

**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):	Luis Fernando	
Apellido (s):	Moreno Manrique	
Código:	20111275023	
E-mail:	luisfmm87@hotmail.com	
Teléfono fijo:	4728128	
Celular:	3124607449	

**Ejecutor 2**

Nombre (s):	John Freddy	
Apellido (s):	Penagos Cárdenas	
Código:	20111275029	
E-mail:	Jpenagosc@gmail.com	
Teléfono fijo:	7187560	
Celular:	31143120755	

**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	INFLUENCIA DE LA CEMENTACIÓN GASEOSA A TEMPERATURAS INTERCRITICAS, EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE TENSIÓN E IMPACTO EN LOS ACEROS AISI-SAE 1020 Y 8620	
Duración (estimada):	12 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:	DISING	
Proyecto de Investigación:	Modelamiento matemático del tratamiento térmico de cementación desde temperaturas intercriticas en los aceros AISI 1020 y 8620.	
Áreas del conocimiento que involucra:	Ciencia de Materiales.	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	Carlos Arturo Bohórquez Ávila
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Mirna Jirón Popova

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS .....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
Contexto nacional .....	4
Contexto local .....	4
Diagnóstico de la situación problema .....	5
Problema del proyecto de grado .....	5
ESTADO DEL ARTE .....	6
2.1. Modelamiento de Tratamientos Térmicos.....	6
2.2. Aceros doble fase .....	8
3. JUSTIFICACIÓN .....	10
4. OBJETIVOS .....	11
4.1. Objetivo General.....	11
4.2. Objetivos Específicos.....	11
MARCO TEÓRICO.....	12
Microconstituyentes .....	12
Tratamientos Térmicos .....	12
Temple.....	13
Hornos Para Tratamientos Térmicos .....	14
Norma Técnica Para Ensayos .....	15
6. METODOLOGÍA.....	17
7. CRONOGRAMA.....	18
8. PRESUPUESTO .....	19
8.1. Presupuesto de Personal.....	19
8.2. Suministros necesarios para ejecutar el proyecto .....	20
BIBLIOGRAFÍA .....	22

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes niveles de escalas utilizados en el Modelamiento matemático del comportamiento de materiales (Miguel Vaz Júnior, 2011).....	6
Figura 2. Esquema de la interacción de los procesos del tratamiento térmico. (LIU.C, 2002).....	7
Figura 3. Microestructura de un acero SAE 1010 al que se le realizó un tratamiento térmico desde temperaturas intercríticas de 760°C y 820°C (Movaheda. P, 2009). 9	
Figura 4. Diagrama TTT para un acero AISI 4130. ....	14
Figura 5. Probeta estándar para ensayos de tensión según norma NTC – 2.....	16

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **Contexto nacional**

En Colombia encontramos avances en cuanto a desarrollos de materiales con características específicas aplicadas para mejorar principalmente sus condiciones de resistencia. Tal como se aprecia en las bases de datos de proyectos de investigación en ciencia de materiales en Colciencias, y en otras fuentes como en artículos científicos en bibliotecas universitarias, a pesar de que existen muchos artículos relacionados con nuestro tema de investigación, ninguno de estos lleva un importante desarrollo aplicable. Podemos encontrar que diversos sectores de la industria en los últimos tiempos han tenido inconvenientes con materiales que no brindan gran confianza en el momento de exponerlos a condiciones elevadas de trabajo y/o de esfuerzo. En el marco de la globalización, a Colombia se le ha dado un papel en la economía internacional, en donde la industria ha tenido vía libre para crecer y desarrollarse, esto brinda la posibilidad de generar adelantos en cuanto creación de nuevos materiales. El acero al ser uno de los materiales más usados en la industria, requiere a su vez un alto nivel de desarrollo e investigación y por ende un alto nivel de innovación.

La investigación en Colombia es poco financiada, no se le da la suficiente importancia por parte del Estado, específicamente en el área de ingeniería nos encontramos que los intereses de investigación van muy enfocados hacia los campos minero-energéticos, dejando a un lado otros sectores como la investigación y creación de nuevos materiales.

Los materiales utilizados en la industria Colombiana son seleccionados inadecuadamente por desconocimiento o por falta de un material adecuado para cada aplicación, por tal razón encontramos fallas frecuentes de los materiales que son sometidos a esfuerzos exagerados. Teniendo en cuenta que para la selección del material prima el empirismo de muchos ingenieros, se usan materiales sin conocer su composición, su tratamiento térmico, etc. En el actual contexto de desarrollo económico, surge la necesidad de generar mayor confiabilidad en los materiales utilizados, para garantizar una debida producción que no se vea afectada por paros inesperados debidos a la falla de un material. Por esta razón en los últimos tiempos se evidencia en la industria y en el seno de los centros de investigación la necesidad de ahondar más en la creación de nuevos materiales que puedan satisfacer los deseos de aumentar eficiencia y corregir errores en la industria.

### **Contexto local**

La Universidad Distrital tiene aportes importantes en investigación, en particular en el área de ingeniería, los desarrollos se vienen dando desde los grupos y los semilleros de investigación que vienen haciendo desarrollos relacionados con las necesidades concretas de la industria Colombiana.

El Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico (CIDC) de la Universidad Distrital es el ente que Reglamenta, promueve, controla, evalúa, y socializa la investigación mediante políticas tendientes al desarrollo y consolidación de esta actividad como función esencial de la Universidad. Por medio de la convocatoria No. 2-2011 que como objetivo tiene financiar proyectos de investigación presentados por grupos de investigación, junto al profesor Carlos Bohórquez presentamos una propuesta de investigación que pretende generar nuevos conocimientos del comportamiento de algunos aceros en condiciones específicas, esta propuesta fue aceptada y actualmente es financiada por el CIDC.

