



| UNIVERSIDAD DISTRITAL “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS” - FACULTAD TECNOLÓGICA<br>PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA<br>FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO |   |   |
|---|---|---|
| N° DE RADICACIÓN: _____   |   |   |
| INFORMACIÓN EJECUTORES  |   |   |
| <b>Ejecutor 1</b>   |   |   |
| Nombre (s):   | Edison Andrés.  |  |
| Apellido (s):   | Arévalo Ávila.  |   |
| Código:   | 20111275001   |   |
| E-mail:   | <a href="mailto:aarevalo400@hotmail.com">aarevalo400@hotmail.com</a>  |   |
| Teléfono fijo:  | (57 +1) 2 00 28 84  |   |
| Celular:  | (57) 311 845 14 73  |   |
| <b>Ejecutor 2</b>   |   |   |
| Nombre (s):   | John Edinson  |  |
| Apellido (s):   | Bustos Igua   |   |
| Código:   | 20111275005   |   |
| E-mail:   | <a href="mailto:zhonby@hotmail.com">zhonby@hotmail.com</a>  |   |
| Teléfono fijo:  | (57 +1) 5 75 04 29  |   |
| Celular:  | (57 ) 313 201 32 97   |   |
| INFORMACIÓN DEL PROYECTO  |   |   |
| Título del Proyecto:  | ANÁLISIS DE VARIACIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS 1020 Y 8620 CON UN DOBLE TRATAMIENTO DE REVENIDO |   |
| Duración (estimada):  | 3 meses aprox.  |   |
| Tipo de Proyecto: (Marqué con una “x”)  | Innovación y Desarrollo Tecnológico   | X   |
|   | Prestación y Servicios Tecnológicos   |   |
|   | Otro  |   |
| Modalidad del Trabajo de Grado:   | Proyectos Científicos y Comunitarios  |   |
| Línea de Investigación de la Facultad*:   | Desarrollo Tecnológico Local e Institucional  |   |
| Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:   | Materiales y Procesos   |   |
| Grupo de Investigación:   |   |   |
| Proyecto de Investigación:  |   |   |
| Áreas del conocimiento que involucra:   | Ciencia y química de materiales, tratamientos térmicos, resistencia de materiales.                                |   |
| INFORMACIÓN PASANTÍA  |   |   |
| Nombre de la empresa:   |   |   |
| Dirección:  |   |   |
| Teléfonos:  |   |   |
| Correo electrónico:   |   |   |
| Página Web:   |   |   |
| INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA  |   |   |
| Director: (Vo. Bo.)   |   |   |
| Proyecto de Pasantía:<br>(Tutor): (Vo. Bo.)   |   |   |
| Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)  |   |   |

**ANÁLISIS DE VARIACIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS  
ACEROS 1020 Y 8620 CON UN DOBLE TRATAMIENTO DE REVENIDO**

**EDISON ANDRÉS ARÉVALO ÁVILA  
20111275001  
JOHN EDINSON BUSTOS IGUA  
20111275005**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
INGENIERIA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2012**

**ANÁLISIS DE VARIACIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO  
1020 Y 8620 CON UN DOBLE TRATAMIENTO DE REVENIDO**

**EDISON ANDRÉS ARÉVALO ÁVILA**

**20111275001**

**JOHN EDINSON BUSTOS IGUA**

**20111275005**

**Propuesta de proyecto para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

**FACULTAD TECNOLÓGICA**

**INGENIERIA MECÁNICA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2012**

## TABLA DE CONTENIDO

|  | Pág. |
|--|------|
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                    | 5    |
| 1.1. ESTADO DEL ARTE                             | 7    |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN                               | 17   |
| 2. OBJETIVOS                                     |      |
| 2.1. Objetivo General                            | 18   |
| 2.2. Objetivos Específicos                       | 18   |
| 3. MARCO TEÓRICO                                 |      |
| 3.1. Acero                                       | 19   |
| 3.2. Clasificación de los Aceros                 | 19   |
| 3.2.1. Aceros al Carbono                         | 20   |
| 3.2.2. Aceros Aleados                            | 22   |
| 3.2.3. Aceros de Baja aleación ultrarresistentes | 22   |
| 3.2.4. Acero AISI 1020                           | 23   |
| 3.2.5. Acero 8620                                | 24   |
| 3.3. Tratamientos Térmicos                       | 24   |
| 3.3.1. Tipos de Tratamientos Térmicos            | 25   |
| 3.3.2. Desarrollo de los Tratamientos Térmicos   | 25   |
| 3.3.3. Martempering                              | 26   |
| 4. DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR                | 28   |
| 6. CRONOGRAMA                                    | 30   |
| 5. RECURSOS DISPONIBLES                          | 31   |
| 5.1. Recursos Materiales                         | 31   |
| 5.2. Recursos Institucionales                    | 31   |
| 5.3. Recursos Económicos                         | 31   |
| 5.4. Personas que participan en el proyecto      | 32   |
| 7. BIBLIOGRAFÍA                                  | 33   |

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria metalmecánica mundial se utilizan mucho los materiales ligeros y con buenas propiedades mecánicas que puedan soportar todos los esfuerzos, impactos, cambios de temperatura y velocidades a los que están sometidos siempre teniendo en cuenta que las relaciones costo beneficio sean las más óptimas, ya que el factor dinero entra a jugar un papel importante a la hora del diseño y posterior fabricación de cualquier elemento de ingeniería.

En los últimos años la recuperación de la demanda mundial del acero, que comenzó en 2010, ha mantenido su impulso en 2011 y 2012. Acontecimientos negativos inesperados como la crisis de la zona euro, el desastre natural de Japón, el malestar político y social en Oriente Medio y el Norte de África no han modificado esta tendencia. El crecimiento de las economías de los países en desarrollo, en un entorno de manejo de la deuda por parte de la Unión Europea, augura un crecimiento del consumo mundial del acero para este año del 5,4%. Globalmente y sin lugar a dudas, uno de los más importantes materiales utilizados en esta gran industria son los aceros, ya que cuentan con muy buenas propiedades para desempeñar múltiples propósitos como anteriormente se mencionaba.

En Colombia, el mercado del acero se compone de productores, transformadores, distribuidores y comercializadores de acero. Los productores, que poseen siderúrgicas, abastecen el mercado nacional con productos intermedios y productos finales para atender principalmente la demanda del sector de la construcción, suministran acero para concreto que equivale al 52% de la producción total, alambrón equivalente al 8%, perfiles al 8%, barras al 2% y el resto de la producción (30%) está destinada para el consumo industrial (principalmente productos planos).

La estructura de la cadena siderúrgica está conformada por las empresas siderúrgicas integradas y semi-integradas, empresas transformadoras y comercializadoras. Las empresas siderúrgicas obtienen el mineral de hierro y la chatarra, fabrican productos básicos e intermedios largos y planos. El mercado del acero, es un mercado en constante crecimiento, el consumo aparente de acero a lo largo de los años, ha presentado en promedio crecimientos alrededor del 10,1% desde el 2005. Además este sector es uno de los sectores más importantes en la economía del país al aportar aproximadamente un 11,5% al PIB industrial y un 13% al empleo industrial. En la industria nacional los aceros de bajo carbono como los son el 1020 y 8620, son utilizados frecuentemente, para la fabricación de

herramientas, partes y piezas para maquinaria, al ser de bajo costo y fácil consecución.

