


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):	Germán Andrés	
Apellido (s):	Lozano Vela	
Código:	20111275020	
E-mail:	gerheavy@hotmail.com	
Teléfono fijo:		
Celular:	3142101245	

Ejecutor 2

Nombre (s):	Carlos Ernesto	
Apellido (s):	Rincón Céspedes	
Código:	20111275043	
E-mail:	Carloserrincon@hotmail.com	
Teléfono fijo:	7152908	
Celular:	3112975263	

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	COMPARACIÓN ENTRE LA INFLUENCIA DE LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN UN ACERO AISI 1045 TRATADO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS Y EL TEMPLE EN AGUA Y EN ACEITE.	
Duración (estimada):	6 Meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:		
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y procesos de manufactura.	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:		

INFORMACIÓN PASANTÍA

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

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

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

Tabla deContenido

1.	Planteamiento del problema	3
2.	Estado del Arte	7
2.1	Antecedentes	7
2.2	Los aceros empleados actualmente	9
2.3	TRANSFORMATION-INDUCED PLASTICITY (TRIP)	10
2.4	Aceros de embutición.	13
3.	Justificación	14
4.	OBJETIVOS	16
	Objetivo general	16
	Objetivos específicos.....	16
5.	Marco Teórico	17
5.1	Que es el TRIP?	17
5.2	¿Qué es el temple?.....	18
5.3	Laminación	20
5.3.1	Laminación en caliente.....	20
5.3.2	Laminado en frío	20
5.4	NORMA ASTM E-562	21
5.5	Metalografía	21
6.	Metodología	24
6.1	Fase de documentación	24
6.2	Fase análisis conceptual	24
6.2.1	Sub Fase del diseño del experimento.	24
6.3	Fase de ejecución	24
6.4	Fase de evaluación.	25
7.	Cronograma.....	26
8.	Presupuesto	27
9.	Bibliografía	29

1. Planteamiento del problema

El acero es una mezcla de hierro y carbono que contiene otros elementos aleantes, que le proporcionan un cambio en sus propiedades mecánicas específicas, para ser empleados en la industria metalmeccánica. Sus aplicaciones dependen principalmente al porcentaje de elementos aleantes que contengan. Los principales elementos de aleación son: Cromo (Cr), Tungsteno (W), Manganeso (Mn), Níquel (Ni), Vanadio (V), Silicio (Si) y Molibdeno (Mo). También en su composición contienen una pequeña proporción de impurezas como Azufre (S) y Fósforo (P). El cual se puede deformar empleando procesos de laminación para obtener formas o perfiles acordes a la aplicación que se desee.

Una de los posibles usos del acero es para la elaboración de módulos embutidos de acero, que constituyen una de las operaciones de gran importancia en los procesos de producción en serie. Mediante esta práctica se logran obtener de piezas de gran calidad y homogeneidad. En la actualidad, la chapa estampada es empleada en un sin número aplicaciones industriales, como en carrocerías de automóviles, partes de aviones, ruedas de carretillas, etc. Ésta paulatinamente ha venido sustituyendo a la soldadura, los tornillos y pernos para unir partes, de manera de tener una única pieza en vez de un conjunto complejo de partes. Existen dos tipos de acero que generalmente se emplean para la producción de láminas para estampado y se denominan aceros convencionales (HSS) y aceros avanzados de alta resistencia (AHSS).

La principal diferencia entre los aceros convencionales (HSS) y los aceros avanzados de alta resistencia o Advanced High Strength Steels (AHSS) se encuentra en su micro estructura.

Los HSS son aceros que cuentan con una única fase, la ferrítica. En cambio, los AHSS son aceros que tienen una estructura formada de diferentes fases, según el tipo de AHSS del que se trate. Pueden contener ferrita, martensita, bainita y austenita retenida en cantidades suficientes para producir unas propiedades mecánicas únicas. Algunos de estos AHSS tienen una mayor capacidad de endurecimiento por deformación o trabajo en frío. Esta alta capacidad de endurecimiento por deformación permite aumentar la resistencia mecánica del acero sin reducir su conformabilidad, e incluso aumentarla, al resistir mejor la estricción localizada durante su conformado.¹

¹M. Zhang & al., "Diagramas de enfriamiento continuo de transformación y propiedades de los aceros TRIP micro-aleado", Ciencia de los Materiales e Ingeniería A 438-440, 2006.

La buena combinación de resistencia y conformabilidad de los aceros AHSS se consigue gracias a la combinación controlada de fases estables y meta estables en una micro estructura fina, la cual se ve significativamente modificada en el proceso de conformado. Estos materiales son relativamente blandos y aumentan su resistencia al ser deformados, siendo, por lo tanto, fácilmente conformables y extremadamente resistentes una vez han sido deformados (del orden de 4 a 5 veces más que un acero convencional). Además, gracias a su capacidad de ganar resistencia con la deformación, pueden ser embutidos con menor riesgo de rotura, pues las zonas más deformadas y con más tendencia a rasgarse, son las que más resistencia desarrollan.²

El sector automotriz constituye el segundo mercado del acero después de la construcción y obra pública. Chasis y carrocerías, piezas del motor, la dirección o la transmisión, instalación de escape, etc., son de acero, con lo que este representa del 55 al 70% del peso del automóvil.³

Hoy en día, los aceros de alta resistencia convencionales (HSS) permiten una producción a menor costo de vehículos más ligeros, principalmente debido a las ventajas que presentan respecto a otras aleaciones ligeras:

- El acero tiene una buena embutibilidad en elementos de carrocería.
- Presenta una buena soldabilidad en comparación con el aluminio.
- Es fácilmente reciclable.

En los últimos años en el sector automotriz está dando importantes cambios en cuanto a las exigencias a los nuevos modelos: más seguridad en las pruebas de impacto pero con un menor peso para conseguir una reducción del consumo y en consecuencia menor contaminación. Para cumplir estas exigencias se están incorporando entre otros materiales los aceros de alta resistencia AHSS, que por sus altas características permiten reducir los espesores en piezas de la carrocería, tales como los Montantes B, Montantes A, Taloneras, Refuerzos Laterales, etc. (la fig.1.1 muestra aplicaciones de diferentes AHSS en el refuerzo de automóviles, y la fig.1.2 aplicaciones en elementos de refuerzo que deben absorber impactos).

²European Automobile Industry Report 2005.ACEA - European Automobile Manufacturers Association (2005).

³ Foresight Vehicle Technology Roadmap: Technology and Research Directions for Future Road Vehicles. SOCIETY OF MOTOR MANUFACTURERS AND TRADERS (2004).

