



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL  
ACERO D2 CON EL TRATAMIENTO DE  
AUSTEMPERING EN FUNCION DEL TIEMPO  
DE PERMANENCIA**

**TESIS**

**PRESENTA:**

**OLIVIA JAZMÍN SABINO GARCÍA**

**PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERA  
MECÁNICA ELÉCTRICISTA**

**ASESOR. DR. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA**

**CUAUTITLÁN IZCALL, ESTADO DE MEXICO 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U.N.A.M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos **La Tesis**:

**"Estudio del Comportamiento del Acero D2 con el Tratamiento de Austempering en Función del Tiempo de Permanencia"**

Que presenta el pasante: **OLIVIA JAZMÍN SABINO GARCÍA**

Con número de cuenta: **40403202-1** para obtener el Título de: **Ingeniera Mecánica Electricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de abril de 2014.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

|                     | <b>NOMBRE</b>                                 | <b>FIRMA</b> |
|---------------------|---|--------------|
| <b>PRESIDENTE</b>   | <u>M.I. Armando Morales</u>                   |              |
| <b>VOCAL</b>        | <u>Dr. Enrique Curiel Reyna</u>               |              |
| <b>SECRETARIO</b>   | <u>M.I. Jesús García Lira</u>                 |              |
| <b>1er SUPLENTE</b> | <u>Ing. Marco Antonio Hernández Rodríguez</u> |              |
| <b>2do SUPLENTE</b> | <u>Ing. Raymundo Morales Márquez</u>          |              |

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.

(Art 127 REP)

IHM/yrf

## **DEDICATORIA**

**A MI PAPA:** Por su ejemplo de honestidad, rectitud y honradez. Por sus sacrificios realizados para hacer de mi un ser humano con valores y una mujer trabajadora

**A MI MADRE:** Por su amor incondicional, esfuerzo y dedicación brindados a lo largo de mi vida. Por ser mi pilar el cual no me permite claudicar y ser feliz

**A MI HERMANO:** Jaime Sabino, el cual en todo momento me ha brindado su apoyo

## **AGRADECIMIENTO**

**A MI ASESOR:** M en I. Héctor Enrique Curiel Reyna con mi más profunda admiración ya que gracias a sus conocimientos me mostraron el camino del saber. Así como por su amistad y su confianza

## **RECONOCIMIENTO**

**A MIS PROFESORES:** Por compartir su conocimiento y en una forma especial, agradezco al M en I. Tomas Rangel, por su disposición y enseñanzas

**A LA UNAM:** Por brindarme la oportunidad del conocimiento y la darme la oportunidad de superarme.

## INDICE

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> ..... | 1 |
|---------------------------|---|

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>OBJETIVOS</b> ..... | 2 |
|------------------------|---|

### CAPITULO I

#### Tratamiento Térmico de los Aceros Herramienta

|   |    |
|---|----|
| 1.1. Generalidades.....   | 3  |
| 1.2. Principio de Tratamiento Térmico.....  | 3  |
| 1.3. Diagrama Hierro – Carbono.....   | 5  |
| 1.4. Tipos de Tratamiento.....  | 6  |
| 1.5. Transformaciones durante el calentamiento.....                                   | 7  |
| 1.6. Transformaciones durante el enfriamiento.....                                    | 8  |
| 1.7. Efectos y Propósitos de los elementos de aleación en los aceros herramienta..... | 10 |
| 1.8. Clasificación de los elementos de aleación.....                                  | 11 |
| 1.9. Influencia de los aleantes sobre el diagrama Hierro – Carbono.....               | 12 |

### CAPITULO II

#### Aceros Herramienta

|  |    |
|--|----|
| 2.1. Generalidades.....                  | 14 |
| 2.2. Clasificación de los Aceros.....    | 14 |
| 2.3. Tratamiento Isotérmico.....         | 17 |
| 2.4. Austempering.....                   | 18 |
| 2.5. Martempering.....                   | 19 |
| 2.6. Recocido Isotérmico.....            | 20 |
| 2.7. Templabilidad y Endurecimiento..... | 21 |

### **CAPITULO III**

#### Acero Herramienta D2

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 3.1. Generalidades.....              | 22 |
| 3.2. Características.....            | 22 |
| 3.3. Aplicaciones Típicas.....       | 22 |
| 3.4. Diagrama TTT para acero D2..... | 23 |

### **CAPITULO IV**

#### Parte de Experimentación

|  |    |
|--|----|
| 4.1. Selección de acero.....                         | 24 |
| 4.2. Preparación de probetas.....                    | 24 |
| 4.3. Tratamiento térmico.....                        | 25 |
| 4.4. Ataque.....                                     | 26 |
| 4.5. Mapeo de durezas.....                           | 26 |
| 4.6. Metalografía del acero herramienta tipo D2..... | 30 |

### **CAPITULO V**

#### Discusión de resultados

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 5.1. Ensayo de dureza..... | 35 |
| 5.2. Metalografía.....     | 35 |
| 5.3. Conclusiones.....     | 36 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b> | <b>37</b> |
|--------------------------|-----------|

## INTRODUCCIÓN

Los aceros para herramienta son un grupo muy grande de complejas aleaciones que evolucionaron para satisfacer las más diversas aplicaciones relacionadas con el trabajo en caliente y en frío. Su importancia industrial y complejidad condujo a la existencia de una considerable literatura acerca de su desarrollo, proceso y aplicaciones. Se encuentran detalles del proceso, tales como velocidades de enfriamiento recomendadas, tiempos y temperaturas de los tratamientos térmicos para cada acero.