A pesar de que el panorama de la producción y comercialización del acero en el medio local es bastante alentador, el desempeño de los distintos elementos elaborados en esta aleación sigue siendo afectado por varios problemas mecánicos de fractura, fluencia, fractura, cambio de propiedades físicas y químicas con la temperatura etc., todas estas causados por imperfecciones cristalinas en su estructura interna, el porcentaje de carbón en determinado acero o por defectos de fabricación derivados de la falta de control en los factores tan importantes como las temperaturas de enfriamiento entre otros. Todo esto al final se traduce en fallas de las herramientas, fallas en sí del material y posteriormente en costos de mantenimiento para el cliente, costos que al final terminan afectando el mercado del acero.

Es muy importante entender entonces que el acero, está expuesto a varios factores que reducen su vida útil, el acero puede deteriorarse muy fácilmente debido a que luego de su fabricación generalmente los tratamientos térmicos que se le aplican dejan muchas tensiones internas, al igual que deformidades en sus estructuras cristalinas que pueden ser variadas si manejamos tanto el porcentaje de carbono del acero como las temperaturas de dichos tratamientos y sobre todo la velocidad y forma de enfriamiento de la pieza de Acero, que al final resultan siendo determinantes a la hora de que cualquier tipo de falla se dé en el material. Esta circunstancia nos permite abordar la posibilidad de mejorar el acero, en muchos aspectos, tanto químicos como físicos en este caso en particular, sin duda uno de los más importantes en la industria.

¿Pero se podrían mejorar las propiedades de este material, en busca de mejor desempeño en las aplicaciones y de paso obtener un mejor margen de rentabilidad para las empresas del país?

Una de las formas para responder esta pregunta es realizar tratamientos térmicos al acero, modificando la estructura básica del material buscando la que nos dé la mejor eficiencia.

## 1.1. ESTADO DEL ARTE

La revolución Industrial del siglo XIX trajo consigo un incremento en la demanda de metales, particularmente del hierro y el acero, para ser usados en ingeniería y la construcción a grandes escalas. Esta grande y feroz expansión del mundo de la ingeniería fue acompañada por una frecuencia mayor de fallas en estructuras de ingeniería.

Lo cual ha llevado a los investigadores a buscar formas de mejorar considerablemente todos los factores que intervienen en el buen y correcto funcionamiento de los materiales usados, para incrementar la confiabilidad y manejar mejores factores de seguridad en los momentos de diseño y fabricación, en los que se tiene como factor primario el acero.<sup>[1]</sup>

Los dos componentes principales del acero se encuentran en abundancia en la naturaleza, lo que favorece su producción a gran escala hasta el día de hoy. Esta variedad y disponibilidad lo hace apto para numerosos usos como la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas; contribuyendo al desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas. A pesar de ello, existen sectores que no utilizan acero (como la construcción aeronáutica), debido a su densidad, la del acero generalmente es casi tres veces mayor a la del aluminio, por ejemplo.

En todo proceso de calentamiento y enfriamiento controlado al que podemos someter un metal con el propósito de variar alguna o algunas de sus propiedades lo distinguimos como un tratamiento térmico. Un tratamiento térmico permite alterar notablemente las propiedades físicas. Sin embargo un tratamiento térmico incorrectamente ejecutado supondrá siempre un perjuicio en mayor o menor grado.

Por todo ello, deben conocerse perfectamente los tratamientos térmicos, así como su correlación con las demás operaciones de fabricación, con el objeto que los resultados obtenidos sean aprovechables.

---

A modo de ejemplo: la placa de acero empleada hoy en día en la industria del automóvil pertenece a calidades que hace un lustro no existían. La chapa actual tiene una mayor resistencia mecánica, es más fina, presenta un mayor grado de confortabilidad y una mayor resistencia a la corrosión, lo que permite fabricar vehículos mejores y productos de mayor duración.

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste, a la tensión y muchos otros factores que ponen a prueba las características del acero como las bondades del tratamiento al que fue sometido.

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste, a la tensión y muchos otros factores que ponen a prueba las características del acero como las bondades del tratamiento al que fue sometido.

En particular, el aprendizaje del uso de los metales viene impulsando fuertemente el avance tecnológico de muchas civilizaciones. Hasta hace aproximadamente cien años, este aprendizaje fue el resultado de una innumerable combinación de hechos fortuitos y pruebas de ensayo y error. Durante los últimos cien años se ha intentado sistematizar este conocimiento aprovechando el desarrollo de diversas disciplinas científicas. En particular, se ha dedicado un considerable esfuerzo a construir y desarrollar bases de datos con información sobre los materiales puros, aleaciones y de su comportamiento al ser sometido a diferentes factores.

Esta actividad se ha visto fuertemente estimulada al comprobarse que la los ensayos en materiales ofrecen la posibilidad de comprender el comportamiento macroscópico de sistemas reales y provee una base adicional para el diseño de nuevas aleaciones.

El establecer la actividad en un material metálico es una tarea que requiere una cantidad relativamente grande de información experimental. En muchos casos, esta información puede no estar disponible, sean escasos, poco confiables o directamente no existan.

Se ha encaminado el estado de arte para nuestro proyecto de investigación al desarrollo de diferentes investigaciones relacionadas de forma directa e indirecta con las temáticas de tratamientos térmicos en aceros de bajo y medio carbono. Por otra parte también trabajos sobre análisis de las microestructuras generalmente presentadas en la metalografía de los aceros antes y después de los tratamientos térmicos; esto con el fin de desglosar los temas principales que se denotaran en el proyecto a desarrollar.



Durante el período de investigación para este trabajo se han encontrado varias contribuciones en revistas y escritos internacionales que tienen relación y se enfocan en el tema del tratamiento térmico en materiales metálicos y la forma en que se modifica su estructura.

El conocimiento del acero como material estructural no es reciente, pero si se ha incrementado en base a mejoras que se necesitan en su funcionamiento. Actualmente varios son los grupos de investigación a nivel internacional que están estudiando el comportamiento de las estructuras de acero en lo relativo a su dimensionamiento y verificación.

La sostenibilidad y la eficiencia energética constituyen importantes desafíos, no sólo en términos de producto, sino también en términos de procesos y actividad siderúrgica en general. Las cuestiones medioambientales suponen en la actualidad elementos dinamizadores de la actividad pero, en un futuro, están llamados a convertirse en factores de diferenciación entre diferentes materiales y, por tanto, entre las empresas. <sup>[2]</sup>

En la actualidad, tanto a nivel europeo como mundial, se están llevando a cabo grandes esfuerzos para desarrollar nuevos procesos en el área de colada (colada de desbastes finos y de chapa fina) reduciéndose de este modo las dimensiones de las instalaciones y las fases del proceso.

Las primeras investigaciones se han centrado, en su mayoría, en el análisis de las características mecánicas, la evolución de los diagramas tensión-deformación y en el cálculo de flechas. En este momento, las principales líneas de investigación centran sus estudios en la inestabilidad de piezas comprimidas y flectadas: pandeo de soportes, abolladura de chapa y efectos locales.

Una revisión de la documentación especializada ha mostrado que, en el ámbito industrial y/o académico nacional, no se han realizado estudios para determinar la relación que hay con la cantidad de martensita que contienen los aceros de herramienta para “trabajo en frío” después de realizado un tratamiento térmico estándar. Es sabido que para aplicaciones de aceros para trabajo en frío, la presencia de austenita retenida va en perjuicio de la vida útil de la herramienta, a pesar de la alta dureza y relativa buena tenacidad conseguidas en dichos tratamientos.

---

<sup>[2]</sup>PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL ACERO

Existen referencias internacionales publicadas como las citadas a continuación de las que tomamos las correspondientes referencias.