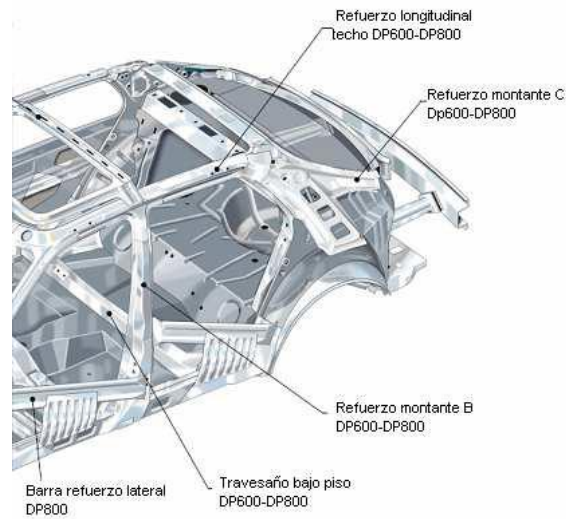


Fig.1.1-Aplicaciones DP en acero estructural del automóvil.⁴



Fig. 1.2- Montantes A, B y aplicaciones de AHSS para absorber impactos.⁴

La elevada resistencia de estos aceros hace factible el desarrollo de diseños eficientes en términos de masa, que economizan el consumo de combustibles, mientras que de manera simultánea, generan un incremento en la resistencia a los impactos en colisiones. A diferencia de muchos otros materiales competitivos, los AHSS pueden cumplir con estos objetivos sin causar un aumento en el costo total para el fabricante. Diversos diseños conceptuales de vehículos completos y diseños conceptuales de los subsistemas han presentado un ahorro del 25 por ciento en términos de masa, sobre aquellos diseños convencionales actuales que usan aceros de alta resistencia, en tanto que a la vez logran

⁴ Ronald p. krupitzer, dr. Roger A. Heimbuch, Metalforming / Primavera 2006, <http://www.mexico.pma.org>.

una mejoría en la resistencia al impacto por colisiones, sin causar un aumento en los costos.⁵

En los últimos años una gran variedad de aceros AHSS han sido desarrollados para mejorar las prestaciones que ya ofrecían los grados tradicionales. Pero, debido a que cada día son mayores las exigencias del mercado, es necesario además, optimizar la relación de los tratamientos térmicos y cuantificar la mejora que podrían tener sobre las propiedades mecánicas y microestructurales del material. La elevada resistencia mecánica de estos aceros avanzados, conlleva utilizar mayores presiones durante su conformado y en general aumenta la dificultad de todo el proceso, entre los principales problemas asociados a la incorporación de los AHSS se encuentran el desgaste mucho más severo de las herramientas de conformado, e incluso su rotura prematura tras la fabricación de pocas piezas. Otro problema de suma importancia es la ausencia de datos metalúrgicos detallados del acero como lo son sus propiedades mecánicas y microestructurales lo que con que implica que el sector metal-mecánico presente inconvenientes para conformarlos y fabricar correctamente componentes a partir de ellos.

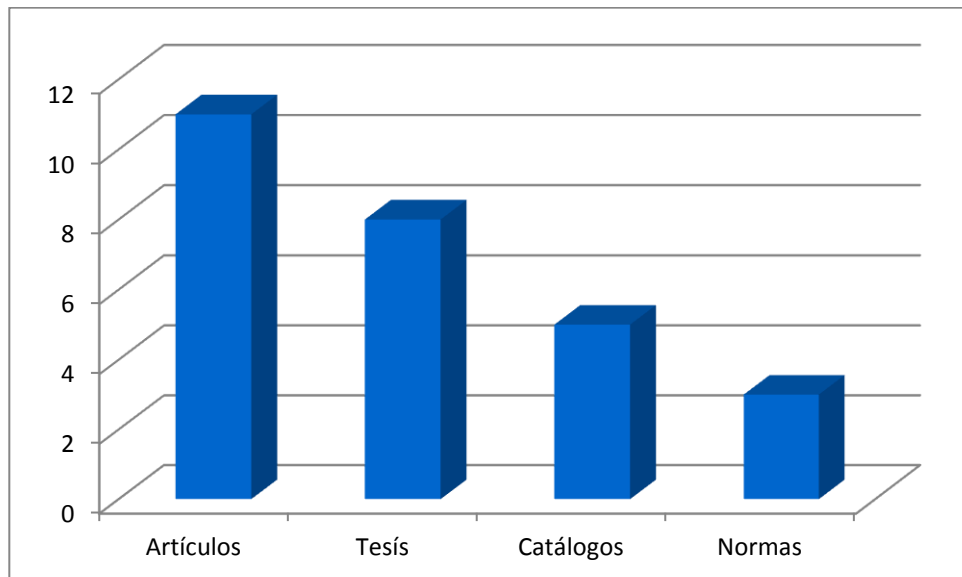
El desarrollo de este proyecto pretende evaluar cuáles son los cambios de las propiedades de los aceros AHSS en especial los TRIP, estudiando sus propiedades en fase experimental obteniendo resultados asertivos, tomando como referencia normas internacional e instrumentos tecnológicos de gran precisión para arrojar los mejores resultados.

⁵Panorama y Perspectivas de la Industria del automóvil. ANFAC (2004).

2. Estado del Arte

Para el desarrollo del presente estado del arte fueron consultadas 27 fuentes documentales, recolectadas de los catálogos técnicos físicos y en internet, principalmente. La búsqueda se realizó con ayuda de los siguientes descriptores para la clasificación de la información: aceros AHSS, aceros TRIP, tratamientos térmicos, temperaturas intercríticas, propiedades mecánicas, propiedades microestructurales, entre otros.

La búsqueda correspondió a los últimos 5 años y se extendió tanto a Colombia, como a los países de América Latina y Europa donde se encontró la mayor parte de la información. En total se recopilaron fuentes, distribuidas tal y como se muestra en el gráfico a continuación.



2.1 Antecedentes

En diferentes partes del mundo se han realizado estudios sobre las propiedades de los diferentes tipos de aceros, en la Unión Europea aproximadamente hace 5 años se viene desarrollando estudios exhaustivos acerca de los aceros AHSS y en particular de los aceros TRIP, esta parte de una experiencia previa en el estudio de la conformabilidad de los aceros de alta resistencia, tal y como demuestra su participación en proyectos de grupos de investigación como el desarrollado por el CENIT (Consortios Estratégicos Nacionales de Investigación Técnica) en Cataluña-España, desarrollando el estudio de **“nuevos procesos de conformado y desarrollo de materiales avanzados para la transformación de aceros de alta resistencia mecánica”**, el cual se centra en la investigación de nuevos materiales y procesos de fabricación, que permitan construir componentes con aceros de alta resistencia mecánica (AHSS), principalmente para la industria de la automotriz.

impulsando el desarrollo de vehículos más ligeros y seguros. El interés científico y tecnológico que justifica esta línea de investigación responde a la creciente inquietud del sector metal-mecánico dedicado al procesado, conformado y mecanizado de chapas de aceros de altas prestaciones mecánicas, que están siendo muy aplicados al sector automotriz.