Los aceros para herramienta se usan para maquinar y formar otros materiales, y por lo tanto se diseñan para casos en que se requieren características de alta dureza, alta tenacidad, baja deformabilidad, resistencia al desgaste o estabilidad de esfuerzos mecánicos elevados aun a altas temperaturas, es decir cuando las piezas están a solicitaciones mecánicas severas, se utilizan los llamados Aceros Herramienta. Estos aceros tienen como denominador común una muy alta templeabilidad y elevado contenido de aleantes, independientemente de su contenido de carbono que normalmente es superior al 0.060%.

En virtud que los aceros herramienta tiene composiciones químicas muy diversas, sus tratamientos, son vastos, complejos e interesantes. Los intervalos de temperatura usados para los tratamientos térmicos de los aceros herramienta quizá son de los más amplios para cualquier producto de la metalurgia ya que van desde temperaturas subcero, usadas en tratamientos especiales, para promover la estabilidad dimensional, hasta temperaturas de 1315 °C, utilizados en tratamientos térmicos de aceros de alta velocidad.

El Carbono es el elemento más importante para controlar las propiedades de los aceros herramienta, a pesar del hecho de que muchos aceros deben sus propiedades especiales a la presencia de aleantes.

Un cambio en el porcentaje de carbono de varios puntos en la mayoría de los aceros herramienta, ejercerá una gran influencia en las propiedades mecánicas de los mismos después del tratamiento térmico, por lo tanto el porcentaje de Carbono en los aceros herramienta debe, por consiguiente, ser controlado muy estrechamente.

Los Aceros Herramienta son clasificados por la AISI (American Iron and Steel Institute) y por la SAE (Society of Automotive Engineers) en 11 grupos teniendo en cuenta método de temple, sus aplicaciones y características particulares.

## **OBJETIVO**

El conocimiento en la ingeniería de los materiales es muy importante, ya que esta proporcionan las herramientas necesarias para comprender el comportamiento general de cualquier material, lo cual es necesario para desarrollar adecuadamente diseños de componentes, así como la correcta selección de material.

Los tratamientos térmicos son una herramienta muy utilizada, que persiguen mejorar o modificar las propiedades de los materiales. Los factores temperatura tiempo deben ser estudiados dependiendo del material, tamaño y forma de la pieza. De esta forma se lograran transformaciones de tipo físico o una determinada estructura interna cuyas propiedades permitan obtener las características deseadas en el material.

El objetivo de esta investigación es básicamente:

1. Comprobar experimentalmente el comportamiento del acero según el tratamiento térmico al que fue sometido.
2. Determinar las durezas después del tratamiento
3. Estudiar el efecto de la estructura metalográfica resultante al tratamiento



**CAPITULO I**

**TRATAMIENTO TERMICO DE  
LOS ACEROS HERRAMIENTA**

# CAPÍTULO I

## TRATAMIENTO DE LOS ACEROS HERRAMIENTA

### 1.1. GENERALIDADES

La utilización de tratamientos térmicos permite lograr las más diversas características del acero y sus aleaciones. En consecuencia dichos tratamientos tienen una importancia primordial en las distintas fases de su fabricación.

Los procedimientos en los tratamientos térmicos son muy numerosos y variados, debido a que los aceros herramienta tienen composiciones químicas muy diversas así como las características que se presenten conseguir al someterse a un tratamiento.

El tratamiento térmico pretende endurecer o ablandar, modificar su estructura, modificar total o parcialmente las características mecánicas del material.

Los intervalos de temperaturas usadas para los tratamientos térmicos de los aceros herramienta son quizá de los más amplios para cualquier producto de la metalurgia. Así mismo para todos los tipos de acero herramienta habrá variación en métodos de temple y velocidad de enfriamiento.

El Carbono es el elemento más importante para controlar las propiedades de los aceros herramienta, a pesar del hecho de que muchos aceros deben sus propiedades especiales a la presencia de ciertos elementos de aleación. Un cambio en el porcentaje de carbono de varios puntos en la mayoría de los aceros herramienta, ejerce una gran influencia en las propiedades mecánicas de los mismos después del tratamiento térmico, comparado con un cambio similar, igual o más grande, en el porcentaje de cualquier otro elemento de aleación presente. El porcentaje de carbono en los aceros herramienta debe, por consiguiente, ser controlado muy estrechamente. Por ejemplo, se hacen muchos aceros con porcentajes de carbono muy altos para aumentar la resistencia a la abrasión; si se baja el porcentaje del mismo, se pierde el propósito final de la herramienta. Por ello, es importante controlar el contenido superficial del Carbono durante todo el proceso del tratamiento térmico.

