

# 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):	Camilo Andrés
Apellido (s):	Bolívar Cordero
Código:	20102275004
E-mail:	
Teléfono fijo:	
Celular:	



#### Ejecutor 2

Nombre (s):	Ricardo Andrés
Apellido (s):	Rojas González
Código:	20102275031
E-mail:	
Teléfono fijo:	
Celular:	



### INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS EN EL ACERO AISI/SAE 1045 TRATADO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS.	
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.)	Ing. Carlos Arturo Bohórquez

## Tabla de Contenido

1. Planteamiento del problema .....	3
2. Estado del Arte .....	6
2.1 Antecedentes .....	6
2.2 LOS ACEROS EMPLEADOS ACTUALMENTE .....	8
2.3 TRANSFORMATION-INDUCED PLASTICITY (TRIP).....	8
2.4 Aceros de embutición.....	11
3. Justificación .....	11
4. OBJETIVOS .....	122
Objetivo general.....	122
Objetivos específicos.....	122
5. Marco Teórico .....	133
6. Metodología .....	177
7. Cronograma.....	19
8. Presupuesto .....	20
9. Bibliografía .....	21

## 1. Planteamiento del problema

El acero es una mezcla de hierro, carbono y otros elementos aleantes, estos elementos determinan sus propiedades mecánicas específicas, dependiendo de sus características los aceros son usados en diferentes industrias. 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 acero puede ser deformado a través de diferentes procesos para obtener el perfil o forma deseada de acuerdo a la aplicación.

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 de aplicaciones industriales, como en carrocerías de automóviles, partes de aviones, ruedas de carretillas, etc. Este proceso ha venido sustituyendo a la soldadura, los tornillos y pernos para unir partes, esto con el fin 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.<sup>1</sup>

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,

---

<sup>1</sup> 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.

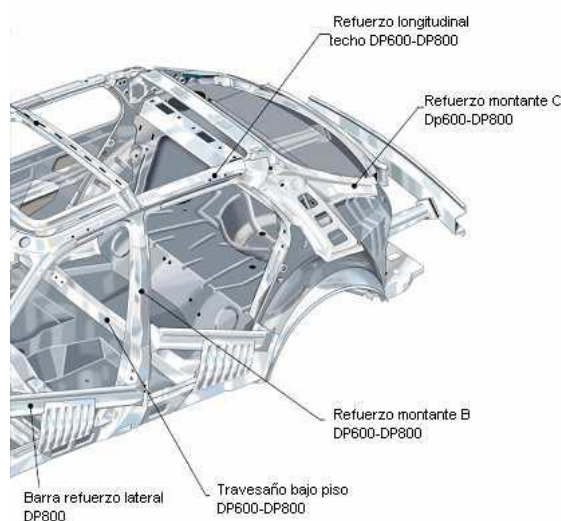
gracias a su capacidad de ganar resistencia con la deformación, pueden ser embutidos con menor riesgo de rotura, pues las zonas más deformadas y con más tendencia a rasgarse, son las que más resistencia desarrollan.<sup>2</sup>

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.<sup>3</sup>

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 presenta con 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).



<sup>2</sup> European Automobile Industry Report 2005. ACEA - European Automobile Manufacturers Association (2005).

<sup>3</sup> 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.<sup>4</sup>



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

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

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 mas 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 del estudio metalúrgico de los aceros AHSS en especial los TRIP, estudiando sus propiedades en fase experimental obteniendo resultados asertivos, tomando como

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

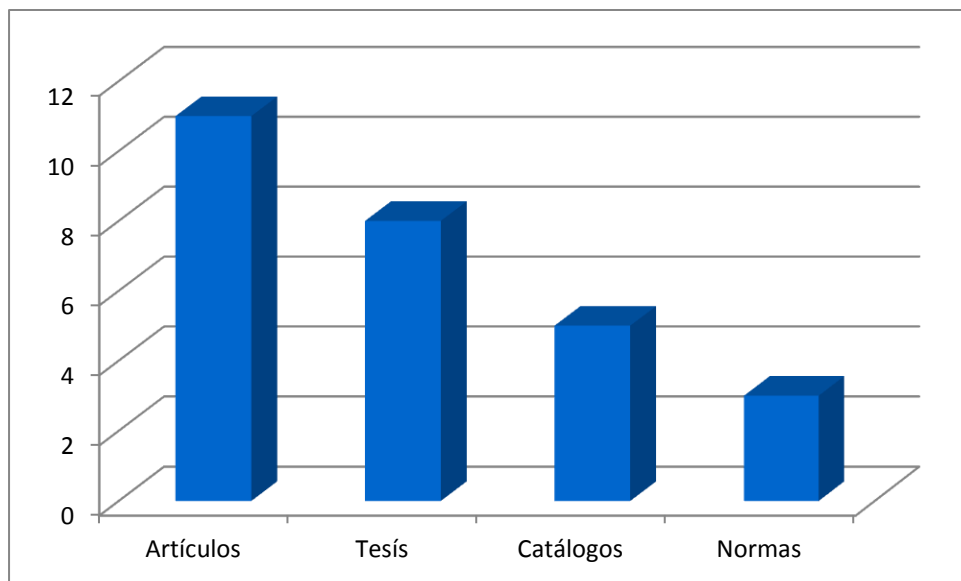
<sup>5</sup> Panorama y Perspectivas de la Industria del automóvil. ANFAC (2004).

