado																													

Fuente. Los autores

8. COSTOS Y FINANCIACIÓN

Cuadro 3. Presupuesto global

PRESUPUESTO GLOBAL		
Duración estimada		24 semanas
Descripción	Costo	Financiación
Ejecutores	2.880.000	Ejecutores
Tutor	1.200.000	Universidad
Servicios ocasionales**	80.000	Ejecutores
Asesorías	576.000	Ejecutores
Total Recurso Humano + prestaciones	4.656.000	
Material y proceso manufactura	1.119.000	Ejecutores
Costo Ensayos	5.533.500	Universidad
Costos Documentación	576.000	Ejecutores
Subtotal	16.374.500	Universidad+Ejecutores
Imprevistos*	573.729	Ejecutores
Total estimado	17.194.229	Universidad+Ejecutores
**promedio papelería y transportes		
*prueba química material		

Fuente. Los autores

Cuadro 4. Costo de materiales

COSTO DE MATERIALES Y MANUFACTURA					
Item	Materiales y Procesos	Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Total
1	Barras de Acero diámetro de 3/4" por 1 metro	Acero SAE 1045	6	8.167	49.000,00
2	placa de acero 320 x320x10	Acero SAE 1045	1	170.000	170.000,00
3	fabricación Probeta ASTM E-23	Acero SAE 1045	30	10.000	300.000,00
4	Fabricación Probeta ASTM E8	Acero SAE 1045	30	20.000	600.000,00
5	TOTAL				1.119.000,00

Fuentes. Los autores

Cuadro 5. Costos de ensayos

COSTOS DE ENSAYOS				
Ensayos	Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Total
Tensión	ASTM E-8	30	93.450	2.803.500,00
Dureza	Rockwell	30	45.000	1.350.000,00
Impacto Charpy	ASTM-23	30	40.000	1.200.000,00
microscopio electrónico de barrido		1(hora)	180000(hora)	180.000,00
TOTAL				5.533.500,00

Fuente. Los autores

Cuadro 6. Costos de normas técnicas

COSTOS DOCUMENTACIÓN					
Descripción	Detalle	Medida	Cantidad	Valor/unidad	Total
Norma ASTM E-8	Ensayo Tension	Unidad	1	192.000,00	192.000,00
Norma ASTM E-18	Dureza Rockwell	Unidad	1	192.000,00	192.000,00
Norma ASTM E-23	Ensayo Charpy	Unidad	1	192.000,00	192.000,00
Total					576.000,00

Fuente. Los autores

Cuadro 7. Recurso humano

RECURSO HUMANO						
Descripción	Cantidad Personal	Horas(semana)*	Valor hora	Subtotal	TOTAL	
Ejecutores	2	6	20.000,00	120.000,00	2.880.000,00	
Tutor	1	2	25.000,00	50.000,00	1.200.000,00	
Asesorías*	3	2	12.000,00	24.000,00	576.000,00	
Total				194.000,00	4.656.000,00	
*promedio horas asesorias sobre procesos de manufactura						

Fuente. Los autores

9. BIBLIOGRAFIA

STANDARD TEST METHODS FOR NOTCHED BAR IMPACT TESTING OF METALLIC MATERIALS (ASTM) INTERNATIONAL E18-05, Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials, E 18

STANDARD TEST METHODS FOR NOTCHED BAR IMPACT TESTING OF METALLIC MATERIALS (ASTM) INTERNATIONAL E23, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, E 23-82

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008 110P.

CALLISTER, William. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Bogotá. Reverté.

GORNI, Antonio Augusto. Steel forming and heat treating handbook.

BOHÓRQUEZ, Carlos. Influencia del tratamiento térmico desde temperaturas intercríticas en las propiedades mecánicas del acero sae 1045. Bogotá, 2012.

HADUCH GUAJARDO, Zygmunt Joel. Aceros de construcción de propiedades especiales. México, 2007.

QUINTANA GOZALEZ, José Roberto. Propiedades mecánicas de aceros de fase dual de grano ultrafino. México, 2010.

CÁRDENAS RODRIGUEZ. Estudio de las propiedades mecánicas de aceros de doble fase mediante el ensayo miniatura de punzonado. España, 2009.

FEREIDUNI E, Improvement of mechanical properties in a dual-phase ferrite–martensite AISI4140 steel under tough-strong ferrite formation. Iran 2013