Por su importancia económica y su repercusión social, la industria del automóvil debe responder de forma global a las expectativas demandadas por la sociedad. Se estima que la mayoría de las innovaciones de producto y proceso en las próximas dos décadas estarán basadas en desarrollos de materiales nuevos o mejorados. Para que el acero continuando siendo un material dominante en el automóvil tiene que acreditar una capacidad sobresaliente para responder a las demandas del sector, produciendo nuevas aleaciones con crecientes prestaciones y costos competitivos.

Se debe tener en cuenta, al mismo tiempo, los aspectos relacionados con el ciclo de vida del acero, como el desmantelamiento del automóvil, recuperación de todos sus componentes, gestión de los que sean reciclables, y su reutilización para un nuevo producto.

Así, atendiendo a estas demandas, los retos globales mencionados se traducen en los siguientes desafíos, desde la visión del acero.

- **Reducción de peso.** El ahorro energético y la reducción de emisiones requieren una reducción del peso de los vehículos. Por el contrario, los sistemas de seguridad y los elementos que aumentan el confort suponen un aumento de peso debido a la incorporación de nuevos elementos y componentes no utilizados previamente. Frente al desafío de construir un automóvil cada vez más ligero, el acero entra en fuerte competencia con otros materiales. El acero debe demostrar su capacidad de adaptarse a las exigencias de reducción de peso a pesar de su considerable densidad, sin sacrificar los niveles de seguridad, y todo ello a un costo razonable. La meta es diseñar aceros conformables con más alta resistencia mecánica y sin pérdida de otras propiedades. Asimismo, no se debe descartar el empleo de otros materiales combinados con el acero, mediante nuevos tipos de uniones, dando lugar a materiales compuestos o aplicados en estructura tipo "sandwich".
- **Resistencia al impacto.** La capacidad de absorción de energía es el principal índice que se utiliza para evaluar el comportamiento de los materiales ante un choque. Las nuevas calidades de acero del futuro deben exhibir una alta capacidad específica para la absorción de energía.
- **Comportamiento frente a la corrosión.** Debe investigarse también la influencia de los elementos de aleación presentes en los aceros de alta resistencia en relación a las posibles modificaciones de las condiciones para la aplicación de los tratamientos superficiales. Un tratamiento superficial apropiado proporcionará

buenas características anticorrosivas, incluso en los aceros poco aleados, lo que conllevará un incremento significativo en las garantías actuales.

- **Conformado y sistemas de unión.** El procesado posterior de las chapas de acero o de los productos largos que intervienen en lo automotriz implican operaciones de conformado o de unión que dependen sobremanera de las características mecánicas (resistencia, ductilidad, embutibilidad,...) y aptitud a las técnicas de unión (soldadura, adhesivos,...). Las nuevas tecnologías a desarrollar (hidroconformado, conformado electromagnético o electro-hidráulico, deformación por rotación y conformado a alta temperatura) eliminarán las limitaciones existentes. Por otro lado, será preciso adaptar los procesos de conformado y unión para permitir su aplicación a las nuevas calidades de acero. Deberá también tenerse en cuenta la fabricación de componentes que combinen distintas calidades de aceros y chapas de espesores diferentes.
- **Aspectos medioambientales.** Un vehículo con carrocería ultraligera de acero (un 20% menos de peso) diseñada con aceros de alta resistencia, requiere un motor de menor envergadura que consumirá menos carburante, lo que redundará en una mayor eficiencia de los recursos utilizados y una reducción de la emisión de gases de escape a la atmósfera. Se debe potenciar la reciclabilidad de los automóviles, mediante el empleo de materiales respetuosos con el medioambiente, sin metales pesados y mediante la mejora de diseños que nos permitan desmontar las piezas y facilitar su reutilización y reciclaje.

2.2 Los aceros empleados actualmente

Los aceros que actualmente son usados en el sector del automóvil se definen como de alta resistencia HSS (High Strength Steels) los cuales poseen límites elásticos comprendidos entre 210 y 550 MPa y con una tensión de rotura de entre 270 y 700 MPa.

Mientras que otros aceros con límites elásticos mayores de 550 MPa y con tensiones de rotura mayor de 700 MPa son los llamados aceros avanzados de alta resistencia AHSS (Advanced High Strength Steels). En la Figura 2 se muestran diferentes tipos de estos aceros.

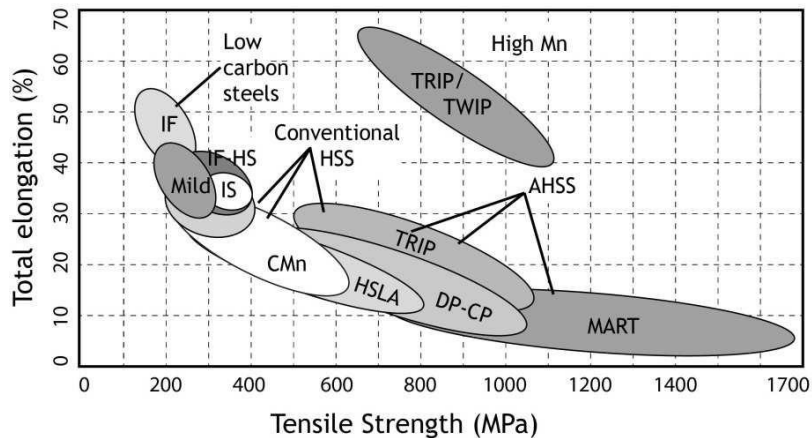


Figura 2. Posicionamiento de los TWIP/TRIP.⁶

La principal diferencia entre los aceros convencionales HSS y los avanzados AHSS es su microestructura. Los HSS son monofásicos con una estructura ferrítica, mientras que los AHSS son de múltiples fases, que pueden contener ferrita, martensita, bainita, y o austenita retenida en cantidades suficientes para producir distintas propiedades mecánicas.

Algunos tipos de AHSS tienen una mayor capacidad de endurecimiento dando como unas propiedades resistencia-ductilidad mayor a los aceros convencionales.