referencia normas internacional e instrumentos tecnológicos de gran precisión para arrojar los mejores resultados.

## 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 continúe 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 sobremedida 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 700MPa.

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.

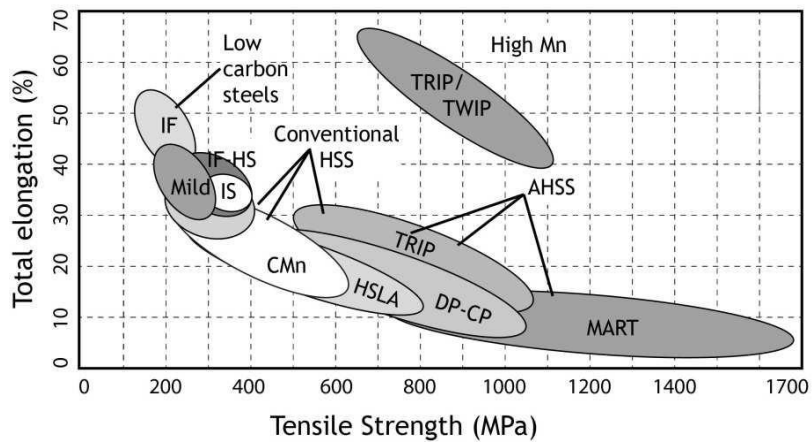


Figura 2. Posicionamiento de los TWIP/TRIP.

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.

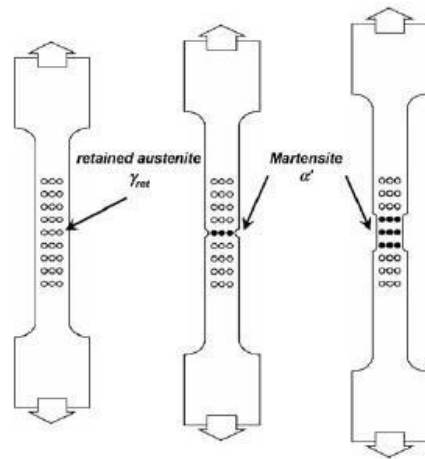
- Mayor capacidad de disipación de energía en condiciones de impacto (mayor tenacidad), lo que los hace utilizables, por ejemplo, en elementos de seguridad pasiva debido a la elevada absorción de energía en condiciones de impacto.

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.

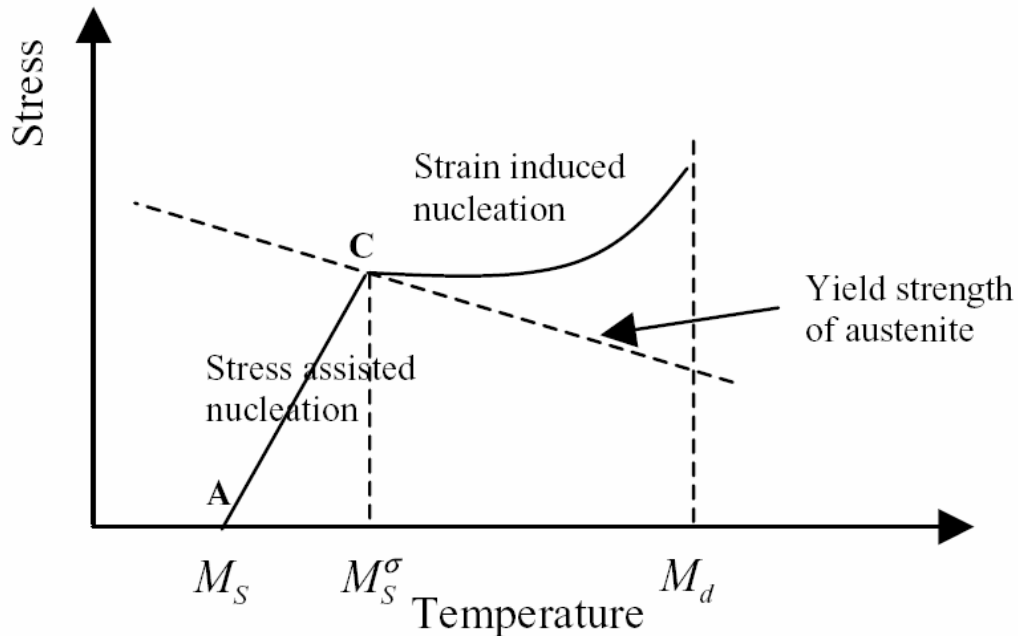
Como se ha visto, la austenita se mantiene metaestable cuando el acero TRIP se encuentra a temperatura ambiente. No obstante, como consecuencia de una carga exterior mecánica o térmica (en el caso de un enfriamiento a  $T$  inferior a  $M_s$ ), los granos de austenita retenida pueden transformarse en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