Aplicación del Tratamiento Criogénico de la Revista Oficial de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero de México: ACERO STEEL North American Journal de Enero – Febrero 2001.

Donde la aplicación de tratamientos térmicos con enfriamientos a muy bajas temperaturas sirve para aumentar el rendimiento de las herramientas.

En el artículo de investigación ***Marforming and martempering of a Cu-Zn-Al shape memory alloy*** J. Spielfeld \* *Institut für Werkstoffe, Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum, Germany-1999.*

Muestran como una aleación de Cu-Zn-Al a 25 ° C ha sido enfriada en nitrógeno líquido. Un laminado posterior de la martensita inducida térmicamente (marforming (MF) a 196°C en una cantidad de hierro gama 20%, proporciona altos dominios de defectos orientados. Esto da como resultado un defecto estabilizado en la estructura que no puede re-transformarse en las difusiones de austenita.

El templado (martemple (MT)) de esta martensita se lleva a cabo de dos maneras: primero isócronos durante una hora a diferentes temperaturas  $150^{\circ}\text{C} < T_{\text{mt}} < 800^{\circ}\text{C}$ .

El material es posteriormente enfriado en agua. Seguido de un tratamiento de recalentamiento en un calorímetro diferencial de barrido (DSC) con dispositivo de calefacción a diferentes tasas ( $5\text{-}50^{\circ}\text{K}$  por minuto<sup>-1</sup>). Los cambios microestructurales causados por estos tratamientos MT son investigados por microscopio óptico de transmisión electrónica. El curso de los procesos de precipitación diferentes (g-, b-y un latón-) se confirmó por el DSC de calentamiento. Esto resulta en un diagrama de tiempo temperatura de reacción. La Recuperación de la transformabilidad de las difusiones del defecto en la martensita causada por MT isócrono y su efecto sobre la no convencional fluencia del material se investigó por análisis de tensión-deformación.

Un requisito previo para el efecto de *memoria de forma* es la transformación y difusión reversible cristalográficamente de la fase de baja temperatura (martensita) en austenita. Para aplicaciones de ingeniería de alta fuerza y resistencia se requiere una buena transformabilidad. La aleación de latón tipo (Cu-26.3% Zn-3.9% de Al) transforma debajo de la temperatura ambiente en martensita.

Por encima de 3°C está en el estado austenítico. Sin embargo, la baja resistencia de las aleaciones basadas en Cu con *memoria de forma* (SMA) en comparación con las aleaciones de Ni-Ti es la razón para el uso de este último en la mayoría de las aplicaciones de *memoria de forma*.

El fortalecimiento del material por tratamientos termomecánicos han demostrado ser exitosos en la tecnología del acero.

El propósito de el trabajo ya presentado fue investigar el fortalecimiento de efectos que son proporcionados por marforming (MF) y martemple posterior (MT). La secuencia de ambos tratamientos se espera que mejore tanto la fuerza como la resistencia por una combinación de endurecimiento por trabajo (MF) y posterior endurecimiento por precipitación por MT. El efecto en la transformabilidad (pseudo-tensión de fluencia, la transformación temperaturas) se describe además como efecto del fortalecimiento (convencional rendimiento de resistencia, la tensión en fractura).”

En el documento de investigación presentado anteriormente hablan de que con el fin de evitar que la martensita de difusión pueda llegar a revertir la transformación en austenita, incluso en el templado temperatura a 150 °C se requiere un tratamiento previo especial.

Se requiere un marforming. El procedimiento implica el enfriamiento en nitrógeno líquido (- 196 ° C) y laminado posterior de la transformada térmicamente material. En el estado no deformado, la estructura completamente se revierte en austenita antes de que alcance la temperatura ambiente. La temperatura de transformación es considerable, planteado ya después de una pequeña cantidad de deformación plástica.

Esto implica que un cambio completo ocurre en el mecanismo de transformación. Observamos como la martensita modificada tiene una influencia notable en la resistencia y comportamiento de la transformación de la aleación de Cu–Zn–Al investigada. De como la fuerza de resistencia (Estrés en el límite elástico fractura,) alcanza un máximo después de un martempering de 1 hora a 550°C.

Otro de los artículos encontrados, en el que se desarrollan tematicas relacionadas con la propuesta de proyecto es ***Effects of Austempering and Martempering Processes on Amount of Retained Austenite in Cr-Mo Steels (FMU-226)***. Used in Mill Liner M H Shaeri, H Saghafian , S G Shabestari (School of Metallurgy and Materials Engineering. Iran University of Science and Technology. Narmak 16844. Tehran. Iran) -JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH. INTERNATIONAL. 2010. <sup>[3]</sup>

En el que se expone como la presencia de austenita retenida da lugar a deterioro de la resistencia al desgaste y la fractura de la fuerza Aceros Cr-Mo en muchos casos. Por lo tanto los efectos de los tratamientos de calor que incluye enfriamiento directo marternpering, y austempering en la austenita retenida que existe en la microestructura de estos aceros fueron investigados. Muestras se austenisaron a 950 ° C seguido por enfriamiento directo usando aire comprimido. Las probetas fueron también isotérmicamente inactivadas en baño de sales a 200 y 300 °C durante 2. 8. 30. y 120 min. Las microestructuras de las muestras fueron estudiadas mediante microscopio óptico (grabado tradicional en blanco y negro, así como el grabado en color) microscopio electrónico de barrido (SEM), micro dureza en probador y difracción de rayos X (XRO). Los resultados mostraron que la menor cantidad de austenita retenida en la microestructura se obtuvo en las muestras enfriadas isotérmicamente a 300 °C durante 120 minutos.

Sobre la base de las funciones de los forros de molino. La aleación empleada debe presentar también una combinación adecuada de resistencia al desgaste y resistencia al impacto. La resistencia al desgaste es la principal prioridad de los revestimientos utilizados en las paredes de estos molinos, mientras que el impacto resistencia es de la mayor importancia en los revestimientos utilizado en la parte inferior.

Las diferentes aleaciones tales como aceros austeníticos al manganeso, aceros de alto cromo y altos de cromo hierro fundido. Ni-duros hierros fundidos y CrMo aceros se aplica con frecuencia para la fabricación de molinos. Debido a las propiedades de desgaste al impacto deseado, tenacidad, así como sus gastos de producción bajos. La aleación Cr-Mo de acero se encuentran entre los más utilizados en aleaciones de revestimientos de molino. El CrMo-ferrítico además perlítico son aceros que se utilizan en los revestimientos expuestos a grave impactos (liners en la parte inferior de las plantas). Mientras los aceros martensíticos-bainíticos son, por lo general, preferible para los revestimientos de trabajo en condiciones de uso severas (revestimientos de paredes de laminación).

La temperatura Mj de los aceros Cr-Mo es menor que la temperatura ambiente y por lo tanto su microestructura contiene considerable austenita retenida.

La presencia de la austenita retenida se puede atribuir a la presencia de alto contenido de carbono y los elementos de aleación tales como Mo. Cr, Ni, Mn y Si. Esto podría mejorarse aún más en las regiones cercanas a los límites de grano y de la zona intercrítica contiene más elementos de aleación causados por micro

segregación. La existencia de la austenita retenida en la microestructura de este acero puede conducir a la siguiente inconvenientes:

- 1) La resistencia al desgaste del material se reduce a medida un resultado de la presencia de una fase con baja dureza y la dureza.
  - 2) Desfavorables variaciones dimensionales aparecen en las muestras resultantes de la transformación de austenita en martensita durante el templado o impactos severos a los revestimientos durante proceso de fresado.
  - 3) La transformación de austenita a martensita durante el templado da lugar a un cambio de volumen en austenita como resultado la formación de una compresión severa de esfuerzos en el límite de austenita-martensita.
- Este defecto se forma un lugar adecuado para la nucleación de grietas y por lo tanto reduce la durabilidad de la muestra.”