2.3 TRANSFORMATION-INDUCED PLASTICITY (TRIP)

Los aceros TRIP constituyen una de las familias de los aceros AHSS. La microestructura de estos aceros está constituida por ferrita, bainita y austenita retenida, de modo que al deformarlos plásticamente, la austenita se transforma en martensita dando lugar, para un mismo nivel de resistencia a la tracción que otros grados de aceros de alta resistencia, a:

- Mayor endurecimiento por deformación y por tanto mayor grado de conformabilidad, esto permite la reducción de peso aplicando grados de elevada resistencia mecánica en partes difíciles de conformar y optimizando el diseño mediante el uso de piezas con formas más complejas que aseguren el buen comportamiento de la estructura.
- Mejor comportamiento a fatiga: lo que redundará en la durabilidad de los componentes.
- Mayor capacidad de disipación de energía en condiciones de impacto (mayor tenacidad), lo que los hace utilizables, por ejemplo, en elementos de seguridad pasiva debido a la elevada absorción de energía en condiciones de impacto.

⁶William D. Callister, Jr. Ciencia e Ingeniería de los materiales, 2005. Pag. 113-146.

La composición química del acero determina la temperatura a la que se produce la transformación martensítica, siendo M_s la temperatura a la que se inicia la transformación martensítica y M_f la temperatura en la que el 100 % de la austenita ha transformado en martensita. Si M_d es mayor que la temperatura ambiente, la microestructura del acero no contendrá austenita. Los aceros TRIP contienen mayores cantidades de C, Si y/o Al que los aceros DP (Dual Phase), para bajar la temperatura M_f por debajo de la temperatura ambiente, generando así austenita retenida en la microestructura. Esta austenita es metaestable y tenderá a transformarse en martensita si se le aporta la energía necesaria, ya sea térmicamente (enfriando el acero) o mecánicamente (produciendo deformación). Con el ajuste del contenido de carbono presente se puede controlar el nivel de deformación en el cual la austenita empieza a transformarse en martensita. Los aceros TRIP contienen el suficiente C para tener el M_s por debajo de la temperatura ambiente.

Con bajos contenidos de C, la austenita retenida empieza a transformarse prácticamente en el inicio de la deformación, aumentando el coeficiente de endurecimiento por trabajo en frío y por tanto la conformabilidad durante el proceso de estampación. Si los contenidos de C son elevados, por el contrario, la austenita retenida resulta más estable y empieza a transformarse sólo a niveles de deformación mayores que los producidos durante el proceso de conformado. Con estos niveles de carbono, la austenita retenida está presente en el producto final de la conformación, lo que posibilita que ésta pueda transformarse en deformaciones posteriores, como las que se pueden dar durante un impacto, lo que implica la capacidad por parte del elemento de absorber una gran cantidad de energía durante un choque.

Como se ha visto, la austenita se mantiene metaestable cuando el acero TRIP se encuentra a temperatura ambiente. No obstante, como consecuencia de una carga exterior mecánica o térmica (en el caso de un enfriamiento a T inferior a M_s), los granos de austenita retenida pueden transformarse en martensita, que es el denominado efecto TRIP.

Un esquema del efecto TRIP se puede observar en la figura 3, durante la deformación la austenita retenida transforma en martensita.

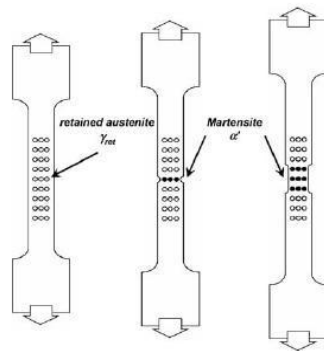


Figura 3. Esquema de la transformación martensítica en un ensayo de tracción uniaxial, para un acero TRIP.⁷

Como resultado de una mayor temperatura se traduce en una menor fuerza motriz para la transformación, no se produce transformación martensítica como resultado de la deformación.

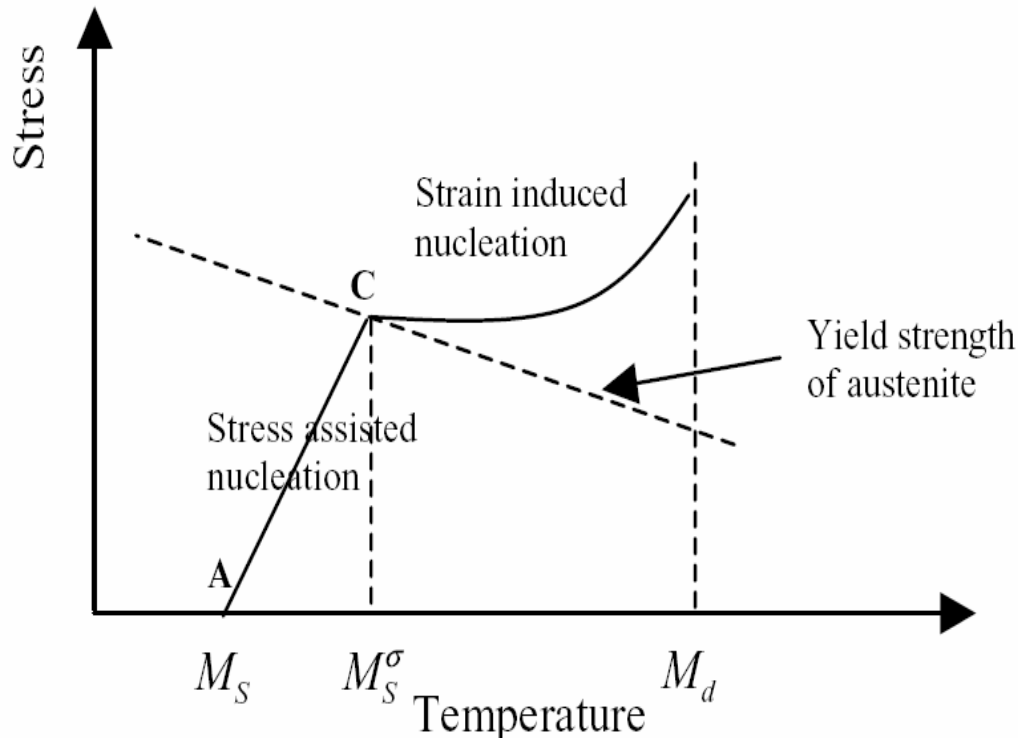


Figura 4. Esquema de los mecanismos de deformación para diferentes temperaturas.⁷

La composición química típica de un acero TRIP comercial es 0.15-0.25%C, 1.5%Mn, 1.2-1.5%Si y la tendencia actual consiste en sustituir parcialmente el silicio por aluminio, con el fin de evitar problemas de moldeo y asegurar una calidad superficial adecuada para la ejecución de operaciones de galvanizado, dado que en los aceros de alto silicio se forman óxidos superficiales que dificultan la formación de la capa inhibidora de la corrosión en el galvanizado. Se ha logrado de este modo obtener aceros de alta resistencia mecánica (500-1000 MPa de resistencia a la tracción) y ductilidad (alargamientos entre 20 y 40%).