### 1.2. PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO

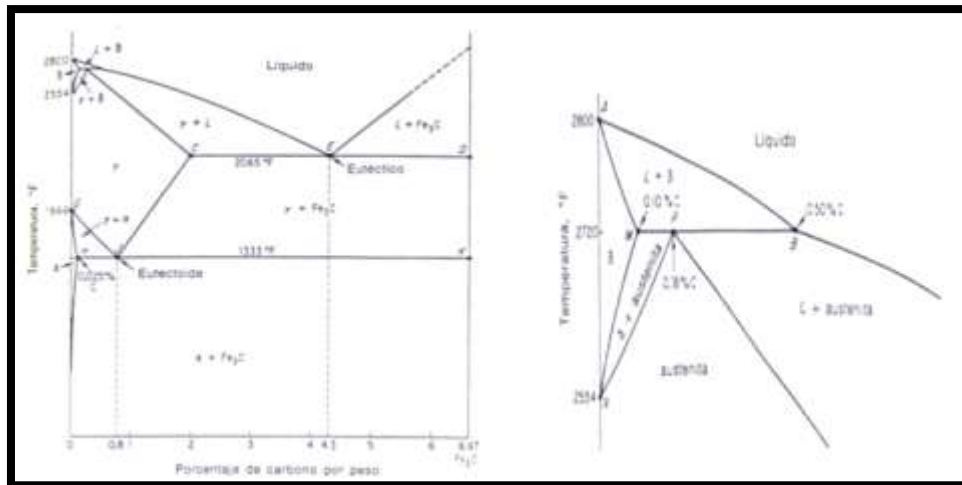
La base de para el tratamiento de todos los aceros es el hecho de que, cuando se calientan, se produce un cambio estructural. La mezcla de Ferrita y carburo que existe a bajas temperaturas, se transforma en Austenita al pasar la temperatura crítica durante el calentamiento. La Austenita disuelve mayor cantidad de Carbono que la Ferrita y, durante el enfriamiento desde la temperatura del tratamiento térmico, el tamaño y distribución del agregado de Ferrita-Carburo se puede controlar a través del procedimiento de enfriamiento.

Controlando la distribución de Ferrita y carburos, se puede obtener la mayor variación posible de propiedades mecánicas en los aceros.

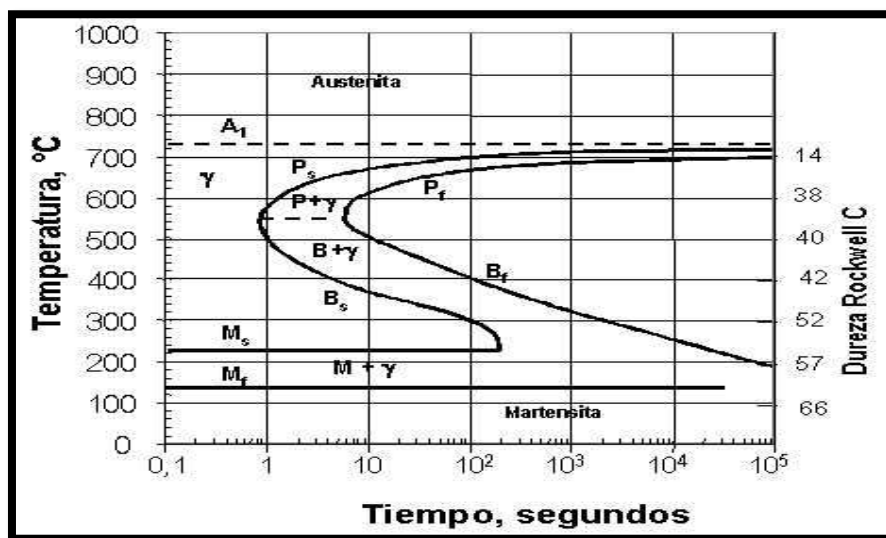
El fenómeno de la formación de Austenita en el calentamiento, así como la formación subsecuente de un agregado controlado de ferrita y cementita durante el enfriamiento, se representan básicamente por dos diagramas.

1. El diagrama Fierro-carburo de Fierro.
2. La curva TTT.

1) FIG. 1.1 Diagrama de equilibrio Fierro – carburo de Fierro (Fe-Fe<sub>3</sub>C)



2) FIG. 1.2 Diagrama TTT (Transformación Isotérmica de un acero eutectoide)



### 1.3. DIAGRAMA DE FIERRO- CARBONO

En el diagrama de equilibrio o de fases, se representan las transformaciones que sufren los aceros al carbono. Dicho diagrama se obtiene experimentalmente en función de la temperatura y de la concentración de cada uno, una vez identificados los puntos críticos (temperaturas a las que se producen las sucesivas transformaciones).

En principio, el diagrama Fierro – Carbono debe considerarse inadecuado cuando se estudian aceros aleados. Es verdad que una gran cantidad de aceros herramienta tienen altos contenidos de aleantes, sin embargo los aceros al Carbono son la base para discutir todos los demás aceros; así el diagrama de Fierro – Carbono es la base del conocimiento de las transformaciones que ocurren no solo en los aceros al Carbón sino en otros aceros también.

El Fierro puro apenas tiene aplicaciones industriales, pero formando aleaciones con el Carbono (en conjunto con otros elementos), es el material más utilizado en la industria.