En el programa académico se evidencia la falta de herramientas para poder realizar un trabajo riguroso y constante, las líneas del programa que van encaminadas hacia el área de nuevos materiales en los últimos años han intentado generar este tipo de investigaciones, la creación del Grupo de Investigación en Ingeniería y Diseño (DISING) ha brindado la oportunidad a estudiantes y docentes de generar proyectos de investigación.

### **Diagnóstico de la situación problema**

Los materiales metálicos son utilizados en una gran variedad de aplicaciones industriales, como estructuras, vehículos de transporte, plantas químicas, etc. En todas estas situaciones se requiere que el material ostenté una determinada resistencia a las fuerzas aplicadas en servicio, por lo que sus propiedades han ido mejorando, así el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo último y la elongación son cada vez mayores, sin que eso allá implicado un aumento de los precios de fabricación. Esta último gracias a los tratamientos térmicos, que nos brindan de forma fácil y económica cambiar dichas propiedades con el propósito de satisfacer las solicitudes mecánicas de acuerdo a su aplicación.

Actualmente encontramos un gran avance en la economía y en la industria, pero este avance no va de la mano con el desarrollo en nuevos materiales, y aun así también se cometen errores con la selección correcta y aplicación de tratamientos térmicos a los materiales utilizados. Una forma pertinente de transmitir este estudio a la industria es la elaboración de un modelo matemático, con el que se determine temperaturas y fases de acuerdo con las propiedades que se necesiten y dependiendo de la aplicación final del acero, cosa que hace mucho más fácil determinar el material y el tratamiento adecuados para dicha aplicación industrial.

### **Problema del proyecto de grado**

La industria requiere una forma adecuada para la selección de los aceros que se usan en diferentes aplicaciones, el modelamiento matemático nos brinda esta

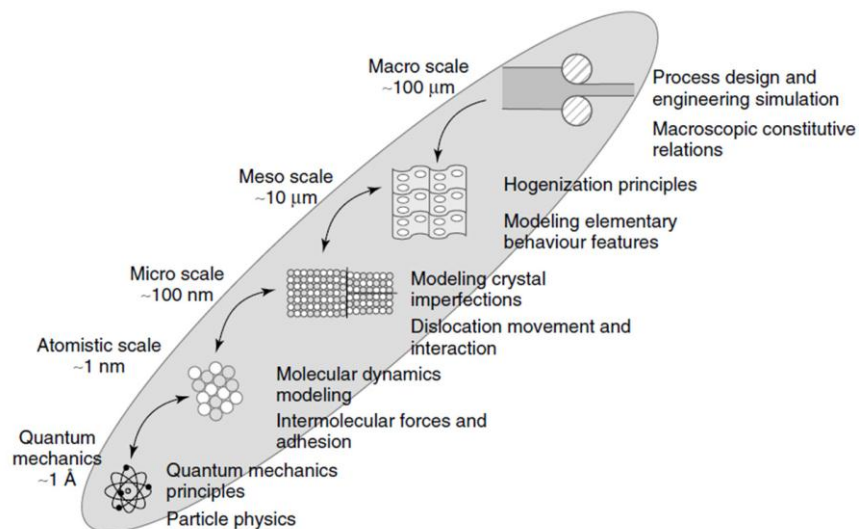
posibilidad, ya que por medio de este método tenemos un alto porcentaje de confiabilidad, siendo esto uno de los mayores dolores de cabeza en las empresas, por selecciones incorrectas de los aceros y de sus tratamientos térmicos se presentan fallos frecuentes.

## ESTADO DEL ARTE

### 2.1. Modelamiento de Tratamientos Térmicos

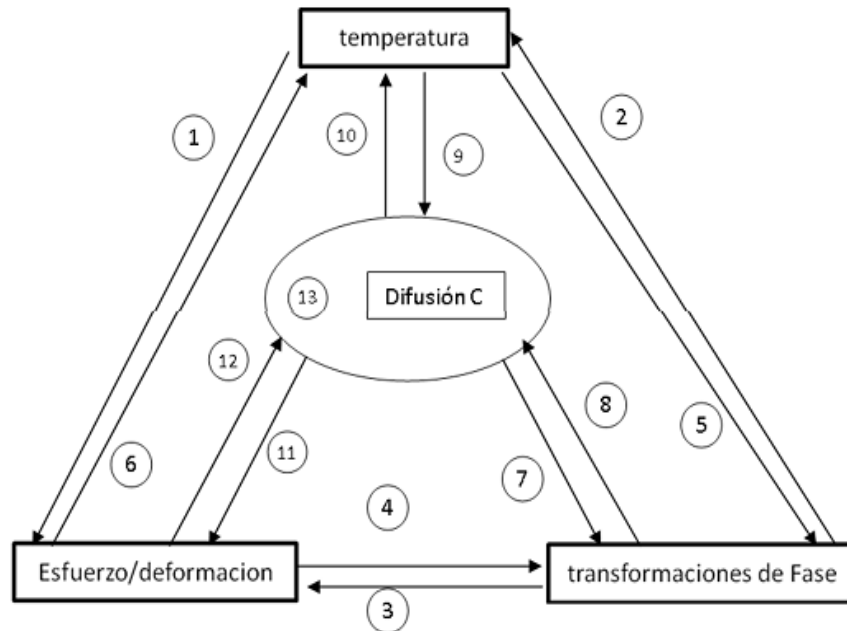
En ciencias aplicadas un Modelo matemático es uno de los tipos de modelos científicos, que emplea algún tipo de formulismo para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