⁷Z. Marciniak, J.L. Duncan, S.J. Hu, Mechanics of Sheet Metal Forming, 2002, pag. 2-60.

2.4 Aceros de embutición.

Se trata de una gama de aceros dulces no aleados laminados en frío, de bajo contenido en carbono y con valores máximos garantizados de límite elástico y resistencia a la tracción, y propiedades mínimas garantizadas de ductilidad (alargamiento de rotura) y buena aptitud al conformado (valores n y R). Estas calidades cumplen los requisitos de la norma EN 10130:2006.

La excelente conformabilidad de estos aceros facilita las operaciones de conformado en frío, por lo que son idóneos para aplicaciones de plegado y embutición profunda en los casos en que se requieran resistencia, rigidez y ductilidad. Sus aplicaciones más habituales se encuentran en los sectores de la industria del automóvil, electrodomésticos, mobiliario metálico, fabricación de ejes y aparatos de calefacción y ventilación, así como de tubos y pequeños perfiles.

3. Justificación

El presente trabajo es la continuación de una serie de estudios que pretende arrojar datos concretos con el fin de acercarse a la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas a los trabajos de grado en estudios de materiales.

En todos los procesos industriales en donde se quiera mejorar un producto en base a las propiedades mecánicas y microestructurales de un acero, se tiende a sustituir los aceros convencionales por otros de mayores características. Suele obtenerse fácilmente un incremento en la resistencia mecánica en procesos industriales, descuidando y reduciendo otras características tales como ductilidad, tenacidad, confortabilidad y en ocasiones desconociendo su microestructura final.

En este contexto, los aceros con efecto TRIP (“Transformation induced plasticity”) constituyen uno de los grupos de materiales que satisfacen simultáneamente los requerimientos de resistencia y ductilidad. Con este tipo de microestructuras, puede llegarse a una resistencia a la tracción entre 800 y 900 MPa con un alargamiento entre 20 y 35%. La dificultad reside en la producción a nivel industrial de este tipo de aceros ya que la microestructura final y las características mecánicas asociadas son altamente dependientes de la composición y de las condiciones del proceso.⁸

Hoy en día, los aceros de alta resistencia convencionales permiten una producción a menor costo de vehículos, maquinaria e incluso de cuerdas para piano principalmente debido a las ventajas que presenta con respecto a otras aleaciones ligeras, ya que estos poseen una buena embutibilidad, buena soldabilidad y son fácilmente reciclables. Buscando una mejor respuesta en la industria se deben proporcionar herramientas eficaces y eficientes para administrar los recursos, argumento que pretende abordar este proyecto, ya que con el empleo de la técnica TRIP en los aceros AISI 1045 en particular, potencialmente logre emplear este material más económico y ligero por ejemplo en la elaboración de un automóvil.

Este tipo de aceros al ser transformados en procesos como el laminado y sometidos a tratamientos térmicos en particular a temperaturas intercríticas, las propiedades mecánicas y microestructurales cambia, con los métodos comunes como el de la regla de la “palanca” no es posible determinar sus propiedades mecánicas y, aún más, determinar la fase en la que se encuentra. Para ello se realizan pruebas de metalografía basadas en la norma ASTM 562, en donde se pueden evaluar las características del mismo, dando como resultado la viabilidad de sus posibles aplicaciones en la industria. En base a las

⁸Desarrollo y producción de aceros TRIP: conformado y soldadura-
<http://www.mondragon.edu/cnm08/Abstract/74.pdf>

diferencias entre las propiedades mecánicas de este material, se realizar una valoración de las ventajas del acero.

De forma concreta generar una base de datos exactos de las propiedades mecánicas de cada material, estos datos serán de gran utilidad en el desarrollo del proceso de conformado, ya que actualmente surgen múltiples problemas durante la estampación de estos aceros, haciendo necesario, sin duda, un mejor conocimiento de las propiedades del material para poder hacer frente de un mejor modo a las dificultades de conformabilidad.

4. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el cambio en las propiedades en el acero AISI 1045 deformado plásticamente tratado desde temperaturas intercríticas.

Objetivos específicos

- ✓ Revisar los antecedentes de investigaciones para conocer el estado del arte en esta área del conocimiento.
- ✓ Establecer el número de probetas mediante un diseño experimental que representen estadísticamente el fenómeno estudiado.
- ✓ Efectuar el estudio en el material sometiéndolo a la deformación plástica desde temperaturas intercríticas y en paralelo al tratamiento de temple sin deformación, con el fin de analizar sus efectos sobre sus propiedades.
- ✓ Comparar los resultados de los ensayos de dureza, microscopía electrónica de barrido, metalografía y el porcentaje de cambio de fases de acuerdo a la norma ASTM 562 de los tratamientos sobre el material.

5. Marco Teórico

5.1 Que es el TRIP?

La transformación inducida por plasticidad (TRIP) de acero, es un tipo de aleación de acero que presenta una excelente resistencia y ductilidad. Esta microestructura, formada por una matriz ferrítica dúctil en la que se encuentran islotes de bainita dura y de austenita residual. Este tipo de microestructura permite obtener alargamientos elevados gracias a la transformación de dicha austenita residual en martensita por efecto de la deformación plástica (efecto TRIP: "TransformationInducedPlasticity"). Esta propiedad permite a los aceros TRIP para tener una alta conformabilidad, manteniendo al mismo tiempo una excelente resistencia. En el tratamiento de metales, hay generalmente un compromiso que debe ser hecha entre resistencia y ductilidad.⁹ Esto se demuestra por el gráfico de la Figura 5, que muestra el compromiso entre resistencia y ductilidad durante el trabajo en frío.