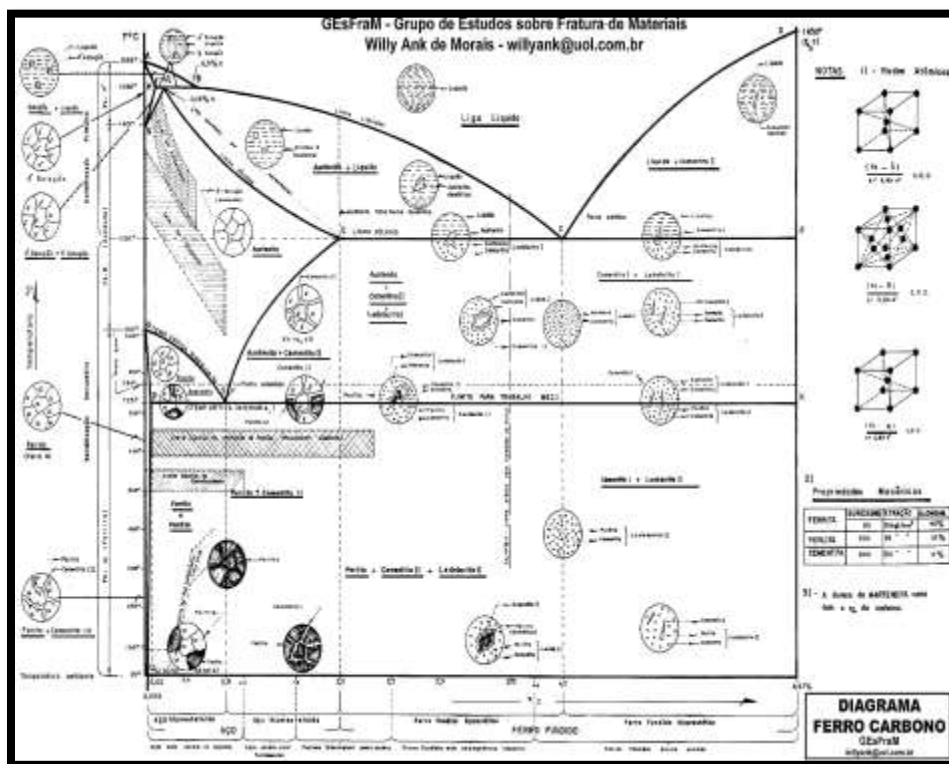


FIG. 1.3 Representaciones esquemáticas de los cambios estructurales del acero durante el calentamiento

FIG. 1.1 , 1.2 Y 1.3 (Tomada del Atlas of isothermal Transformation Diagrams, U.S Steel Corporation)

### 1.4. TIPOS DE TRATAMIENTOS

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas sobre todo de la cantidad de Carbono y de su distribución, antes del tratamiento.

Los tratamientos térmicos son operaciones de calentamiento y enfriamiento a temperaturas y en condiciones determinadas modificando la constitución estructural y en consecuencia las propiedades mecánicas.

Los principales tratamientos térmicos son:

- TEMPLE
- RECOCIDO
- REVENIDO
- NORMALIZADO

#### a) TEMPLE

La operación de temple consiste en calentar el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior  $A_c$  (entre  $900 - 1000^{\circ}\text{C}$ ) y posteriormente someterla a enfriamientos rápidos en un medio como agua, aceite etcétera. Su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia del acero.

#### b) RECOCIDO

La operación de recocido consiste básicamente en un calentamiento del material hasta la temperatura de austenitización ( $800 - 925^{\circ}\text{C}$ ), y someterlo a un enfriamiento lento.

El recocido se aplica al acero para ablandar y proporcionarle la ductilidad y la maleabilidad para conformarlo plásticamente o darle su forma final por mecanizado.

#### c) REVENIDO

La operación de revenido consiste en calentar el acero a una temperatura por debajo de temperatura crítica inferior y mantenerlo por un periodo de tiempo suficiente para alcanzar cambios deseados en tensiones y estructura.

Solo se aplica a aceros previamente Templados y es por lo tanto un tratamiento complementario al mismo. Este tratamiento le permite al acero neutralizar lentamente las tensiones internas producidas durante el temple y estabilizar su estructura.

#### d) NORMALIZADO

El normalizado se lleva a cabo para obtener una estructura y distribución de carburos más uniforme, lo cual permite controlar mejor el endurecimiento posterior de acero. Consiste en calentar el acero a una temperatura por arriba de la crítica superior,

seguido de un enfriamiento al aire calmada hasta temperatura ambiente. La estructura final es perlita homogénea.

## 1.5. TRANSFORMACIONES DURANTE EL CALENTAMIENTO

Al calentar a elevadas temperaturas una serie de aceros con diferentes porcentajes de carbono:

1. Para aceros hipoeutectoides  $C < 0.87\%$  (Fig. 1.1.1)
2. Para aceros eutectoides  $C = 0.87\%$  (Fig. 1.1.2)
3. Para aceros hipereutectoides  $C > 0.87\%$  (Fig. 1.1.3)

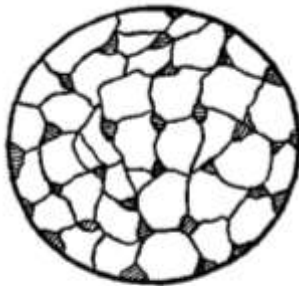


Figura 1.1.1 Hipoeutectoide 0.15% de carbono aproximadamente  
Estructura ferrita + perlita  
cementita



Figura 1.1.2 Eutectoide 0.88% de carbono  
Estructura 100% de perlita



Figura 1.1.3 Hipereutectoide mas de 0.88% de carbono  
Estructura perlita +

Se obtiene una serie de temperaturas de transformación. El diagrama Fierro – Carbono indica las fases o estructuras estables a cualquier combinación de temperatura y porcentaje de las aleaciones Fierro-Carbono

Con respecto a los aceros herramienta, que normalmente contienen sobre 0.6% (aunque la mayoría contiene de 0.90% a 1.1 % C), la Austenita empieza a formarse a una temperatura aproximada de 725 °C. Sin embargo, cuando el contenido de Carbono se incrementa sobre los rangos indicados, se deben usar temperaturas más altas en los tratamientos térmicos para disolver los carburos y lograr una Austenita más homogénea.