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.

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 inhibitoria de la corrosión en el galvanizado [3]. 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%).

## **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, tabla 4.1.

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 sector metal mecánico y en especial el sector automotriz demandan ahondar en un conocimiento más detallado de las propiedades de los aceros TRIP utilizados en los diferentes procesos de conformado, base fundamental para diseño mecánico de los diferentes componentes.

Hoy en día, los aceros de alta resistencia convencionales permiten una producción a menor costo de vehículos más ligeros, principalmente debido a las ventajas que presenta con respecto a otras aleaciones ligeras, ya que estos poseen una buena embutibilidad en elementos de carrocería, buena soldabilidad en comparación con el aluminio y son fácilmente reciclables.

Debido a que el mercado automotriz año tras año va en aumento y las reservas de petróleo se están disminuyendo rápidamente, 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 1040 y 1020, potencialmente logre emplear este material mas económico y ligero para la elaboración de un automóvil.

Este tipo de aceros al ser transformados en procesos como el embutido y sometidos a tratamientos térmicos 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 mas determinar la a fase en la que se encuentra. Para ello se realizan pruebas de metalografía basados 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 diferencias entre las propiedades mecánicas de estos dos materiales, se realizar una valoración de las ventajas de cada acero.

De forma concreta generar una base de datos 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 la influencia en las propiedades mecánicas y microestructurales de los tratamientos térmicos en el acero AISI/SAE 1045 tratado desde temperaturas intercríticas.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Revisar los antecedentes de investigaciones en esta área del conocimiento a nivel local, regional y mundial.
- ✓ Establecer el número de probetas mediante un diseño experimental que representen estadísticamente el fenómeno estudiado.
- ✓ Realizar la prueba de ensayo de tensión para establecer la influencia del tratamiento térmico previo en las propiedades mecánicas y microestructurales.
- ✓ Determinar cuál es el porcentaje de las fases presentes
- ✓ Efectuar el análisis de microscopía electrónica de barrido, para determinar si se ha presentado cambio de fase.

## 5. Marco Teórico

El diagrama hierro-carbono se representa en una gráfica que señala los distintos estados del acero dependiendo de las temperaturas y porcentajes de carbono diferentes.