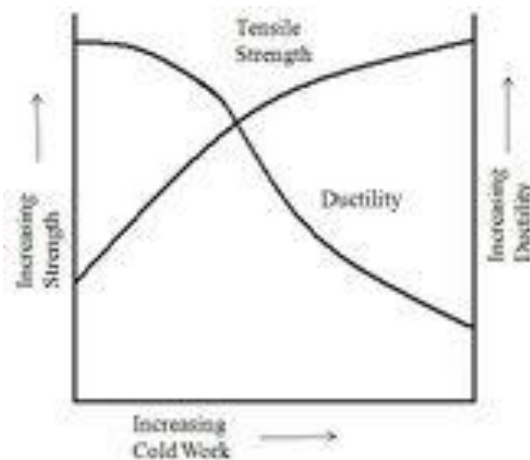


Figura 5: Efecto de trabajo en frío sobre la resistencia y la ductilidad de un metal típico¹⁰

La ventaja de los aceros TRIP es que tienen una ductilidad muy superior a los demás aceros con una resistencia similar.¹⁰ La ductilidad y la resistencia de los aceros TRIP convierten en un candidato excelente para aplicaciones de la industria automotriz. En efecto, los componentes estructurales pueden hacerse más delgada porque aceros TRIP tienen la ductilidad necesaria para soportar los procesos de alta deformación tales como

⁹ M. Zhang & al., "Diagramas de enfriamiento continuo de transformación y propiedades de los aceros TRIP micro-aleado", Ciencia de los Materiales e Ingeniería A 438-440, 2006.

¹⁰ Estados Unidos aceros TRIP de acero (2009) disponibles: http://xnet3.uss.com/auto/tech/grades/TRIP_main.htm ~HEAD=NNS

estampación, así como las características de la fuerza y la energía de absorción para cumplir con las normas de seguridad.



Fig.6 Refuerzo de pie central electrocincado (esp.: 1,2 mm)⁴

La capacidad de consolidación de estos aceros es considerable, lo que les confiere una buena aptitud para la distribución de las deformaciones y, por consiguiente, una buena estampabilidad. Esta consolidación permite obtener también unas características mecánicas en las piezas, especialmente en cuanto al límite de elasticidad, mucho más elevadas que en el metal sin trabajar.

Este fuerte potencial de consolidación y una elevada resistencia mecánica le confieren una excelente capacidad de absorción de la energía.

Además, los aceros TRIP presentan un efecto BH (Endurecimiento al horno - BakeHardening) pronunciado tras la deformación, lo que mejora en consecuencia su comportamiento ante el choque.

5.2 ¿Qué es el temple?

El tratamiento de temple consiste en enfriar de manera controlada a la mayoría de las variantes de aceros aleados previamente calentados a temperaturas de entre 750 °C y 1.300 °C.

Dependiendo del material base, la temperatura y tiempo de calentamiento, y severidad del enfriamiento se puede conseguir una amplia gama de durezas.

Posterior al temple se realiza un tratamiento de revenido de tipo 1 a temperaturas de entre 200 °C y 300 °C con la finalidad de optimizar la tenacidad y reducir la fragilidad de las piezas.¹¹

¹¹ Temple y revenido - <http://www.trateriber.es/pdf/Temple-Revenido.pdf>

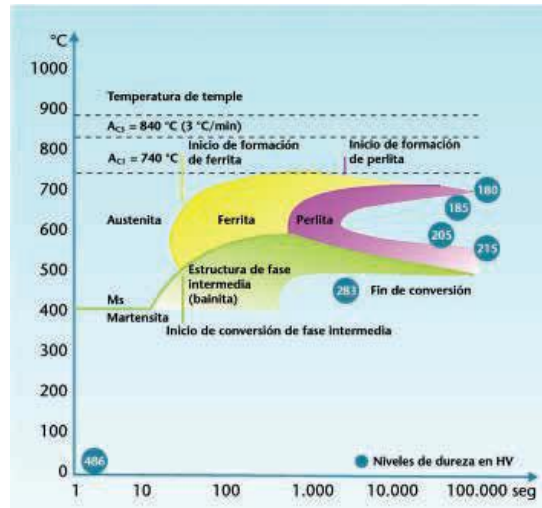


Ilustración 1 El diagrama TTT continuo muestra la progresión del temple. La dureza depende de la temperatura y el tiempo de enfriamiento. Incluso los cambios más leves en el eje de tiempo (grado de enfriamiento) causan una diferencia importante en los niveles de dureza que se puede alcanzar.

5.2.1 ¿Cómo se consigue el temple?

El tratamiento de temple se divide

En dos pasos:

1. Calentamiento controlado en temperatura (entre 750 °C y 1.300 °C dependiendo del material base), rampa de calentamiento y tiempo de mantenimiento a temperatura máxima. Ajustando estos tres puntos de control podemos conseguir las condiciones idóneas previo al temple disolviendo los elementos aleantes de manera correcta y obteniendo una estructura austenítica deseada. De esta manera aseguramos unos resultados finales óptimos, uniformes y repetibles.
2. 2. Enfriamiento controlado de la zona a templar. Es muy importante controlar el medio de temple (agua, agua + polímero, aceite...), caudal, presión y la tipología de sistema de ducha utilizado. Con un correcto ajuste del temple se consigue la transición estructural de austenita a martensita, mejorando notablemente la dureza de la zona templada. Existe un tercer paso necesario asociado al temple en aceros con alto grado de fragilidad. Dureza y fragilidad son características directamente proporcionales por lo que hay que hacer un tratamiento posterior para equilibrar ambas. Este tratamiento se conoce como recocido de eliminación de tensiones (revenido) y consiste en mantener las piezas a temperaturas $\leq 650\text{ °C}$ durante un tiempo determinado.

5.3 Laminación

La laminación es un proceso utilizado para reducir el espesor de una lámina, o en general, de la misma manera, alterar las medidas del área transversal de una pieza larga mediante fuerzas de compresión, las cuales son generadas por el paso entre un juego de rodillos.

Esta disminución de espesor se da gracias a que los rodillos tiran el material hacia dentro del espacio de laminación a través de una fuerza de fricción neta sobre el material. De los cuales existen dos tipos a considerar:

5.3.1 Laminación en caliente

El proceso de laminado en caliente es aquel que se realiza por encima de la temperatura de recrystalización del material. La temperatura de recrystalización es la temperatura a la cual los granos de la microestructura comienzan a transformarse en nuevos granos sin islocaciones. Por lo anterior cualquier dislocación generada durante el proceso de compresión bajo los rodillos es eliminada debido a la temperatura de los rodillos que transfieren suficiente calor a las láminas elevando su temperatura por encima de la temperatura de recrystalización. El resultado son granos dúctiles que pueden ser laminados idealmente cualquier número de veces. El proceso de laminado en caliente se utiliza para estructuras de colada, o fundición comúnmente dendrítica, la cual incluye granos grandes y no uniformes.