Prácticamente todos los aceros herramienta son hipereutectoides y, si consideramos que sus contenidos de aleantes son elevados, cuando la Ferrita y el carburo reaccionara al calentamiento para formar Austenita no todos los carburos existentes se disuelven hasta que se alcanzan temperaturas mayores aquellas en las que se inicia la transformación. Muchos aceros herramienta se caracterizan por una cierta cantidad de carburos sin disolver, porque

las temperaturas para una dilución completa de carburos no se usan en la práctica comercial.

Cuando se eleva la temperatura más allá de la línea Acm, el diagrama indica que la Austenita pura debe de ser la única fase presente en el acero. Sin embargo, esto no ocurre el momento exacto del calentamiento sobre la línea Acm, y en algunos casos es necesario mantener el acero a temperatura sobre  $925\text{ }^{\circ}\text{C}$  para alcanzar una homogenización total de la Austenita con respecto a las partículas de carburo. Esto implica que el diagrama se puede aplicar solo cuando se alcanza el estado de equilibrio. En la mayoría de los procesos metalúrgicos que involucran calentamiento de metales sólidos, nunca se alcanza instantáneamente el equilibrio, por lo tanto, se utilizan tiempos largos a temperaturas así como calentamiento y enfriamientos lentos para acercarnos lo suficiente al equilibrio para fines prácticos.

La temperatura mínima a la que se puede iniciar la transformación a Austenita en el calentamiento es de  $725\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que se considera la temperatura crítica de equilibrio, indicada en el diagrama.

## **1.6. TRANSFORMACIONES DURANTE EL ENFRIAMIENTO**

La transformación de Austenita a Ferrita y carburo en el enfriamiento no se produce a  $725\text{ }^{\circ}\text{C}$  como lo indica el diagrama de equilibrio porque hay un retraso, similar al que ocurre durante el calentamiento. Si se enfriara un acero a la velocidad más baja posible, la transformación de Austenita a Ferrita y carburo se producirá, probablemente, entre  $710\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $720\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Por lo tanto, bajo cualquier condición normal de enfriamiento comercial, la transformación se llevara a cabo por debajo de los  $705\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Al incrementarse la velocidad de enfriamiento, la temperatura a la que la transformación se produce es mucho menor a la que indica el diagrama de equilibrio Hierro – Carburo. La cantidad del “retraso” en el enfriamiento es más grande que el que ocurre en el calentamiento.

La mejor manera de comprender este fenómeno es mediante el estudio de los diagramas Tiempo – Temperatura – Transformación (TTT) de los aceros. El lado izquierdo de la curva indica el tiempo al cual la Austenita se empieza a transformar a cualquier temperatura y el lado derecho de la curva indica el tiempo al cual la transformación se completó, así como la estructura formada.

La estructura que se produce a diferentes temperaturas de transformación es de especial importancia e interés. Si el acero consiste de Austenita homogénea antes del enfriamiento, en todo el rango de temperaturas entre  $725\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $540\text{ }^{\circ}\text{C}$  la Perlita laminar es el producto de la transformación. A temperaturas cercanas a la crítica, la distancia entre las placas del carburo en la Perlita, llamado espacio de la Perlita, es relativamente grande y,

por consiguiente, el producto es relativamente suave, teniendo una dureza de 10 a 15 HRc. Sin embargo, cuando se baja la temperatura de transformación, el espacio interlaminar de la Perlita disminuye y el producto se vuelve más duro, subiendo a un valor de dureza de 40 a 45 HRc a una temperatura cuya velocidad de transformación es más rápida. A esta parte de la curva, en la cual se indica el rango más rápido de transformación, se le conoce como “nariz” de la curva. En este punto se encuentra la velocidad crítica de transformación.

A temperaturas por debajo de la “nariz”, la Perlita laminar no se forma pero en su lugar se forma un producto acicular que es una mezcla de fina Ferrita y carburo, cual se conoce como Bainita. La Bainita tiene una dureza que aumenta conforme la temperatura de transformación disminuye en un rango que va de 45 a 60 HRc. Resulta obvio que la formación de la Perlita ocurre en tiempos cortos y a la temperatura de la “nariz” de la curva, por lo que, si se desea la formación de Bainita, el acero debe de enfriarse a una velocidad sumamente rápido por abajo de esta temperatura crítica y al rebasarla deberá detenerse o retardarse el enfriamiento. Si se hace esto, es posible suprimir completamente la formación de Perlita y retener Austenita a bajas temperaturas, la cual se transformara a Bainita o Martensita.

Si el enfriamiento se continua, entonces la Austenita empezará a transformarse en Martensita aproximadamente a  $205^{\circ}\text{C}$  para un acero con 1.00% de Carbono. Esta Martensita, que es el principal constituyente de un acero endurecido. La Martensita tiene una celda unitaria tetragonal de cuerpo centrado (en contraste a la celda cubica de cuerpo centrado de la Ferrita) y tiene la misma composición química de la Austenita original. La Martensita solo se forma cuando la temperatura del acero disminuye, y si el enfriamiento se detiene, la transformación se detendrá, por lo tanto se requerirá de un nuevo enfriamiento para que la transformación se reinicie.

La temperatura a la cual la Austenita empieza a transformarse en Martensita con el enfriamiento es conocido como Ms. Por debajo de esta temperatura en el enfriamiento, la formación de la Martensita continua hasta temperatura ambiente o hasta temperaturas subcero; eventualmente, se consume toda la Austenita permanente hasta llegar a una segunda temperatura designada como punto Mf. El resultado de la dureza en el temple es una función del contenido de Carbono en la Martensita y la cantidad de Austenita suave retenida durante la realización del enfriamiento.