En esta investigación <sup>[3]</sup>, se expone la idea que la presencia de austenita retenida da lugar a deterioro de la resistencia al desgaste y la fractura de la fuerza de aceros Cr-Mo en muchos casos.

Por lo tanto los efectos de los tratamientos de calor que incluye enfriamiento directo martempering y austempering en la austenita retenida que existe en la microestructura de estos aceros que fueron investigados.

Se logra la austenita a 950 ° C seguido por enfriamiento directo usando aire comprimido. Los especímenes fueron también sumergidos en baño de sales a 200 y 300 °C durante 2, 8, 30 y 120 min. Las microestructuras de las muestras fueron estudiada mediante microscopio óptico (grabado tradicional en blanco y negro, así como el grabado en color), microscopio electrónico de barrido (SEM), probador de micro dureza y difracción de rayos X (XRO). Los resultados mostraron que la menor cantidad de austenita retenida en la microestructura se obtuvo en las muestras enfriadas isotérmicamente a 300 °C durante 120 minutos.

Otro artículo encontrado, con relación a la presente investigación es la titulada ***Tempering of Martensite in Dual-Phase Steels and Its Effects on Softening Behavior***. V.H. BALTAZAR HERNANDEZ, S.S. NAYAK, and Y. ZHOU. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2011.

Es esta desarrollan la idea de cómo el temple isotérmico y no isotérmico de martensita en doble fase (DP) fue investigado principalmente por microscopía electrónica de transmisión analítica, y el efecto sobre el ablandamiento y su comportamiento fue estudiado. El temple isotérmico dado lugar a engrosamiento y

esferoidización de recuperación de cementita y completa de las chapas. Sin embargo, el temple no isoterma manifiesta multa cuasi-esférica intraface y cementita interface, la descomposición de austenita retenida, y la recuperación parcial de las chapas. La característica distintiva de temple isotérmico era principalmente atribuirse al efecto sinérgico de retraso en la precipitación de la cementita y el tiempo insuficiente para la difusión del carbono debido al calentamiento rápido que retarda la tercera etapa del revenido. Cuanto más fina la morfología y tamaño de la forma de placa de cementita acoplada con la recuperación parcial del listón daba un resultado de ablandamiento reducido en comparación con temple isotérmico de reblandecimiento grave de la isotérmica templada, debido al gran grano de cementita y la recuperación completa de la subestructura de listones. El contenido de sustitución de cementita precipitada en temple isotérmico se correlacionó con la riqueza de la química del acero en particular. Ablandamiento resistencia durante el templado no isotérmico esta relacionado con DP del acero, es decir, Cr y Mn. Cementita fina que se descompone en martensita rica, estas confieren una alta resistencia al ablandamiento en comparación con otros materiales, lo que indica descomposición severa de martensita con gruesa cementita.

DOBLE FASE (Dual Phase) de acero cuenta con una ligera ferrita ( $\alpha$ ) matriz dispersa con fase martensita dura ( $\alpha'$ ) ofrece combinaciones favorables de alta resistencia y buena deformabilidad, que recientemente ha atraído a un creciente aplicación en la industria del automóvil. Sin embargo, el ablandamiento, la reducción de la dureza con respecto a la metal de base, el acero DP que se produce en cierto número de procesos de fabricación, tales como la soldadura y unión y el tratamiento con láser de calor, se convierte en un importante problema que dificulta el desarrollo de la aplicación de DP en muchas aplicaciones prácticas. Por ejemplo, se informa de que el ablandamiento se produce en la zona (HAZ) causada por soldadura negativamente afecta a la capacidad de formación de adaptar los puntos soldados por espacios en blanco del acero DP debido a la concentración de tensión alta en la región ablandada, lo que conduce a un fallo prematuro de las piezas en bruto.

En teoría, el revenido de la martensita en acero DP se produce, así como de revenido de los aceros martensíticos completamente, cuando se calienta a temperaturas cercanas o por debajo de la crítica inferior de transformación (AC1 línea), independientemente de los procesos de fabricación. La extensión o grado de templado (ablandamiento) depende fundamentalmente la difusión de carbono y es controlada por dos parámetros, es decir, temperatura y el tiempo, en

consecuencia, el revenido (reblandecimiento) proceso se puede dividir en dos categorías: (1) temple isotérmico y (2) de templado no isotérmico.

Temple isotérmico incluye la calefacción convencional, un proceso o tratamiento (calentamiento lento, largo tiempo de retención en temperatura pico, y enfriamiento lento) implementado a fin de mejorar la ductilidad del acero (principalmente martensítica acero), mientras que ocurre generalmente templado isotérmico durante los procesos de fabricación tales como soldadura y uniéndose a la participación de calentamiento rápido, teniendo un tiempo insignificante a la temperatura de revenido, y el enfriamiento rápido.

En el Reino Unido, los trabajos de investigación están encaminados al desarrollo de las recomendaciones de diseño, su evolución y la aplicación (Burgan et al, 2000). En esta misma línea de trabajo debemos mencionar la investigación desarrollada en el VTT de Finlandia (Salmi y Talja, 1995).

En el Departament d'Enginyeria de la Construcció de la UPC se realizó el proyecto de investigación PB95-0604 subvencionado por la DGES bajo el título "Estudio teórico y experimental de inestabilidad de estructuras de acero inoxidable. Criterios de diseño y aplicaciones estructurales". Finalizado en marzo del 2000, este proyecto incluyó campañas experimentales para cuantificar la influencia de la no linealidad del material y de los efectos locales de la abolladura en el comportamiento en estados límite de servicio y estados límite últimos de vigas de acero inoxidable trabajando a flexión.

Posteriormente, se realizó el Proyecto Europeo "Valorisation Project. Development of the Use of Stainless Steel in Construction". Commission of the European Communities. Directorate General XII for Science, Research and Development. Unit C-2: Materials & Steel. MO75 1/21, financiado por la European Coal and Steel Community.

Los resultados han sido la publicación de un Manual de Diseño traducido a varios idiomas, la creación de una página Web en la que aparece el Manual y conexiones a las páginas más relevantes de acero inoxidable y la organización de "Workshops" nacionales para dar publicidad al Manual y a la página Web. En el proyecto han participado centros de investigación de varios países europeos.

Además de los anteriores documentos referenciados encontramos este, denominado "EFECTO DE LA MARTENSITA REVENIDA EN EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN ACERO MICROALEADO A – 572 Nb". MARCELO RODRIGUEZ VALDIVIA. Universidad Nacional De San Agustín, Escuela De Postgrado, Unidad De Postgrado De La Facultad De Ingeniería De Procesos.

En el que el autor partiendo del acero estructural A-572 Nb, realiza el estudio del efecto que tiene el revenido de la martensita (martensita revenida) sobre las propiedades mecánicas y sobre la microestructura de este acero micro-aleado.

La obtención de martensita revenida hace posible conseguir fuertes incrementos de Resistencia a la Tracción y Fluencia a temperaturas bajas de revenido (100 a 300°C), a costa de la disminución de la ductilidad. En el rango de temperaturas elevadas de revenido (400 a 700°C) mejora notablemente la ductilidad lo que hace posible conseguir una estructura resistente y a la vez tenaz.