El proceso de laminado en caliente se lleva a cabo comúnmente para aleaciones de aluminio y para aceros aleados. Se manejan temperaturas entre 0.3 y 0.5 veces la temperatura de fusión, lo que corresponde a la temperatura de recrystalización.

Generalmente el laminado en caliente se utiliza para deformar volúmenes grandes de material, y su intención es transformar dichos volúmenes en preformas que luego puedan ser procesadas de otro modo (por ejemplo laminado en frío). Los primeros productos de laminado en caliente, son la palanquilla y el planchón.

5.3.2 Laminado en frío

El proceso de laminado en frío se lleva a cabo por debajo de la temperatura de recrystalización. A diferencia del proceso de laminación en caliente, produce láminas y tiras con un acabado superficial mejor debido a que generalmente no hay presencia de calamina. Además se tienen mejores tolerancias dimensionales y mejores propiedades mecánicas debidas al endurecimiento por deformación

La laminación en frío permite tener un control sobre la deformación plástica, pues es posible medir el endurecimiento por deformación teniendo en cuenta el concepto de trabajo en frío.

El endurecimiento por deformación es el fenómeno por el cual el metal dúctil se endurece a medida que se somete a deformaciones plásticas, este proceso en general es realizado por debajo de la temperatura de recristalización y por ello también nos referimos a este tipo de trabajo como trabajo en frío.

5.4 NORMA ASTM E-562

Este método de ensayo se basa en el principio estereológico, en una cuadrícula con una serie de puntos regularmente dispuestas, cuando sistemáticamente se coloca sobre una imagen de una sección de dos dimensiones a través de la microestructura, pueden proporcionar, después de un número representativo de ubicaciones en diferentes campos, una estimación objetiva estadística de la fracción de volumen de un componente o una fase de identificación. Cualquier número de componentes claramente distinguibles o fases dentro de un micro (o macro) se pueden contar por este método. Por lo tanto, el método puede aplicarse a cualquier tipo de material sólido del que suficientes secciones de dos dimensiones se pueden preparar y observar.

5.5 Metalografía¹²

La metalografía estudia la estructura microscópica de los metales y sus aleaciones. Antes de observar un metal al microscopio, es necesario acondicionar la muestra de manera que quede plana y pulida. Plana, porque los sistemas ópticos del microscopio tienen muy poca profundidad de campo y pulida porque así observaremos la estructura del metal y no las marcas originadas durante el corte u otros procesos previos.



Las fases de preparación de la probeta metalográfica son las siguientes:

1. Corte de la muestra.
2. Montaje (opcional)
3. Desbaste
4. Pulido
5. Ataque químico o electrolítico.

¹² Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito", *Metalografía protocolo*, 2011.

Corte de la muestra



El corte es un proceso en el que se produce calor, por fricción, y se raya el metal.

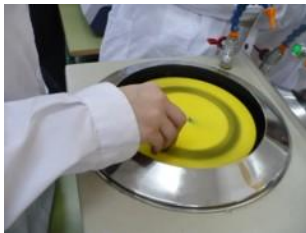
Si el corte es muy agresivo, no veremos el metal que queremos estudiar sino la estructura resultante de la transformación sufrida por el mismo. Para reducir estos efectos al mínimo, hay que tener en cuenta las siguientes variables: lubricación, corte a bajas revoluciones y poca presión de la probeta sobre el disco de corte.

Desbaste

Durante el proceso de desbaste se eliminan gran parte de las rayas producidas en el corte.

Se realiza en una pulidora empleando discos abrasivos de distintos diámetros de partícula, cada vez más finos.

Pulido



Se realiza con paños especiales, del tipo de los tapices de billar. Como abrasivo, se puede utilizar polvo de diamante o alúmina. El primero se aplica con un aceite especial, para lubricar y extender la pasta de diamante y el segundo con agua. En el pulido apenas hay arranque de material y lo que se pretende es eliminar todas las rayas producidas en procesos anteriores. El pulido finaliza cuando la probeta es un espejo perfecto.

Ataque químico



En este punto la probeta es plana y está pulida, es un espejo. El ataque químico pondrá de manifiesto la estructura del metal ya que atacará los bordes de los granos y afectará de manera diferente a las distintas fases presentes en el metal.

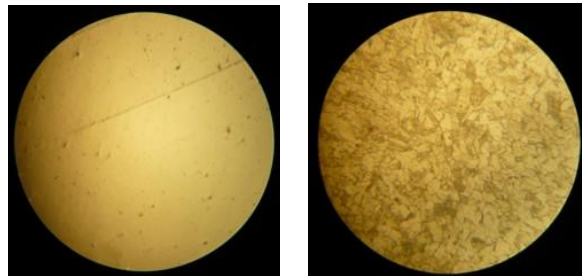
Para cada metal y aleación se utiliza un reactivo de ataque diferente. En el caso del acero el más utilizado es el NITAL, que se prepara disolviendo ácido nítrico en etanol. Cuando el acero es inoxidable se suele realizar un ataque electroquímico. En la fotografía aparece la probeta antes de ser tratada con Nital-5 (nítrico en etanol al 5%). Después del ataque perderá su brillo.

Microscopio metalográfico



El microscopio metalográfico se diferencia del ordinario, fundamentalmente, en su sistema de iluminación. La luz no puede atravesar el metal y por tanto la luz entra en el objetivo después de ser reflejada en la probeta metálica. Los microscopios metalográficos suelen llevar un acoplador para montar una cámara fotográfica o de video ya que, para poder estudiar mejor la estructura del metal, se obtienen microfotografías. En la imagen puede verse la probeta sobre la pletina del microscopio, debajo están los objetivos y a la derecha la fuente de luz.

Resultados



Estas microfotografías están tomadas a 400 aumentos. En ellas se puede observar la probeta antes y después del ataque con ácido nítrico. La observación directa, sin ataque químico, permite observar la presencia de nódulos de grafito, grietas e irregularidades. Además, en la parte superior se observa una raya no eliminada durante el proceso de pulido. Después del ataque, aparecen visibles los límites de grano y las distintas fases de la estructura del acero.

Tamaño de grano

Hay varios métodos para determinar el tamaño de grano de un metal. Uno de ellos consiste en tomar una microfotografía, con una cámara adaptada, a 100 aumentos (como la de la imagen de la izquierda) y compararla con los patrones de la ASTM (American Society for Testing Materials). A partir de estos patrones se pueden deducir el tamaño medio de grano y su superficie.