La cantidad de Austenita retenida, depende principalmente de la temperatura Ms y la temperatura de temple. Entre más alto es Ms, es más baja la cantidad de Austenita retenida para una temperatura dada del baño de temple. La temperatura Ms es entonces función de la composición del acero (principalmente del Carbono, que al aumentar disminuye Ms) y la temperatura de Austenitización.



Hay varias mezclas de estructura que se pueden obtener por un enfriamiento a ciertas velocidades específicas o por el uso de combinaciones de tiempo y temperaturas de permanencia, seguidas por diferentes velocidades de enfriamiento.

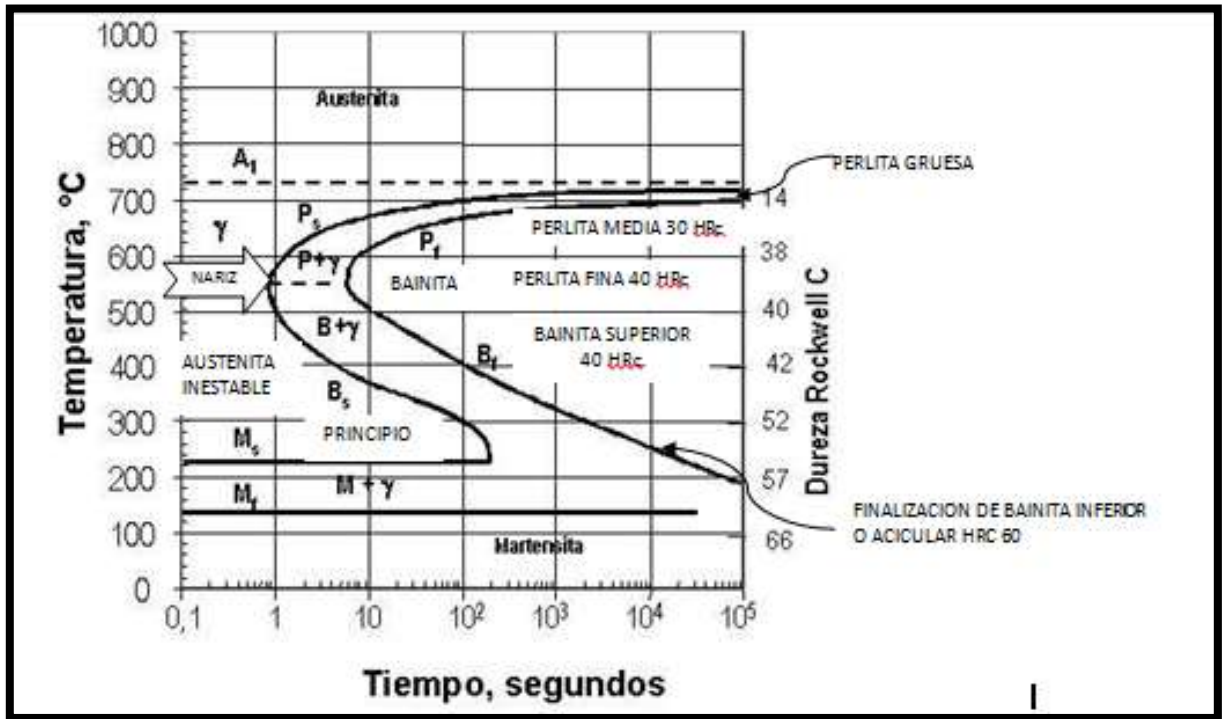


FIG.1.4 Diagrama de Transformación Isotérmica de un acero Eutectoide (Tomada del Atlas of isothermal Transformation Diagrams, U.S Steel Corporation)

## 1.7. EFECTOS Y PROPÓSITOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN EN LOS ACEROS HERRAMIENTA

La mayoría de las limitaciones de los aceros al Carbono pueden superarse mediante el uso de elementos de aleación. Un acero aleado puede definirse como aquel cuyas propiedades características se deben a algún elemento diferente al Carbón. Los elementos de aleación se añaden a los aceros para diversos propósitos, entre los cuales los más importantes son los siguientes:

1. Aumentar la templabilidad
2. Mejorar la resistencia a temperaturas comunes
3. Mejorar las propiedades mecánicas tanto en altas como bajas temperaturas
4. Mejorar la tenacidad a cualquier dureza o resistencia mínima
5. Aumentar la resistencia al desgaste
6. Aumentar la resistencia a la corrosión

## 1.8. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN

La clasificación de los elementos aleantes se puede hacer de acuerdo con la forma en la que se distribuyen en los dos constituyentes principales de los aceros.

**Grupo 1:** Según la forma en que se encuentran en los constituyentes estructurales del acero (elementos que se disuelven en ferrita Ni, Si, Al, Cu, Co)