Las observaciones de las estructuras al estado natural y aquellas formadas a diferentes temperaturas de revenido fueron observadas al Microscopio Electrónico de Barrido SEM.

Estas permitieron hacer un seguimiento de la transformación de la martensita en el proceso de revenido. Además, el análisis fractográfico hizo posible la identificación de la fase de martensita revenida (dura) formada en la zona externa de las probetas cilíndricas, y la fase de ferrita-perlita (blanda) en el centro.

El mejoramiento de las propiedades mecánicas de los aceros de bajo contenido de carbono, hace posible ampliar la variedad de usos en la industria automotriz y la construcción. Una de las formas de conseguir endurecer al acero, es mediante la formación de micro estructuras duras (martensita); lo cual se consigue sometiendo al mismo a un tratamiento térmico (temple). Debido a que la martensita es una estructura extremadamente dura y tensionada, hace imposible usar piezas o productos conteniendo esta microestructura; es por esto, que se hace necesario buscar su transformación térmica.

Mediante el revenido de la martensita, se logra obtener micro estructuras de martensita revenida, que; en cantidades diferentes de sus constituyentes, ofrecen una gama de propiedades ante solicitudes mecánicas.

En la actualidad, la producción y el uso de productos a partir de aceros alta resistencia y baja aleación (HSLA) con tratamiento térmico de temple y revenido, (ASTM A 678/A678M – 92 “QUENCHED AND TEMPERED CARBON STEEL AND HIGH STRENGTH LOW ALLOY STEEL PLATES FOR STRUCTURAL APPLICATIONS”) en los que por su bajo contenido de carbono aseguran una buena soldabilidad, no es muy difundida en nuestro medio. El hecho de realizar investigaciones científicas en esta especialidad es buscar su aplicación industrial, de manera que se reduzcan costos, aumente la productividad y mejore la calidad de los productos fabricados.



## 1.2. JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial se han incrementado la provisión de factores de seguridad adecuados y la necesidad de entender de manera más clara distintos fenómenos de falla en los distintos campos de aplicación, de los diferentes materiales de ingeniería. Efectivamente, la respuesta ha sido dirigida principalmente a la mejora de materiales, perfeccionando los procesos tanto de fabricación como inspección. Con estas herramientas, la práctica del control de fallas se basa principalmente en la experiencia de estas mismas, factores de seguridad y de ensayos.

A nivel nacional la actual demanda de herramientas y accesorios para maquinarias a bajos costos se presenta como una fuente creciente de nuevas aplicaciones de aceros de bajo contenido de carbono. Esta situación justifica buscar medios y procedimientos que permitan a la industria encontrar formas de minimizar sus costos y maximizar sus beneficios a la hora de cumplir con los requerimientos de calidad en los materiales, esto entonces para este proyecto lo traducimos como aplicar tratamientos térmicos que mejoren las propiedades de un acero en particular o que nos conduzca a la selección de un material para suplir las exigencia en una aplicación concreta. Al ser el acero uno de los materiales más comúnmente usados en la ingeniería, al cual, aplicándole un doble tratamiento térmico podrá obtener propiedades mecánicas más favorables para ciertas aplicaciones en las que se necesiten aumentos de dureza o de resistencia a la tracción por ejemplo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL.**

Analizar las variaciones en las propiedades mecánicas de dos aceros (1020, 8620), antes y después de realizárseles un doble tratamiento de revenido (Martempering), teniendo en cuenta las temperaturas del tratamiento y los medios físicos del enfriamiento.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Efectuar análisis metalográfico para identificar las microestructuras antes y después del tratamiento térmico.
- Determinar y controlar los factores y medios determinantes para la óptima realización del tratamiento térmico de revenido desde temperaturas intercríticas, seguido de un segundo revenido en los aceros al carbono, con el enfriamiento en dos medios diferentes, como agua a temperatura ambiente y aceite refrigerante.
- Comprobar mediante ensayo metalográfico y de microestructura la hipótesis que fundamenta la investigación, la aparición de la martensita revenida en uno o ambos aceros, además de determinar la posible aparición de distintas estructuras que presenta el acero.
- Comparar las variaciones entre los datos obtenidos en los ensayos mecánicos realizadas a los dos aceros en los que se comprenden ensayo de dureza, ensayo de tracción, ensayo de compresión, ensayo de flexión y ensayo de impacto Charpy, para encontrar la afectación de la martensita doblemente revenida en caso de su formación y edificar las conclusiones.

### **3. MARCO TEÓRICO**

Los metales y las aleaciones empleados en la industria y en la construcción pueden dividirse en dos grupos principales: Materiales FERROSOS y NO FERROSOS. Ferroso viene de la palabra Ferrum que los romanos empleaban para el fierro o hierro. Por lo tanto, los materiales ferrosos son aquellos que contienen hierro como su ingrediente principal; es decir, las numerosas calidades del hierro y el acero.

Uno de los materiales de fabricación y construcción más versátil, más adaptable y más ampliamente usado es el ACERO. A un precio relativamente bajo, el acero combina la resistencia y la posibilidad de ser trabajado, lo que se presta para fabricaciones mediante muchos métodos. Además, sus propiedades pueden ser manejadas de acuerdo a las necesidades específicas mediante tratamientos con calor, trabajo mecánico, o mediante aleaciones.

#### **3.1. Acero.**

El Acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%). Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cr (Cromo) o Ni (Níquel) se agregan con propósitos determinados.

Ya que el acero es básicamente hierro altamente refinado (más de un 98%), su fabricación comienza con la reducción de hierro (producción de arrabio) el cual se convierte más tarde en acero.

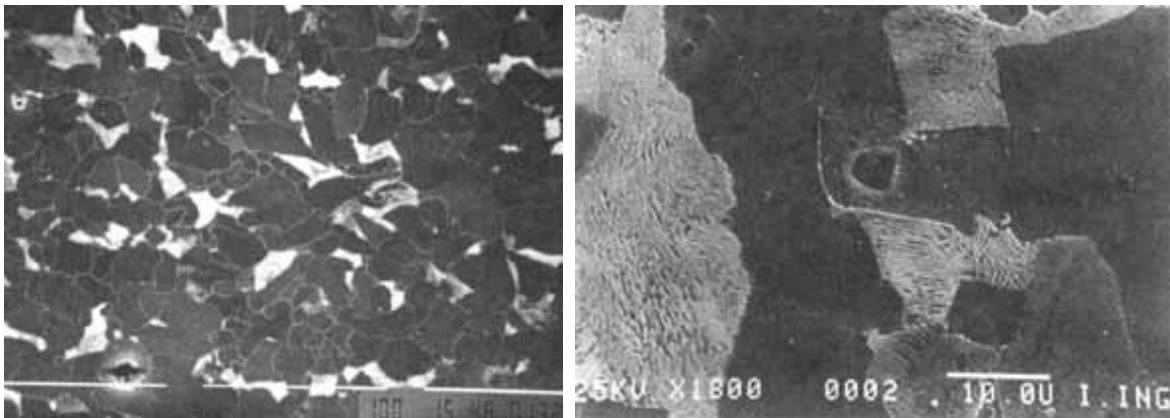
El hierro puro es uno de los elementos del acero, por lo tanto consiste solamente de un tipo de átomos. No se encuentra libre en la naturaleza ya que químicamente reacciona con facilidad con el oxígeno del aire para formar óxido de hierro - herrumbre. El óxido se encuentra en cantidades significativas en el mineral de hierro, el cual es una concentración de óxido de hierro con impurezas y materiales térreos.