6. Metodología

A continuación se presenta la metodología que se ejecutará para cumplir los objetivos específicos y alcanzar el objetivo general. Esta va a ser dirigida por cuatro fases esenciales:

6.1 Fase de documentación

Para esta fase se hace pertinente la consulta de fuentes documentales conformadas por catálogos técnicos, artículos científicos de investigación, tesis y proyectos de grado de ingeniería, normas técnicas vigentes, entre otras, clasificando y sistematizando esta información con la ayuda de fichas de contenido, en donde se pretende inspeccionar los antecedentes de investigaciones y recomendaciones en esta área de investigación.

Para la adecuada selección y clasificación de la información, es necesario tener claro los conceptos y términos descriptores que enfocarán las fuentes hacia un solo sentido. Los descriptores son: tratamientos térmicos, análisis metalográfico, deformación plástica, laminación, temperaturas intercríticas.

6.2 Fase análisis conceptual

En esta fase se examinará la información seleccionada y clasificada siguiendo el orden jerárquico de los descriptores de la siguiente forma: Tratamiento térmico, Deformación plástica, ensayos de material (Dureza – Metalografía).

Para el análisis es necesario tener la adecuada información de los materiales actuales que hay en el mercado, para así poder implementar las posibles alternativas adoptadas por otros autores como primera opción de materia prima en la industria. Para desarrollar adecuadamente esto se seguirán las siguientes fases.

6.2.1 Sub Fase del diseño del experimento.

En esta etapa de acuerdo al análisis elaborado de los antecedentes en el área, se planteará un diseño experimental, el cual tiene como fin determinar la cantidad de probetas que serían necesarias para evaluar el fenómeno, y además las condiciones que deberían tener las pruebas y ensayos (temperaturas, tiempos, transformaciones) de los materiales que demostrarían la influencia del tratamiento.

6.3 Fase de ejecución

Para esta etapa se obtendrán los materiales para la realización del estudio, a partir de esto se realizará un muestreo de dos grupos de probetas de material ASTM 1040 y AISI 1020, un grupo se mantendrá intacto, el cual será el patrón de medida del procedimiento, el segundo grupo será sometido al tratamiento térmico y posterior deformación plástica.

Luego de realizado el tratamiento se procederá con las pruebas y ensayos para establecer los cambios en las propiedades mecánicas y microestructurales, basados en la norma ASTM 562.

6.4 Fase de evaluación.

A partir de los resultados obtenidos de los diferentes ensayos se formalizaran las evidencias mediante un informe detallado en donde se incluirá Se realizara una valoración de los resultados obtenidos del procedimiento, de los cuales se les realizara un análisis teniendo en cuenta los requerimientos mínimos para ser empleado como materia prima en la industria automotriz.

8. Presupuesto

Recursos Materiales

- Equipo de procesamiento de datos.PC
- Internet, bases de datos en línea.
- Folletos, fotocopias, libros en los cuales esta información relacionada con el proyecto.

Recursos Institucionales

- Bibliografía disponible en las bibliotecas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, bibliored, bibliotecas de otras instituciones tales como universidad de los Andes, Universidad Nacional etc.
- Laboratorios de la universidad Distrital.
- Laboratorios de la universidad Nacional.
- Laboratorios de materiales centro de metalurgia de la Universidad Michoacana San Nicolas Idalgo.
- Laboratorio de ensayo de materiales SENA centro de materiales y ensayos.

Recursos Económicos

PRESUPUESTO GENERAL PROYECTO		
Duración estimada (meses)	Seis	
Semanas	24	15 horas semanales
Descripción	Costo asociado	Fuentes de financiación
Recurso Humano Asociado	\$	
2 Autores Del proyecto	\$ 675.000	Personal
1 Director - tutor	\$ 725.000	Institucional
Software o equipo de apoyo	\$ 2'000.000	Personal/institucional
Gastos Generales	\$ 2'000.000	Personal
Ensayos - Muestreo	\$ 3'000.000	Personal
Condiciones específicas	\$ -	
Subtotal	\$	
16% Imprevistos	\$ 1'000.000	Personal
Total presupuestado	\$ 8'400.000	

9. Bibliografía

- M. Zhang & al., "Diagramas de enfriamiento continuo de transformación y propiedades de los aceros TRIP micro-aleado", Ciencia de los Materiales e Ingeniería A 438-440, 2006.

- Estados Unidos aceros TRIP de acero (2009)
disponibles:http://xnet3.ussteel.com/auto/tech/grades/TRIP_main.htm~HEAD=NNS

- E. Emadoddin& al. "Efecto de la reducción de laminación en frío y la temperatura en la mayor parte intercriticalannealing textura chapas de acero oftwo asistido TRIP-", Revista de Procesamiento de Materiales Tecnología 203, 293-300, 2008.

- William D. Callister, "Ciencia de los Materiales e Ingeniería AnIntroduction", séptima edición, Wiley, 2007.p.292

- S. Chatterjee& al., "Acero TRIP Delta", Ciencia de los Materiales y Tecnología, Vol. 23 n º 7,819-827, 2007.

- LiuQiang& al., "Investigación y desarrollo de 780 MPa de laminación en frío de acero TRIP asistida", Revista Internacional de Minerales, Metalurgia y Materiales, Vol. 16, Núm. 4, 399-406, 2009.

- William D. Callister, "Ciencia de los Materiales e Ingeniería AnIntroduction", séptima edición, Wiley, 2007.p.292

- GB Olson, Morris Cohen, "Cinética de la tensión inducida por nucleación martensíticos", Transacciones Metalúrgicos A, Vol. 6 A, 971, 1975.

- GROOVER, Mikell P., "Fundamentos de manufactura moderna", McGraw Hill, 3ra edición, Mexico, 2007

- ASKELAND, Donal R., "Ciencia e Ingeniería de los Materiales", Thomson Editores. México, 1998.

- BERRAHMOUNE, M.R., BERVEILLER, S., MOULIN, A. and PATOOR, E. Analysis of themartensitictransformation at variousscales in TRIPsteel. MaterialsScience and Engineering. Vol. A378, 2004, p. 304-307.

- HECKER, S.S. Simple techniquefordeterminingforminglimit curves. Sheet Metal Industries. Vol. 52, 1975, p. 671-675.

- MARCINIAK, Z. and KUCZYNSKI, K. Limitstrains in theprocesses of stretch-formingsheetmetals. International Journal of MechanicsSciences. Vol. 9, 1967, p. 609-620.

- Norma Internacional ISO 12004:2008. MetallicMaterials. Sheet and Strip. Determination of forming-limit curves. 2008.

- Indices del mercado petrolero oil and gas journal
disponibles:www.ogj.com/index.cfm.