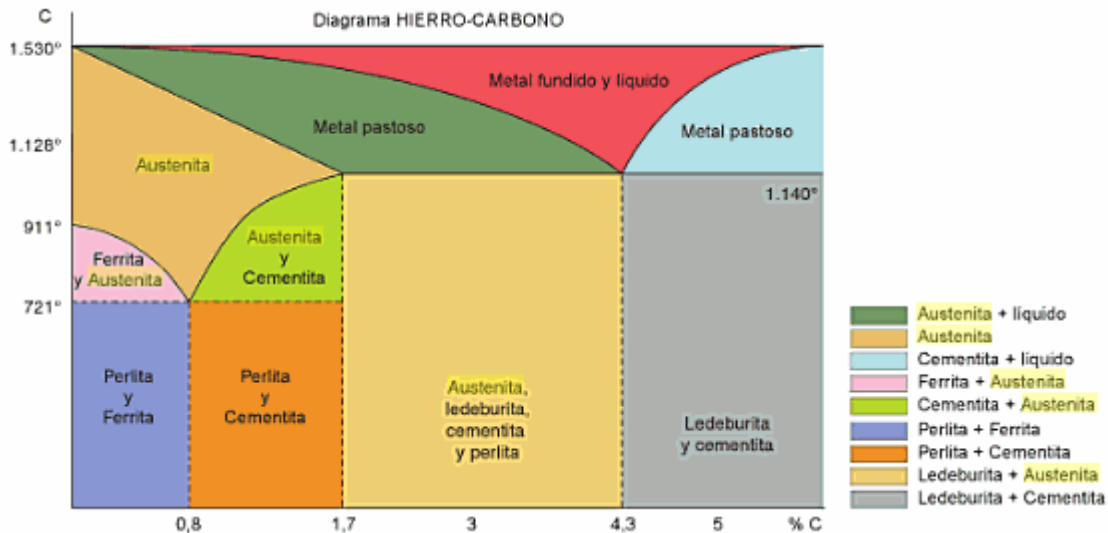


Fig.1. Diagrama hierro-carbono

El hierro puro puede presentar dos estados diferentes en función de la temperatura a la que este sometido<sub>6</sub>

- Estado líquido: si supera los 1.539 °C
- Estado sólido: por debajo de 1.539°C

El hierro puro en estado sólido presenta cuatro estados:

- Hierro delta, se forma a una temperatura de 1.400 a 1.539 °C
- Hierro gamma o austenita. Esta denominación se emplea para definir el hierro que se encuentra por debajo de los 1.390 hasta los 911 °C, es el estado más importante de cara a los tratamientos térmicos y forja
- Hierro beta, es el estado que presenta el hierro entre las temperaturas de 768 a 910°C.
- Hierro alfa. Este estado lo presenta por debajo de los 768°C: se denomina también ferrita o hierro dulce.

Las temperaturas en las que se producen las transformaciones de un estado a otro se denominan puntos críticos.

Los constituyentes principales del acero son:

- Ferrita: Es hierro alfa casi puro es un constituyente del hierro y del acero. La ferrita es uno de los elementos más blandos que puede componer el acero, es dúctil y magnético hasta los 768°C, su resistencia a la tracción es de 280 N/mm<sup>2</sup> y tiene una dureza de 90 HB.
- Cementita: Se forma cuando se excede el límite de solubilidad del carbono en ferrita por debajo de 727°C: La cementita es dura y frágil y aumenta la dureza del acero hasta 700HB.
- Perlita: Es un constituyente que se forma en capas delgadas de ferrita y cementita. Contiene 0.89% de carbono, es más dura que la ferrita y más blanda que la cementita.
- Austenita: Es una solución sólida de carburo de hierro. Puede tener de 0 al 0,2% de carbono siendo estable a temperaturas elevadas. La resistencia a la tracción es de 280 N/mm<sup>2</sup> y tiene una dureza de 200HB. La austenita es muy plástica.
- Martensita: Es un constituyente de los aceros que se forma cuando la austenita se enfría rápidamente. Se caracteriza entre otras propiedades por ser muy dura, resistente, poco dúctil y maleable.
- Otros constituyentes intermedios: En las transformaciones térmicas se forman además, la sorbita y la bainita.

El tratamiento térmico de los metales se define como el conjunto de ciclos de calentamiento y enfriamiento a que se someten los metales para modificar su microestructura, y por tanto sus propiedades. La naturaleza, la forma, el porcentaje y la distribución de los constituyentes de los metales y aleaciones conforman la microestructura del material metálico considerado. La microestructura, consecuencia de las reacciones en estado sólido generadas entre las fases existentes a lo largo de los tratamientos térmicos, es responsable de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del metal.

Los tratamientos térmicos se realizan en tres fases:

- Fase 1, calentamiento de la pieza hasta alcanzar la temperatura adecuada para el tratamiento, sin sobrepasarla.
- Fase 2, Mantenimiento de la temperatura hasta que esta sea igual en el exterior e interior de la pieza.
- Fase 3, enfriamiento a la velocidad adecuada, según el material y el tratamiento.

## 5.2 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.

### 5.3 Metalografía

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.



#### 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.

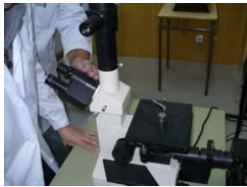
## Ataque químico



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.

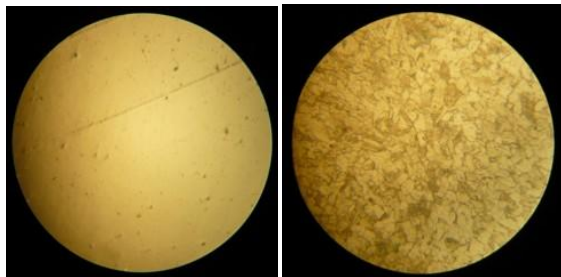
Para cada metal y aleación se utiliza un reactivo de ataque diferente. En el caso del acero el más utilizado es el NITAL, que se prepara disolviendo ácido nítrico en etanol. Cuando el acero es inoxidable se suele realizar un ataque electroquímico. En la fotografía aparece la probeta antes de ser tratada 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.