Según (Bellomo. N, 2005) Un modelo matemático de un sistema físico real es una ecuación de evolución, adecuada para definir el cambio de algunas variables encargadas de describir el estado físico del sistema en sí. Estas definiciones hablan de una descripción de un comportamiento bajo la influencia de algunas condiciones iniciales, durante el tiempo en el que transcurre el fenómeno y la respuesta final del sistema como aspectos importantes del modelamiento. Existen diferentes tipos de modelamiento dependiendo de la escala que se utilice para representar el fenómeno, desde nivel atómico hasta modelos macro de procesos como el conformado de materiales figura 1.



**Figura 1. Diferentes niveles de escalas utilizados en el Modelamiento matemático del comportamiento de materiales (Miguel Vaz Júnior, 2011).**

El Modelamiento de los tratamientos térmicos se puede analizar desde diferentes aspectos que interactúan de numerosas formas como lo muestra la figura 2. Las relaciones existentes entre cada uno de ellos se explican a continuación.



**Figura 2. Esquema de la interacción de los procesos del tratamiento térmico. (LIU.C, 2002).**

En años anteriores los trabajos de modelamiento del temple han sido tratados extensamente por muchos autores, utilizando diferentes métodos para realizar las simulaciones, como diferencias finitas, volúmenes finitos o elementos finitos. En los años 70 se limitaban al cálculo de las fases presentes luego del tratamiento, posteriormente al estudio y cálculo de los esfuerzos residuales por la transformación analizados en 1D y 2D; sin embargo se despreciaba el efecto de las deformaciones plásticas en las transformaciones. A finales de los 80 se incorporaron estas deformaciones en los materiales denominados TRIP por sus siglas en inglés (Transformation-induced plasticity), en los 90 el desarrollo se enfocó al modelamiento de diagramas Temperatura Tiempo Transformación TTT, y los diagramas de enfriamiento continuo CCT (Gur. J, 2009).

El modelamiento del temple comprende entonces varios aspectos: mecánico, que incluye deformaciones elásticas y plásticas, térmico y de transformaciones de fase. Varios autores analizan cada uno de estos aspectos por separado (Oliveira. W, 2010), Sen (2000) hizo un estudio de esfuerzos producidos por el cambio térmico en piezas cilíndricas de acero mostrando la diferencia entre la superficie y el centro de la pieza templada, Zhao et al (2006), Zhang et al (2008), estudiaron cambios estructurales que implican difusión y procesos no difusivos para ello se emplean las ecuaciones de JMAK, (Johnson-Mehl- Avrami-Kolmogorov) planteada hacia 1940 que describen la cinética de las transformaciones difusivas (Kanga. S, 2007) (Zhao.H, 2006) (Ju. D Z. W., 2006), la ley de Koistinen y Marburger que permite calcular la fracción volumétrica de martensita dependiendo

de la temperatura para procesos no difusivos (Kanga. S, 2007) (Silva. E, 2004) (Moumni. Z, 2011) (Serajzadeh.S, 2004). Al igual que la ley de adición de Scheil que ayuda a establecer los tiempos de transformación de fases y sus temperaturas. Hakan et al (2009), muestra como los diagramas TTT describen las relaciones entre el inicio y el final de las transformaciones de fase y la fracción volumétrica presente durante un proceso isotérmico a diferentes temperaturas. La ecuación de JMAK proporciona una base sólida para la simulación numérica de procesos térmicos aunque no puede ser directamente aplicada para calcular la fracción volumétrica en procesos no isotérmicos de calentamiento o enfriamiento.

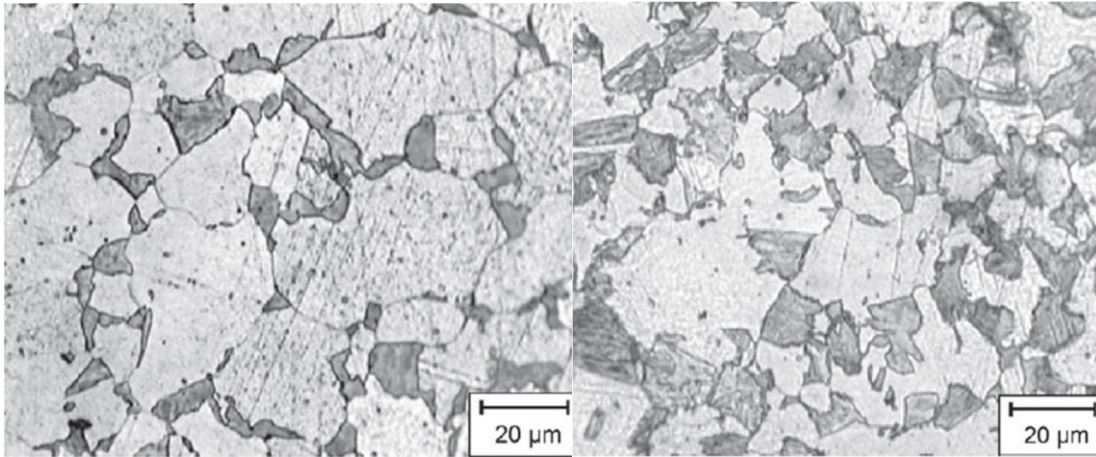
Hasta ahora, el método propuesto por (Denis.S, 1996) es el más utilizado para este fin, en él se considera el proceso no isotérmico como un proceso isotérmico de muchas etapas de duración muy corta, que puede establecerse mediante la regla de la adición de Scheil (Idesmana. A, 2005). Sin embargo algunos aspectos de relativa complejidad se excluyen de los análisis realizados, por ejemplo el calor generado al efectuarse la transformación de fase, la expansión volumétrica debido a esa misma transformación, el calor generado por las deformaciones plásticas o por el endurecimiento del material tratado.