#### **3.2. Clasificación de los Aceros:**

Los diferentes tipos de acero se clasifican de acuerdo a los elementos de aleación que producen distintos efectos en el Acero:

### **3.2.1. Aceros al Carbono:**

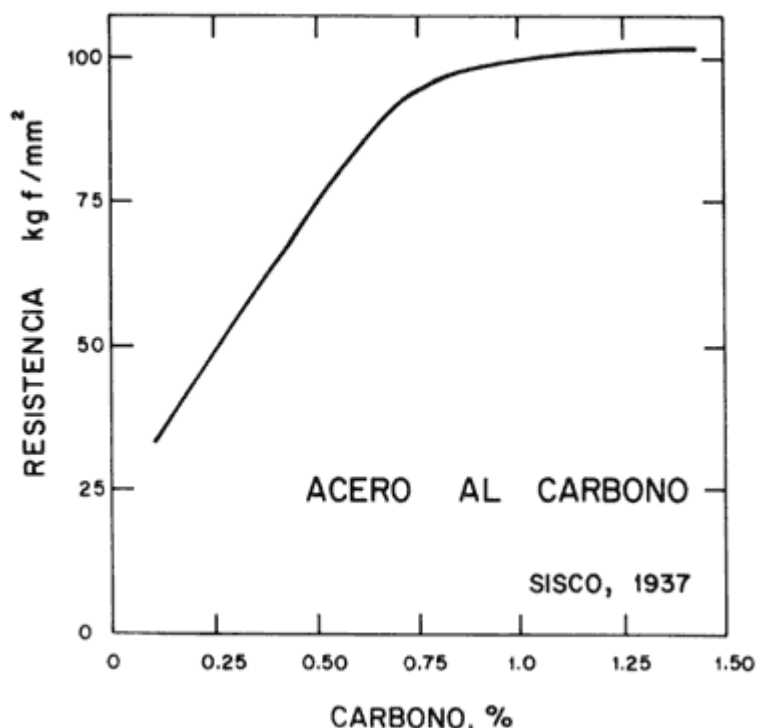
Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas.



Metalografía de un acero de bajo carbono (0.18%). Los granos oscuros son de ferrita (a) y los granos claros son de perlita. (b) Detalle de los granos de perlita formados por laminillas blancas (cementita) y oscuras (ferrita).

El acero es, básicamente, una aleación de hierro y de carbono. El contenido del Carbono en el acero es relativamente bajo. La mayoría de los aceros tienen menos de 9 átomos de carbono por cada 100 de hierro en el acero. Como el carbono es más ligero que el hierro, el porcentaje de masa de carbono en el acero es casi siempre menos del 2%. La forma convencional de expresar el contenido de los elementos en las aleaciones es por el porcentaje de la masa total con que cada uno contribuye.

El carbono tiene una gran influencia en el comportamiento mecánico de los aceros. La resistencia de un acero simple con 0.5% de carbono es más de dos veces superior a la de otro con 0.1%. Además, si el contenido de carbono llega al 1%, la resistencia casi se triplica con respecto al nivel de referencia del 0.1%.



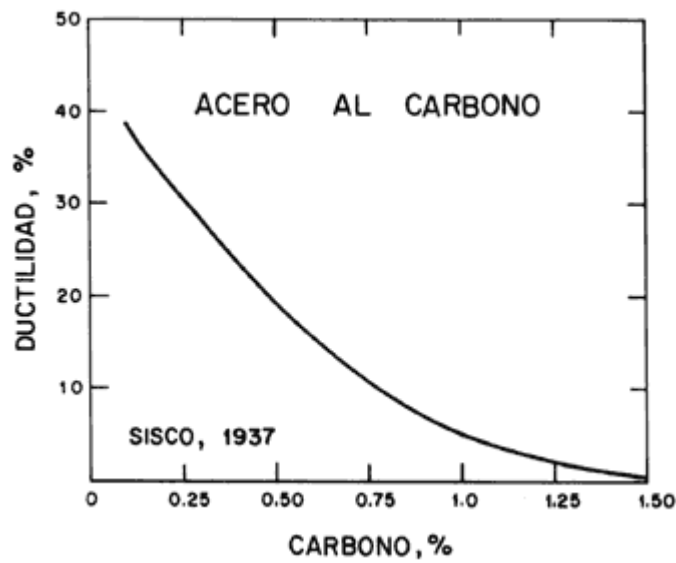
Efecto del contenido del carbono en la resistencia de los aceros.

El carbono, sin embargo, generalmente reduce la ductilidad del acero.

La ductilidad es una medida de la capacidad de un material para deformarse, en forma permanente, sin llegar a la ruptura. Por ejemplo, el vidrio de las ventanas no es nada dúctil.

Cualquier intento por deformarlo, estirándolo o doblándolo, conduce inmediatamente a la fractura. El aluminio, por el contrario, es sumamente dúctil. Por ejemplo, de un solo golpe una rondana de aluminio se convierte en el tubo donde se guarda la pasta de dientes. El aluminio es muy dúctil porque es capaz de soportar grandes deformaciones sin fracturarse.

Un acero de 0.1% de carbono es más de cuatro veces más dúctil que otro con 1% de carbono y dos veces más que un tercero con 0.5% de carbono, como se indica en siguiente figura. En esta gráfica, a la ductilidad se le expresa como un porcentaje. Éste se determina estirando una barra de acero hasta llevarla a la fractura para después calcular el incremento porcentual de su longitud.



Efecto del contenido del carbono en la ductilidad de los aceros comunes. En 1938

Sisco publicó esta gráfica y se ha reproducido en muchos libros de texto todavía vigentes.

### **3.2.2. Aceros Aleados:**

Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros de aleación se pueden sub clasificar en:

Estructurales.

Para Herramientas.

Especiales.

### **3.2.3. Aceros de Baja Aleación Ultrarresistentes:**

Esta familia es la más reciente de las cuatro grandes clases de acero y en donde encaja el material a utilizar es este proyecto. Los aceros de baja aleación son más baratos que los aceros aleados convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del acero al carbono. Por ejemplo, los vagones de mercancías fabricados con aceros de baja aleación pueden transportar cargas más grandes porque sus paredes son más delgadas que lo que sería necesario en caso de emplear acero al carbono.

Además, como los vagones de acero de baja aleación pesan menos, las cargas pueden ser más pesadas. En la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de aceros de baja aleación. Las vigas pueden ser más delgadas sin disminuir su resistencia, logrando un mayor espacio interior en los edificios.

#### **3.2.4. Acero AISI 1020:**

**Descripción:** acero de mayor fortaleza que el 1018 y menos fácil de conformar. Responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. La soldabilidad es adecuada. Por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria.

**Normas involucradas:** ASTM A108.

**Propiedades mecánicas:** Dureza 111 HB.

Esfuerzo de fluencia 205 MPa (29700 PSI).

Esfuerzo máximo 380 MPa (55100 PSI).

Elongación 25%.

Reducción de área 50%.

Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI).

Maquinabilidad 72% (AISI 1212 = 100%).

**Propiedades físicas:** Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>).

**Propiedades químicas:** 0.18 – 0.23 % C..

0.30 – 0.60 % Mn.

0.04 % P máx.

0.05 % S máx.

**Usos y Aplicaciones:** Se utiliza mucho en la condición de cementado donde la resistencia al desgaste y el tener un núcleo tenaz es importante. Se puede utilizar completamente endurecido mientras se trate de secciones muy delgadas. Se puede utilizar para ejes de secciones grandes y que no estén muy esforzados. Otros usos incluyen engranes ligeramente esforzados con endurecimiento superficial, pines endurecidos superficialmente, piñones, cadenas, tornillos, componentes de maquinaria, prensas y levas.