**Grupo 2:** Por su efecto sobre la tendencia al crecimiento de grano (forman carburos simples o complejos Cr, Mo, V, W, Ti, Si, Zr, Ta)

| ELEMENTO         | TENACIDAD A               |                 | SOLUBILIDAD DE LOS ELEMENTOS ALEANTES           |                                 | EFECTO DE ENDURECIMIENTO SOBRE LA FERRITA                  | INFLUENCIA DE LA FORMACION DE CARBUROS | PRINCIPALES FUNCIONES  |
|------------------|---------------------------|-----------------|---|---------------------------------|--|--|--|
|                  | DISOLVERSE EN FERRITA     | FORMAR CARBUROS | MAXIMA SOLUBILIDAD EN FERRITA                   | MAXIMA SOLUBILIDAD EN AUSTEMITA |  |  |  |
| <b>ALUMINIO</b>  | Se disuelve en la ferrita | No              | 36%   | 1.10%                           | Muy endurecida en solución sólida                          | Menor que Fe                           | FUERTE DESOXIDANTE, LIMITA EL CRECIMIENTO DE GRANO, FUERTE TOMADOR DE NITRÓGENO Y EL ELEMENTO ALEANTE DE ACERO DE NITRURACION                                    |
| <b>CROMO</b>     | Se disuelve en la ferrita | Si              | Ilimitado                                       | 12.8%(20% con 0.5% DE C)        | Endurece ligeramente. Mejora la resistencia a la corrosión | Mayor que Mn y Menor que W             | AUMENTA LA TEMPLABILIDAD, MEJORA LA RESISTENCIA AL DESGASTE, AUMENTA LA RESISTENCIA EN CALIENTE Y AUMENTA LA RESISTENCIA A LA CORROSION Y OXIDACION              |
| <b>COBALTO</b>   | Se disuelve en la ferrita | No              | 75%   | Ilimitada                       | Muy endurecido   | Similar a Fe                           | INHIBE EL CRECIMIENTO DE GRANO A ALTA TEMPERATURA Y MEJORA LA RETENCION DE DUREZA Y RESISTENCIA EN CALIENTE  |
| <b>MANGANESO</b> | Se disuelve en la ferrita | No              | 15%   | Ilimitada                       | Muy endurecedor  | Menor que Fe                           | AUMENTA LA TEMPLABILIDAD Y ACTUA COMO DESOXIDANTE  |
| <b>MOLIBDENO</b> | Se disuelve en la ferrita | Grande          | 37.50%  | 3% (8% con 0.3% de C)           | Origina envejecimiento                                     | Mayor que el Cr                        | AUMENTA LA TEMPLABILIDAD, REDUCE LA FRAGILIDAD DE REVENIDO Y MEJORA LA RESISTENCIA EN CALIENTE   |
| <b>NIQUEL</b>    | Se disuelve en la ferrita | No              | 10 A 25% Independiente del contenido de Carbono | Ilimitada                       | Endurece y mejora la tenacidad                             | Minima                                 | AUMENTA LA TENACIDAD, AUMENTA LA RESISTENCIA Y AUSTENIZA LOS ACEROS ALTOS EN Cr  |
| <b>SILICIO</b>   | Se disuelve en la ferrita | Muy grande      | 18.50%  | 2% (9% con 0.35% de C)          | Endrece con pérdida de plasticidad                         | Menor que Fe                           | SE USA COMO DESOXIDANTE, INCREMENTA CONSIDERABLEMENTE EL LIMITE ELASTICO Y AUMENTA LA RESISTENCIA MECANICA A AL DESGASTE   |
| <b>TITANIO</b>   | Se disuelve en la ferrita | Muy grande      | 6%  | 0.75% (1% con 0.2% de C)        | Origina envejecimiento                                     | El mayor                               | FIJA EL CARBONO, AUMENTA LA RESISTENCIA EN CALIENTE Y ESTABILIZA EL Cr EN ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS  |
| <b>TUNGSTENO</b> | Se disuelve en la ferrita | Muy grande      | 30 - 50 %                                       | 6% (11% con 0.25% de C)         | Origina envejecimiento                                     | Muy fuerte                             | FORMAN CARBUROS DUROS Y RESISTENTES AL DESGASTE A ELEVADA TEMPERATURA Y MEJORA LA DUREZA Y RESISTENCIA EN CALIENTE   |
| <b>VANADIO</b>   | Se disuelve en la ferrita | Muy grande      | Ilimitado                                       | 1% (4% con 0.2% de C)           | Endurece moderadamente                                     | Muy fuerte                             | REDUCE EL CRECIMIENTO DEL GRANO ANTE UN SOBRECALENTAMIENTO, AUMENTA LA TEMPLABILIDAD, INCREMENTA LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y AUMENTA LA RESISTENCIA AL REVENIDO |

En la tabla se resumen los efectos específicos de los elementos de aleaciones a los aceros.

## 1.9. INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES SOBRE EL DIAGRAMA FIERRO-CARBONO

En un sistema de múltiples componentes, es difícil entender la función exacta de cada elemento y predecir los resultados finales. Al observar la tabla, es fácil comprender que los elementos de aleación tendrán diferentes y severos efectos sobre el diagrama Fe-Fe<sub>3</sub>C. Cuando un tercer elemento se añade al acero, el diagrama Fierro-Carburo de Fierro ya no es una representación de condiciones de equilibrio, ya que las temperaturas críticas, la posición del eutectoide, el intervalo crítico y la localización del tamaño de los campos de Ferrita y Austenita se verán modificados, lo que nos obliga a utilizar los diagramas de fase ternarios, con los que podemos determinar la condición estructural de los aceros con diferentes aleantes, así como sus efectos.

El cambio en la temperatura crítica producido por la presencia de elementos de aleación es importante en el tratamiento térmico de aceros aleados, ya que aumentara o disminuirá la temperatura crítica de endurecimiento al ser comparado con la correspondiente a un acero al Carbono.

Todos los elementos de aleación tienden a reducir el contenido de Carbono del eutectoide, pero solo el Níquel y Manganeso reducen la temperatura eutectoide.