## **2.2. Aceros doble fase**

Pouranvari (2010) indica que los aceros de doble fase (Dual Phase Steel) son una parte importante de los aceros de alta resistencia y baja aleación (High Strength Low Alloy Steels HSLA), estos materiales tienen una combinación de propiedades mecánicas como alto esfuerzo de fluencia, alta velocidad de trabajo en caliente y buena ductilidad.

(Movaheda. P, 2009) sugieren que esta buena combinación de propiedades está relacionada definitivamente con la microestructura formada por el tratamiento, una matriz ferrítica que brinda una buena ductilidad, mientras que las partículas de martensita soportan las cargas a las que se somete durante el servicio. Debido a su excelente resistencia y conformabilidad, los aceros de doble fase ofrecen la posibilidad de mejorar el comportamiento en accidentes de partes de automóviles si aumento de peso. Los tratamientos térmicos intercríticos son la forma más sencilla de mejorar las propiedades de aceros de baja contenido de carbono aleación (inferior al 0,2%), se realiza un temple desde el intervalo de temperaturas de  $A_1$  y  $A_3$ , este tratamiento hace que la austenita presente se transforme en martensita, dando lugar a la aparición de una microestructura que reemplaza la convencional de ferrita y perlita, como lo muestra la siguiente figura. En ella se puede apreciar que al aumentar la temperatura de tratamiento se aumenta la cantidad de martensita que se forma.





**Figura 3. Microestructura de un acero SAE 1010 al que se le realizó un tratamiento térmico desde temperaturas intercríticas de 760°C y 820°C (Movaheda. P, 2009).**

(Al-Abbasi. F, 2003) Señala que el modelamiento micromecánico de los aceros de doble fase DP (Dual Phase) por sus siglas en inglés, ha recibido poca atención, a pesar de su atractiva combinación de propiedades. Los interrogantes acerca de las combinaciones óptimas de las fases persisten y precisan de modelos predictivos para minimizar costosos métodos de prueba y error en el desarrollo de productos. En este trabajo se utilizan modelos micromecánicos para entender los mecanismos locales que rigen la deformación macroscópica, sin embargo solo tienen en cuenta los valores de las deformaciones plásticas y elásticas. (Yoshida. K, 2011) anota que en aceros DP existen dos mecanismos que pueden explicar el comportamiento ante el endurecimiento causado por la deformación: el primero es que la martensita se forma trayendo consigo un esfuerzo interno en el material, y el segundo es un contraste entre el comportamiento mecánico de la ferrita y la martensita por su naturaleza heterogénea, uno se forma por un proceso de difusión y el otro sin difusión.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad los materiales empleados en la fabricación de componentes de máquinas y equipos deben soportar más cargas de trabajo por lo que sus propiedades se han ido mejorando, así el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo último y la elongación son cada vez mayores, sin que ello haya implicado un aumento de los precios de fabricación. Como ya se mencionó los tratamientos térmicos son una forma fácil y económica de cambiar dichas propiedades con el propósito de satisfacer las solicitudes mecánicas de su aplicación.

Los aceros de doble fase (DP) son un ejemplo de modificación del material base en el que se mejoran las propiedades mecánicas significativamente, sin embargo encontrar de forma experimental: la composición de la estructura adecuada para cada requerimiento, la temperatura a la cual se debe realizar el tratamiento térmico y el tiempo de permanencia a la temperatura seleccionada, resulta muy dispendioso, costoso y con un alto grado de incertidumbre en los resultados. Ello sugiere la aplicación de un método diferente.

El modelamiento matemático permite no solo encontrar la mejor combinación de propiedades en tiempos relativamente cortos, si no que adicional a esto resulta muy favorable desde el punto de vista económico. Además provee de una fuente de información en la facultad para efectuar futuros estudios relacionados con esta área de estudio, y para la formación y desarrollo de futuros investigadores en nuestra facultad.

De igual forma, según las expectativas del proyecto curricular en aportar significativamente a esta área de la investigación, por medio de este proyecto queremos generar nuevos conocimientos y nuevas herramientas que puedan ser utilizadas por todos los estudiantes del programa de Tecnología e Ingeniería Mecánica.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo General**

Realizar la cementación gaseosa con alcoholes a temperaturas intercríticas para establecer su influencia en las propiedades mecánicas de tensión e impacto en los aceros AISI-SAE 1020 y 8620.

### **4.2. Objetivos Específicos**

- Realizar una búsqueda de por lo menos 15 artículos sobre el tema del proyecto.
- Calcular las temperaturas críticas.
- Definir las características técnicas del horno de cementación y ponerlo a punto, para su funcionamiento.
- Fabricar las probetas según la Norma Técnica Colombiana NTC 2.
- Aplicar el tratamiento térmico de cementación gaseosa a las probetas
- Realizar los ensayos de tensión e impacto bajo la norma NTC 2
- Analizar los resultados de las pruebas realizadas a los aceros tratados para determinar el cambio de propiedades.