Esta clase de acero puede ser empleado en piezas que no estén sometidas a fuertes esfuerzos mecánicos. Considerando la escasa penetración de temple que

tiene, generalmente se usa en estado normalizado. Puede emplearse en estado templado y revenido para piezas de pequeño espesor. Puede ser cementado cuando se requieren propiedades mecánicas más altas de las que pueden obtenerse con el tipo 1015 en cuyo caso se aplican las mismas normas de cementación que las especificadas para este acero.

### **3.2.5. Acero 8620:**

**Descripción:** Acero grado maquinaria al Níquel-Cromo-Molibdeno para cementado. Ofrece muy buena dureza superficial y gran tenacidad al núcleo. El proceso de cementado se aplica para incrementar el contenido de carbón en la superficie para que con un tratamiento térmico adecuado, la superficie sea substancialmente más dura que el núcleo.

#### **Composición Química:**

#### **COMPOSICIÓN QUÍMICA - % PROMEDIO**

| <b>C</b> | <b>Mn</b> | <b>Si</b> | <b>Ni</b> | <b>Cr</b> | <b>Mo</b> |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.20     | 0.80      | 0.25      | 0.60      | 0.50      | 0.20      |

#### **NORMAS:**

#### **SAE / AISI DIN**

8620 1.6523 - 21NiCrMo2Carbono 0.22-0.28%.

#### **Aplicaciones típicas:**

Partes de máquinas.

|            |                          |
|------------|--------------------------|
| Cigüeñales | Tornillos Sin Fin        |
| Pernos     | Pistones                 |
| Flechas    | Piñones                  |
| Engranés   | Engranés para Reductores |

*Nota: Estas son algunas de las aplicaciones típicas. No debe intentar su aplicación específica sin un estudio independiente y una evaluación de Funcionabilidad.*

### **3.3. Tratamiento Térmico.**

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido a temperaturas y condiciones determinadas para cambiar sus propiedades mecánicas. Nunca alteran las propiedades químicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba



un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el de hierro - carbono. En este tipo de diagrama se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos. Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión. El tiempo y la temperatura son los factores principales y hay que fijarlos de antemano de acuerdo con la composición del acero, la forma y el tamaño de las piezas y las características que se desean obtener.

### **3.3.1. Tipos de tratamientos térmicos:**

- Tratamientos en la masa: recocidos y normalizados, temple y revenidos.
- Tratamientos superficiales: temple superficial y tratamientos termoquímicos (cementación, carbonitruración, boruración y nitruración).
- Tratamientos de superficie (depósitos).

### **3.3.2. Desarrollo de los Tratamientos Térmicos:**

Constan generalmente de tres fases:

A. Calentamiento hasta la temperatura fijada (temperatura de consigna): La elevación de temperatura debe ser uniforme, por lo que cuando se calienta una pieza o se hace aumentando la temperatura muy lentamente o se va manteniendo un tiempo a temperaturas intermedias, antes del paso por los puntos críticos, este último es el calentamiento escalonado.

B. Permanencia a la temperatura fijada: Su fin es la completa transformación del constituyente estructural de partida. Puede considerarse como suficiente una permanencia de unos dos minutos por milímetro de espesor en el caso de querer obtener una austenización completa en el centro y superficie. Largos mantenimientos y sobre todo a altas temperaturas son "muy peligrosos" ya que el grano austenítico crece rápidamente dejando el acero con estructuras finales groseras y frágiles.

C. Enfriamiento desde la temperatura fijada hasta la temperatura ambiente: Este tiene que ser rigurosamente controlado en función del tipo de tratamiento que se realice.

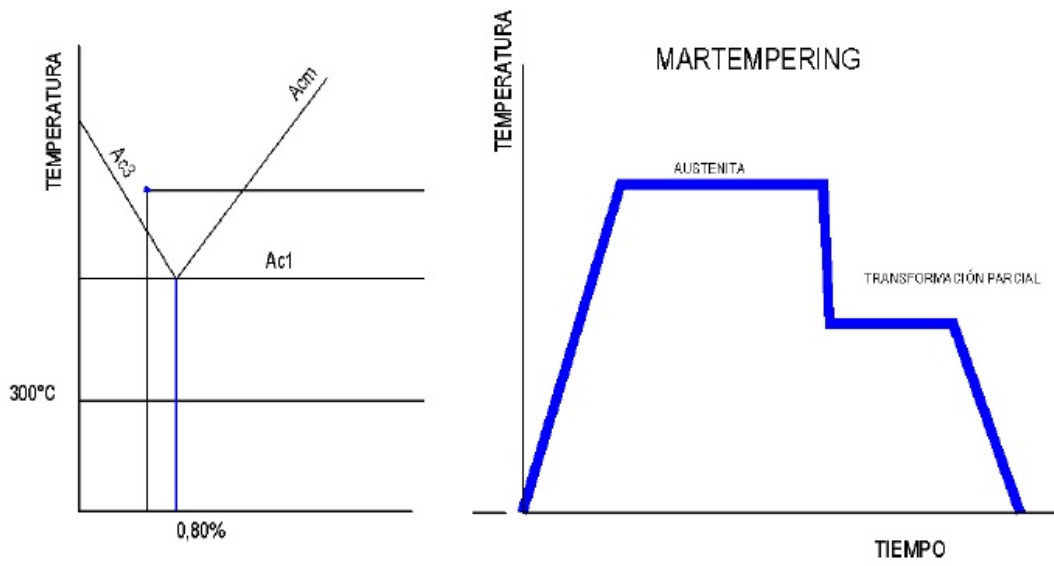
### **3.3.3. Martempering.**

El temple martensítico o diferido consiste en llevar al acero a una austenización completa, calentándolo a una temperatura un poco mayor al AC3 para aceros hipoeutectoides y un poco mayor al ACm para aceros híper-eutectoides o aleados.

A continuación se efectúa un enfriamiento rapidísimo en baño de sales y durante un cierto tiempo fijo, sin llegar al enfriamiento total siendo luego extraídas del baño, finalizando el enfriamiento en un medio menos drástico que puede ser aceite o aire. El primer enfriamiento suministra estructura martensítica superficial. Graduando el tiempo del mismo, graduaremos el espesor de la estructura martensítica. El enfriamiento menos violento y el consiguiente calor reinante en el núcleo, origina un revenido del mismo, consiguiéndose una estructura perlítica en el centro y martensítica en la superficie. Al eliminar la posibilidad de martensización del núcleo se evita el peligro de grandes cambios de volumen en el interior de la pieza con posibilidad de fisuras o roturas en la misma. Las ventajas que presenta este sistema son las siguientes:

1. Pueden utilizarse medios que provoquen enfriamientos muy severos. sin peligro de fisuras.
2. El calor reinante reviene la superficie con lo que se evita el revenido posterior.
3. Al permitir enfriamientos muy violentos, permite la utilización de aceros de baja susceptibilidad de temple, comunes y de bajo tenor de C, que son mucho más baratos.

Su mayor aplicación se halla en piezas sometidas a torsión o flexión, pues en ellas, los mayores esfuerzos se encuentran en la zona superficial, donde aparecen las mejores propiedades mecánicas y tecnológicas. No son aconsejables para los aceros sometidos a tracción o compresión pues el trabajo de toda la sección, incluido el núcleo, necesita la formación de una estructura sorbítica o troostítica.