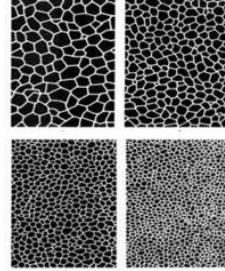
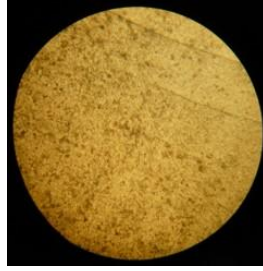
## Resultados



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 un 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 Texting 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:

### 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.

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.

### 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, análisis metalográfico.

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.

Sub fase de diseño experimental.

Para esta etapa de acuerdo a los antecedentes consultados previamente

### FASE DE EJECUCIÓN

En esta fase se realizará un muestreo de dos grupos probetas de material AISI/SAE 1045, un grupo se mantendrá intacto, el cual será el patrón de medida del procedimiento, el segundo grupo será sometido al tratamiento térmico y posterior análisis metalográfico

Al concluir estos procedimientos mediante análisis metalográfico y ensayos de dureza se observaran los cambios de fase del material con el procedimiento, basados en la norma ASTM 562.

#### FASE DE EVALUACIÓN.

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.

## 7. Cronograma

MES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6							
FECHAS DE CUMPLIMIENTO	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4				
Recopilación de la información.	■	■	■	■																								
Análisis Experimental				■	■	■	■	■	■																			
Determinar las condiciones del ensayo							■	■	■	■	■	■																
Ensayo de material										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Análisis de los resultados.														■	■	■	■	■	■	■	■	■						
Redacción documento final																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

## 8. Presupuesto

### Recursos Materiales

- Equipo de procesamiento de datos.PC
- Software: Microsoft Office XP, Excel entre otros
- Internet
- 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.

### Recursos Económicos

<b>PRESUPUESTO GENERAL PROYECTO</b>		
<b>Duración estimada (meses)</b>	Seis	
<b>Semanas</b>	24	15 horas semanales
<b>Descripción</b>	<b>Costo asociado</b>	<b>Fuentes de financiación</b>
<b>Recurso Humano Asociado</b>	\$	
<b>2</b> Autores Del proyecto	\$ 675.000	Personal
<b>1</b> Director o tutor	\$ 720.000	Institucional
<b>Software o equipo de apoyo</b>	\$ 2'000.000	Personal/ instucional
<b>Gastos Generales</b>	\$ 2' 800.000	Personal
<b>Ensayos - Muestreo</b>	\$ 3'100.000	Personal
<b>Condiciones especificas</b>	\$ -	
<b>Subtotal</b>	\$	
<b>16% Imprevistos</b>	\$ 2'000.000	Personal
<b>Total presupuestado</b>	\$	

## 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.uss.com/auto/tech/grades/TRIP\\_main.htm~HEAD=NNS](http://xnet3.uss.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 intercritical annealing textura chapas de acero of two asistido TRIP-", Revista de Procesamiento de Materiales Tecnología 203, 293-300, 2008.
- William D. Callister, "Ciencia de los Materiales e Ingeniería An Introduction", 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.
- Liu Qiang & 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 An Introduction", séptima edición, Wiley, 2007. p.292
- GB Olson, Morris Cohen, "Cinética de la tensión inducida por nucleación martensíticas", Transacciones Metalúrgicas 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 the martensitic transformation at various scales in TRIP steel. Materials Science and Engineering. Vol. A378, 2004, p. 304-307.
- HECKER, S.S. Simple technique for determining forming limit curves. Sheet Metal Industries. Vol. 52, 1975, p. 671-675.
- MARCINIAK, Z. and KUCZYNSKI, K. Limit strains in the processes of stretch-forming sheet metals. International Journal of Mechanics Sciences. Vol. 9, 1967, p. 609-620.
- Norma Internacional ISO 12004:2008. Metallic Materials. Sheet and Strip. Determination of forming-limit curves. 2008.

- MORELA SORA, Pere, "Tratamientos térmicos de los metales", Marcombo, S.A., Barcelona 1991
- FERRER, J., "Técnicas de mecanizado para el mantenimiento de vehículos", Editex.