## MARCO TEÓRICO

### Microconstituyentes

El hierro puro presenta tres estados alotrópicos a medida que se incrementa la temperatura desde la ambiente:

- Hasta los 911 °C, el hierro ordinario, cristaliza en el sistema cúbico centrado en el cuerpo (BCC) y recibe la denominación de hierro  $\alpha$  o **ferrita**. Es un material dúctil y maleable responsable de la buena forjabilidad de las aleaciones con bajo contenido en carbono y es ferromagnético hasta los 768 °C (temperatura de Curie a la que pierde dicha cualidad). La ferrita puede disolver muy pequeñas cantidades de carbono.
- Entre 911 y 1400 °C cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras (FCC) y recibe la denominación de hierro  $\gamma$  o **austenita**. Dada su mayor compacidad la austenita se deforma con mayor facilidad y es paramagnética.
- Entre 1400 y 1538 °C cristaliza de nuevo en el sistema cúbico centrado en el cuerpo y recibe la denominación de hierro  $\delta$  que es en esencia el mismo hierro alfa pero con parámetro de red mayor por efecto de la temperatura.

Si se añade carbono al hierro, sus átomos podrían situarse simplemente en los intersticios de la red cristalina de éste último; sin embargo en los aceros aparece combinado formando carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), es decir, un compuesto químico definido y que recibe la denominación de **cementita** de modo que los aceros al carbono están constituidos realmente por ferrita y cementita.

Las texturas básicas descritas (perlíticas) son las obtenidas enfriando lentamente aceros al carbono, sin embargo modificando las condiciones de enfriamiento (base de los tratamientos térmicos) es posible obtener estructuras cristalinas diferentes:

- La **martensita** es el constituyente típico de los aceros templados y se obtiene de forma casi instantánea al enfriar rápidamente la austenita. Es una solución sobresaturada de carbono en hierro alfa con tendencia, cuanto mayor es el carbono, a la sustitución de la estructura cúbica centrada en el cuerpo por tetragonal centrada en el cuerpo. Tras la cementita (y los carburos de otros metales) es el constituyente más duro de los aceros.
- Velocidades intermedias de enfriamiento dan lugar a la **bainita**, estructura similar a la perlita formada por agujas de ferrita y cementita pero de mayor ductilidad y resistencia que aquella.

### Tratamientos Térmicos

Se conoce como tratamiento térmico el proceso que comprende el calentamiento de los metales o las aleaciones en estado sólido a temperaturas definidas, manteniéndolas a esa temperatura por suficiente tiempo, seguido de un

enfriamiento a las velocidades adecuadas con el fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la elasticidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono. También se aplican tratamientos térmicos diversos a los sólidos cerámicos.

Las propiedades mecánicas de las aleaciones de un mismo metal, y en particular de los aceros, residen en la composición química de la aleación que la forma y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete. Los tratamientos térmicos modifican la estructura cristalina que forman los aceros sin variar la composición química de los mismos.

## Temple

El temple es el más común de los tratamientos térmicos empleados para cambiar las propiedades de un acero. El temple se realiza desde temperaturas por encima de A1 la cual se calcula con la siguiente expresión (Gur. J, 2009):

$$A_1(^{\circ}C) = 727 + 13.4Cr - 1.03C - 16.72Mn + 0.91 C Mn + 6.18 Cr Mn - 0.64Mn^2 + 3.14 Mo + 1.86Cr Mo - 0.73 Mn Mo - 13.66 Ni + 0.53 C Ni + 1.11 Cr Ni - 2.28 Mn Ni - 0.24 Ni^2 - 6.34 Si - 8.88 Cr Si - 2.34 Mn Si + 11.98 Si^2$$

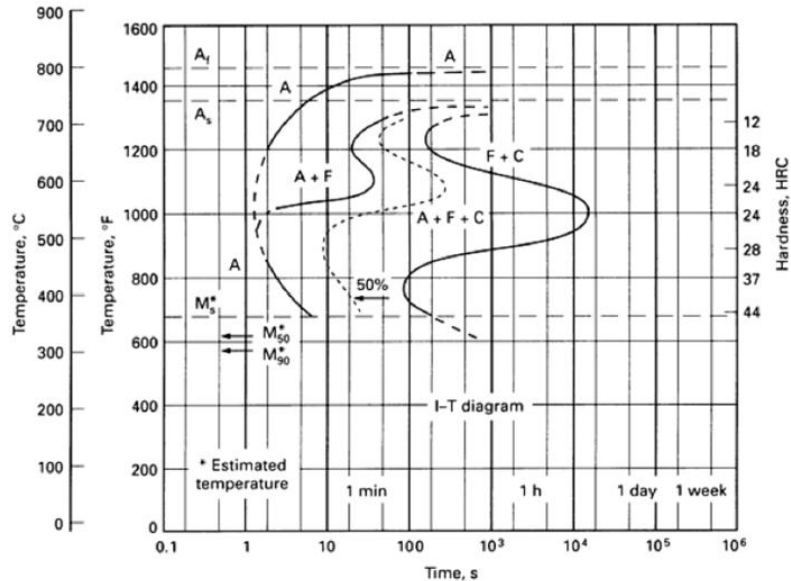
Ecuación [1]

Cuando se realiza en un estado de austenización total la temperatura debe estar por encima de A3 que se calcula de acuerdo con (Gur. J, 2009):

$$A_3(^{\circ}C) = 912 - 203\sqrt{C} + 15.2Ni + 44.7Si + 104V + 31.5Mo + 13.1W - 30Mn - 11Cr - 20Cu + 700P + 400Al + 120As + 400Ti$$