Grafica de martempering primero porcentaje de carbono en funcion de La temperatura, en segundo lugar tiempo en funcion de la temperatura.

#### 4. DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR

Para realizar este proyecto se designaron varias etapas, las cuales están estipuladas en el cronograma de actividades: De acuerdo a lo anterior las estrategias metodológicas para cumplir cada una de las etapas y a su vez el desarrollo del proyecto, son:

***Etapa 1. Recopilación de la información:*** En esta etapa se buscará, organizará y categorizará toda la información disponible acerca de los temas relacionados con cada una de las partes que involucra el proyecto.

***Etapa 2. Selección y búsqueda del material:*** Se selecciona el material teniendo en cuenta factores como características de fabricación, composición química entre otras, que los distintos proveedores a nivel local deben ofrecer en busca de que las características originales correspondan fielmente a los aceros 1020 y 8620 como se espera.

***Etapa 3. Estudio de normas técnicas para ensayos requeridos:*** En esta etapa se busca documentación técnica para determinar los pormenores de la preparación de las probetas y así procurar en mínimo margen de error.

***Etapa 4. Mecanizado de probetas:*** Se hacen probetas que serán objeto de estudio según normas técnicas NTC y ASTM previamente estudiadas.

***Etapa 5. Análisis metalográfico Inicial del material:*** En esta se hará el análisis Metalográfico del material seleccionado tal y como lo obtuvimos del fabricante, en el cual nos aseguraremos de identificar sus propiedades químicas y físicas necesarias para la experimentación.

***Etapa 6. Aplicación del tratamiento de térmico:*** Se calienta en el horno de tratamientos térmicos las probetas de ambos materiales hasta llevarlos a temperaturas intercríticas y posteriormente se realiza un revenido en dos medios diferentes.

***Etapa 7. Realización de ensayos mecánicos, segundo análisis metalográfico y toma de datos:*** Se realizan los distintos ensayos para determinar las

propiedades físicas de las probetas después de los tratamientos al igual que determinamos los cambios en las microestructuras en los mismos. Se toman y tabulan los datos obtenidos para el posterior estudio del comportamiento del material.

***Etapa 8. Análisis de datos e información:*** Se realiza el respectivo análisis y estudio de los datos obtenidos con el fin de determinar los fenómenos ocurridos a lo largo del desarrollo del método experimental para la elaboración de conclusiones y corroborar las hipótesis iniciales.

***Etapa 9. Presentación del Documento Final:*** Se recopila toda la información, normas, fotografías, textos, análisis de ensayos y demás material que sirva de sustento para la elaboración del cuerpo del documento final y posterior sustentación del proyecto de grado.

## 5. CRONOGRAMA

A continuación presentamos el cronograma a trabajar para la realización del proyecto de investigación.

| CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES   |        |   |   |   |        |   |   |   |        |   |   |   |
|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|--------|---|---|---|
| DESCRIPCION ACTIVIDAD   | MES 1  |   |   |   | MES 2  |   |   |   | MES 3  |   |   |   |
|   | SEMANA |   |   |   | SEMANA |   |   |   | SEMANA |   |   |   |
|   | 1      | 2 | 3 | 4 | 1      | 2 | 3 | 4 | 1      | 2 | 3 |   |
| RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN  | ■      |   |   |   |        |   |   |   |        |   |   |   |
| SELECCIÓN Y BÚSQUEDA DEL MATERIAL   |        | ■ |   |   |        |   |   |   |        |   |   |   |
| ESTUDIO DE NORMAS TÉCNICAS PARA ENSAYOS REQUERIDOS                                |        |   | ■ |   |        |   |   |   |        |   |   |   |
| MECANIZADO DE PROBETAS  |        |   |   | ■ |        |   |   |   |        |   |   |   |
| ANÁLISIS METALOGRÁFICO INICIAL DEL MATERIAL                                       |        |   |   |   | ■      |   |   |   |        |   |   |   |
| APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO  |        |   |   |   |        | ■ |   |   |        |   |   |   |
| REALIZACIÓN DE ENSAYOS MECÁNICOS , SEGUNDO ANÁLISIS METALOGRÁFICO Y TOMA DE DATOS |        |   |   |   |        |   | ■ |   |        |   |   |   |
| ANÁLISIS DE DATOS E INFORMACIÓN   |        |   |   |   |        |   |   |   | ■      |   |   |   |
| PRESENTACIÓN DEL DOCUMENTO FINAL  |        |   |   |   |        |   |   |   | ■      | ■ | ■ | ■ |

Tabla 1. Diagrama de Gantt para la realización del proyecto.

## 6. RECURSOS DISPONIBLES

### 6.1. RECURSOS MATERIALES

- Internet.
- Folletos, fotocopias, libros en los cuales esta información relacionada con el proyecto.
- Maquinas ensayos.
- Taller de mecanizado
- Horno para Tratamiento Térmico.

### 6.2. RECURSOS INSTITUCIONALES

-Bibliografía disponible en las bibliotecas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, biblored, bibliotecas de otras instituciones tales como las bibliotecas públicas de Bogotá etc.

### 6.3. RECURSOS ECONÓMICOS

El proyecto será costado por los ejecutores del proyecto.

|                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| Tratamiento térmico            | \$ 130.000        |
| Material Bibliográfico Técnico | \$ 40.000         |
| Transporte                     | \$ 40.000         |
| Fotocopias                     | \$ 20.000         |
| Materiales                     | \$ 95.000         |
| Documento Final                | \$ 25.000         |
| Talento Humano                 | \$ 80.000         |
| Ensayos mecánicos              | \$ 255.000        |
| Análisis metalográficos        | \$ 130.000        |
| <b>Total</b>                   | <b>\$ 815.000</b> |

#### **6.4. PERSONAS QUE PARTICIPAN EN EL PROYECTO**

En la realización de este proyecto participan las siguientes personas:

Estudiantes: Edison Andrés Arévalo Ávila.

Jonh Edinson Bustos Iguá.

Profesor y tutor propuesto: Ing. Luis Correa



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- \* LUCCHESI, Domenico. Ensayos Mecánicos de los Materiales Metálicos. Barcelona. Editorial Labor S.A. 1973.
- \* BEER & JOHNSTON. Mecánica de Materiales, 3ª Edición. México. Editorial McGraw-Hill. 2004.
- \* Metal Handbook Vol. 4 - Heat Treating.
- \* La red de revistas científicas de América Latina y del Caribe, España y Portugal, publicación No. UC Vol. 13, No. 3,19-25.
- \* Norma ASTM Standard Test Methods -ASTM A 370:1995
- \* [https://www.contratos.gov.co/archivospuc1/2011/DA/268547011/11-9-227342/DA\\_PROCESO\\_11-9-227342\\_268547011\\_2567072.pdf](https://www.contratos.gov.co/archivospuc1/2011/DA/268547011/11-9-227342/DA_PROCESO_11-9-227342_268547011_2567072.pdf)
- \* <http://www.sisa1.com.mx/pdf/Acero%20SISA%208620.pdf>
  
- \* MARCELO RODRIGUEZ VALDIVIA - EFECTO DE LA MARTENSITA REVENIDA EN EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN ACERO MICROALEADO A – 572 Nb” Universidad Nacional De San Agustín ,Escuela De Postgrado ,Unidad De Postgrado De La Facultad De Ingeniería De Procesos.-2007
- \* V.H. BALTAZAR HERNANDEZ, S.S. NAYAK, and Y. ZHOU-Tempering of Martensite in Dual-Phase Steels and Its Effects on Softening Behavior -2011