Ecuación [2]

En las anteriores expresiones se observa la influencia de los elementos aleantes en el aumento o la disminución de las temperaturas. Dependiendo de la temperatura desde la cual se realice el tratamiento existirá más austenita y por consiguiente más martensita. Si la temperatura es intermedia entre A1 y A3 la cantidad de austenita presente se calcula con la ley de la palanca, figura 4. La principal influencia de los elementos aleantes es que desplazan los diagramas TTT hacia la derecha, lo que disminuye la velocidad a la que se puede realizar el temple (Reti. T, 2001) (Silva. E, 2004). En la siguiente gráfica se muestra esta influencia para un acero (ASM, 2003)



**Figura 4. Diagrama TTT para un acero AISI 4130.**

Las principales características de la transformación de la austenita en martensita en los aceros son las siguientes:

1. La transformación de la austenita en martensita se obtiene por el enfriamiento rápido desde temperaturas superiores a A1.
2. La transformación de la austenita comienza desde la temperatura de inicio de esta transformación Ms. Esta temperatura depende de la concentración de carbono y de los elementos aleantes que la pueden incrementar o disminuir.
3. La temperatura de final de la transformación Mf define el rango de temperaturas donde se realiza este proceso, en algunos casos puede estar por debajo de la temperatura ambiente. (Totten.G, 2007) (Ju. D Z. W., 2006).
4. La martensita no necesita un periodo de incubación, la transformación se realiza de manera instantánea al realizar el enfriamiento por debajo de Ms, esta transformación se conoce como no difusional (non-difusional). (Oliveira. W, 2010).
5. Para temperaturas por debajo de Ms la cantidad de martensita aumenta rápidamente, una característica importante de esta transformación es que las primeras estructuras de Martensita formadas no crecen con el tiempo por ser un proceso no difusional (Silva. E, 2004).

## **Hornos Para Tratamientos Térmicos**

Existen diferentes tipos de hornos para los procesos de tratamiento térmico. La elección del horno debe tomarse teniendo en cuenta el tamaño y forma de la pieza, el número de piezas (tamaño del lote) y las temperaturas de tratamiento

térmico del material. Adicionalmente, debe considerarse el tipo de calentamiento y el medio de enfriamiento que habrán de ser usados.

Existen varias maneras de clasificar los hornos. Según el tipo de proceso de tratamiento térmico, se distingue por ejemplo entre hornos de precalentamiento, hornos de recocido y hornos de temple. Otros factores para la clasificación son el diseño del horno (P.ej. cámara, campana, chimenea, tubular, de baño, crucible), el medio de tratamiento térmico (P.ej. aire circulante, gas inerte, vacío, baño de sales, lecho fluidizado) y el tipo de calentamiento (P.ej. interno o externo, electrodos, inducción o resistencia, gas). A continuación se describen brevemente los equipos de tratamiento térmico más importantes.

Los **hornos de cámara** se cuentan entre los diseños más antiguos. Estos equipos se siguen utilizando ampliamente por su sistema de calentamiento variable, su bajo impacto ambiental y su aplicabilidad universal con relación al tamaño de la pieza y al tipo de tratamiento térmico.

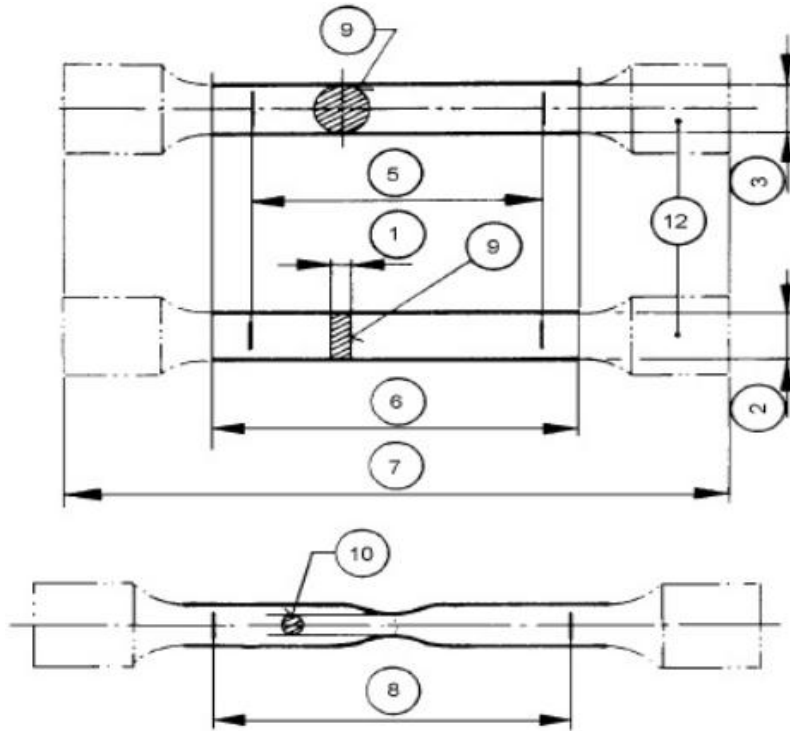
### **Norma Técnica Para Ensayos**

La norma para los ensayos de tensión en nuestro país es la Norma Técnica Colombiana NTC 2 Titulada: Ensayo de Tracción Para Materiales Metálicos, el objetivo y campo de aplicación de esta norma es especificar el método para el ensayo de tensión de materiales metálicos y definir las propiedades mecánicas que se pueden determinar a temperatura ambiente.

Algunas normas técnicas que se toman como referencia para la NTC 2 son: EN 10 002 – 2 y la EU 18; 1979, esta última acerca de la selección y preparación de muestras y probetas de ensayo para productos de acero.

El principio del ensayo de tensión comprende el alargamiento de una probeta de ensayo por fuerza de tensión, generalmente hasta la rotura, con el propósito de determinar la resistencia del material, entre otras propiedades.

A continuación se muestra la probeta estándar para el ensayo de tensión, y los símbolos para representar cada una de las dimensiones principales, para probetas de perfil circular y rectangular.



**Figura 5. Probeta estándar para ensayos de tensión según norma NTC – 2.**

Numero de referencia	Símbolo	Unidades	Designación
Probeta de ensayo			
1	a	mm	Espesor de la probeta de ensayo plana o de la pared de un tubo.
2	b	mm	Ancho de la longitud paralela de la probeta de ensayo plana o ancho promedio de la platina longitudinal tomada de un tubo o ancho de un alambre plano.
3	d	mm	Diámetro de la longitud paralela de una probeta circular o diámetro de un alambre redondo o diámetro interno de un tubo.
4	D	mm	Diámetro externo de un tubo.
5	$L_o$	mm	Longitud calibrada inicial.
6	$L_c$	mm	Longitud paralela
--	$L_e$	mm	Longitud calibrada del extensómetro
7	$L_t$	mm	Longitud total de la probeta
8	$L_u$	mm	Longitud final calibrada después de la rotura.
9	$S_o$	mm	Área de la sección transversal original de la longitud paralela..
10	$S_u$	mm	Área mínima de la sección transversal después de la rotura.
11	Z	%	Porcentaje de reducción de área: $\frac{S_o - S_u}{S_o} \times 100$
12	--	--	Agarre de las mordazas.

**Tabla 1. Símbolos y designaciones de las dimensiones de la probeta normalizada.**



## 6. METODOLOGÍA

Para la implementación del horno de cementación gaseosa, se realizara el seguimiento de las siguientes etapas:

1. **Fase de documentación y recopilación de información:** se realiza mediante la obtención de artículos, textos, guías, etc. Acerca de estudios realizados en el área de construcción de hornos de cementación gaseosa, tratamientos térmicos y tratamientos termoquímicos.
2. **Fase de construcción e implementación del horno,** esto comprende la modificación de la mufla para la alimentación del cementante, el agujero para el eje del ventilador y el orificio para introducir las probetas, así como la estructura para los tanques que albergan los cementantes.
3. **Fase de fabricación de probetas:** Siguiendo a la implementación de horno se procede a elaborar las probetas según la norma NTC 2.
4. **Fase de tratamiento termoquímico** a las probetas, introduciéndolas por el orificio en la [parte superior de horno, la cementación se realiza controlando el flujo del cementante líquido al interior del horno, en donde se vuelve gaseoso, y accionando el ventilador en la parte inferior de este con el fin de rotar la atmósfera del interior del horno.
5. **Fase de realización de los ensayos mecánicos** a las probetas tratadas, principalmente ensayos de tensión e impacto, así como pruebas de dureza, y finalmente la metalografía.
6. **Fase de elaboración de productos finales:** los informes con los resultados de las pruebas, se registran los datos de resistencia mecánica del material sin tratar y del material tratado para compararlos y hallar cambios obtenidos de los valores de dureza, composición química, composición microestructural y metalografía.

## 7. CRONOGRAMA

FASE	ACTIVIDAD	DURACIÓN (meses)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Documentación y recopilación de información</b>	Búsquedas de textos	■	■										
	Recopilación de información en multimedia		■	■									
	Búsquedas de artículos científicos		■	■	■								
<b>Construcción e implementación del horno</b>	Adquisición del horno				■	■							
	Modificaciones en la mufla				■	■	■						
	Construcción de tanques de cementación y su estructura					■	■	■					
	Implementación y puesta a punto						■	■	■				
<b>Fabricación de probetas</b>	Compra de los aceros							■	■				
	Maquinado de las probetas								■	■			
<b>Tratamiento Termoquímico</b>	Selección de número de probetas a tratar								■				
	Aplicación del tratamiento termoquímico								■	■			
<b>Ensayos mecánicos</b>	Ensayos de tensión y de impacto										■	■	
	Pruebas de dureza											■	■
	Metalografía											■	■
<b>Elaboración de productos finales</b>	Recolección y análisis de resultados											■	■
	Elaboración del informe final											■	■

## 8. PRESUPUESTO

La fuente de financiación será principalmente por parte de la Universidad Distrital por medio del Centro de Investigación y Desarrollo Científico, gracias al apoyo brindado a proyectos de investigación desarrollados por grupos de investigación. Por medio de la convocatoria No. 2-2011 que como objetivo tiene financiar proyectos de investigación presentados por grupos de investigación.

Descripción		Costo asociado	Fuentes de financiación
<b>Recurso Humano Asociado</b>		\$ 52.712.977	
<b>2</b>	<b>Autores del proyecto</b>	\$ 33.951.720	Personal/Institucional
<b>1</b>	<b>Director o tutor (interno)</b>	\$ -	Institucional
<b>0</b>	<b>Director o tutor (externo)</b>	\$ -	
<b>0</b>	<b>Profesor (responsable interno)</b>	\$ 8.321.567	Institucional
<b>2</b>	<b>Apoyo técnico</b>	\$ 8.321.567	Institucional
<b>0</b>	<b>Apoyo administrativo</b>	\$ -	
<b>1</b>	<b>Asesor</b>	\$ 2.118.124	Institucional
<b>Software o equipo de apoyo</b>		\$ 6.550.000	Institucional
<b>Gastos Generales</b>		\$ 2.449.500	Institucional
<b>Diseño Prototipo</b>		\$ 6.750.000	Institucional
<b>Condiciones específicas</b>		\$ 1.100.000	Institucional
<b>Subtotal</b>		\$ 69.562.477	
<b>1%</b>	<b>Imprevistos</b>	\$ 695.625	Personal
<b>Total presupuestado</b>		\$ 70.258.102	Personal/Institucional

### 8.1. Presupuesto de Personal

Descripción	Cantidad de personas	Dedicación semanal	Valor Hora	Costo personal
	Número	Horas	Pesos	Pesos
<b>Autores del proyecto</b>	2	10	\$ 22.000	\$ 22.440.000
<b>Director o tutor (interno)</b>	1	15	Contrapartida UD	Contrapartida UD
<b>Director o tutor (externo)</b>				\$ 0
<b>Profesor (responsable interno)</b>				\$ 0
<b>Apoyo técnico</b>	2	2	\$ 26.961	\$ 5.500.044
<b>Apoyo administrativo</b>				\$ 0
<b>Asesor</b>	1	1	\$ 27.450	\$ 1.399.950
				\$ 29.339.994
<b>Carga Prestacional</b>			51,30%	\$ 15.051.417
				\$ 44.391.411

## 8.2. Suministros necesarios para ejecutar el proyecto

Prototipo	Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Material 1	Construcción de Horno		1	\$ 6.500.000	\$ 6.500.000
Material 2	Acero AISI-SAE 1020 y 8620	Metros	10	\$ 25.000	\$ 250.000
<b>General Prototipo</b>					<b>\$ 6.750.000</b>

Generales	Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Fotocopias					\$ -
Libros	Bibliografía	Libro	4	\$ 150.000	\$ 600.000
Planos					\$ -
Horas de taller	Fabricación probetas	Horas	20	\$ 15.000	\$ 300.000
Horas de laboratorio		Horas			\$ -
Impresión de planos	Planos		10	\$ 10.000	\$ 100.000
Impresión documentos					\$ -
Suministros de oficina	Varios		1	\$ 200.000	\$ 200.000
Transportes	Viajes congresos y ensayos	Horas	83,3	\$ 15.000	\$ 1.249.500
<b>Gastos Generales asociados al proyecto</b>					<b>\$ 2.449.500</b>

Software	Detalle	Costo referencia	% Uso	Costo Uso	Total
Computador	Equipos de computo	\$ 3.250.000	100%	\$ 3.250.000	\$ 3.250.000
Suministros de computador	Software	\$ 275.000	100%	\$ 275.000	\$ 3.300.000
Internet			100%	\$ -	\$ -
<b>Costos de licencias, conexión y computador</b>					<b>\$ 6.550.000</b>

Condiciones específicas	Detalle	Referencia	% Uso	Costo Uso	Total
Ensayos de laboratorio	Metalografía, dureza, resistencia		1	\$ 300.000	\$ 300.000
Patentes y registros			1	\$ -	\$ -
Normas Técnicas				\$ -	\$ -
Equipos especiales			-	\$ -	\$ -
Depreciación equipos			25%	\$ -	\$ -
Licencias y permisos			1	\$ -	\$ -
Otros especiales	Material de difusión y promoción de resultados	\$ 800.000	1	\$ 800.000	\$ 800.000
<b>Costos especiales al proyecto</b>					<b>\$ 1.100.000</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

ASKELAND, Donald. 2004. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. DF, Mexico: Editorial Thomson.

ASM, Handbook Committee. 1991. Heat Treating. Vol 4. Editorial ASM International.

ASM INTERNATIONAL. Metals Handbook Metalography And Microstructures Vol. 9. Publicado por ASM International. Novena Edición.

BEER, Ferdinan. 1995. Mecánica de Materiales. DF, Mexico: Editorial Mc Graw Hill.

BHAGAVATHI. L, C. G. (2011). Mechanical and corrosion behavior of plain low carbón dualphase steels. Materials and Design, 433-440.

CALLISTER, William. 2002. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. DF, Mexico: Editorial Reverté S.A.

DENIS.S. (1996). Considering Stress-Phase Transformation Interactions in the Calculation of Heat Treatment Residual Stresses. JOURNAL DE PHYSIQUE IV.

HIBBELER, Russell. 1994. Mecánica de Materiales. DF, Mexico: Editorial Continental S.A.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Citas y notas de pie de página. Bogotá: ICONTEC, 2002. 23p. (NTC 1487).

J.C. ANDERSON – K.D. LEAVER – R.D. RAWLINGS – J.M. ALEXANDER. Ciencia de Materiales. Publicado por LIMUSA 2002. Segunda edición.

LAMBERSA. H.G, T. S. (2010). Pre-deformation-transformation plasticity relationship during martensitic transformation. Materials Science and Engineering A.

SMITH WILLIAM. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. 3 ed. Madrid: McGraw-Hill, 1998.

STURLA, Antonio. 2002. Tratamientos Térmicos de los Aceros. Buenos Aires, Argentina: Editorial Nueva Librería.

TOTTEN.G. (2007). Steel heat treatmen methallurgy and thecnologies. Taylor and Francis group.