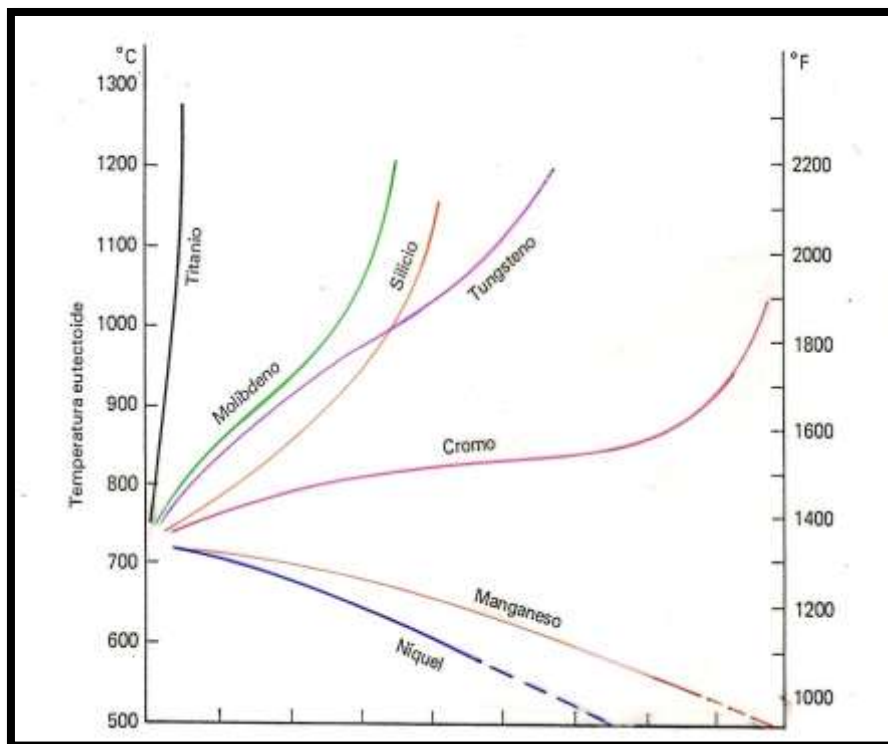


FIG. 1.5 Porcentaje en peso del elemento de aleación

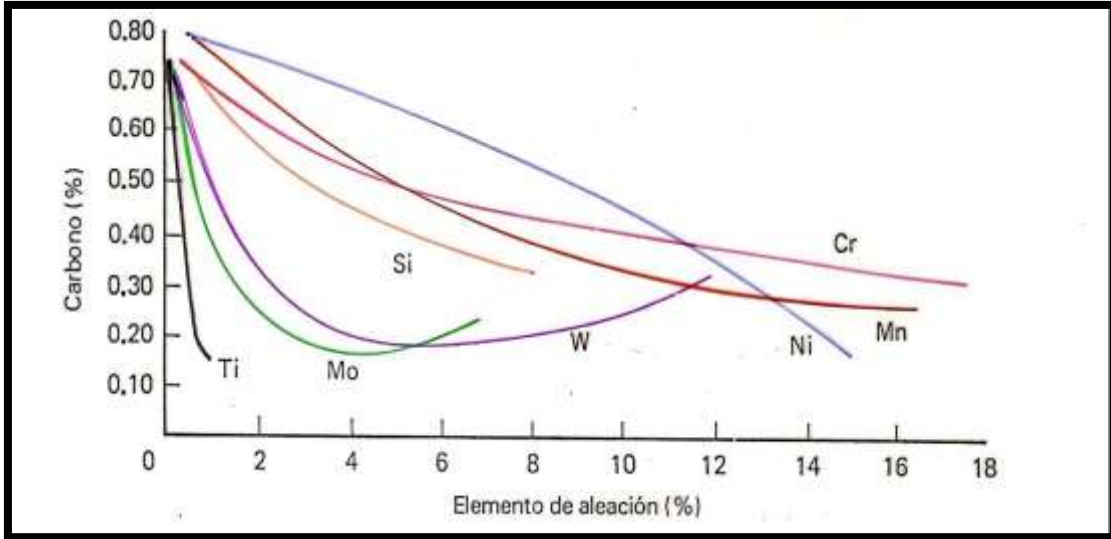


FIG. 1.6 Porcentaje en peso del elemento de aleación

FIG 1.5 Y 1.6 Composición y temperatura eutectoides influidas por diversas elementos de aleación (tomada del libro de E.C. Bain y H.W. Paxton, Alloying elements in, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1961)

**CAPITULO II**  
**ACEROS HERRAMIENTA**

## CAPITULO II

### ACEROS HERRAMIENTA

#### 2.1. GENERALIDADES

La mayoría de las limitaciones de los aceros al carbón, pueden superarse mediante el uso de elementos de aleación. Un acero aleado puede definirse como aquel cuyas propiedades y características se deben a algún elemento diferente al Carbón. Los elementos de aleación se añaden a los aceros para diversos propósitos, y entre los cuales tenemos los siguientes:

- Aumentar la templabilidad
- Mejorar las propiedades mecánicas
- Aumentar la resistencia al desgaste
- Aumentar la resistencia a la corrosión

#### 2.2. CLASIFICACIÓN

Los aceros herramienta son calificados por AISI (American Iron and Steel Institute) y por la SAE (Society of Automotive Engineers) en 11 grupos, teniendo en cuenta el método de temple, sus aplicaciones y características particulares, que se muestran en la siguiente tabla.

| GRUPO                  | SÍMBOLO ALFABÉTICO | TIPO                  |
|------------------------|--------------------|-----------------------|
| Temple en agua         | W                  | Acero al carbón       |
| Resistentes al impacto | S                  | Bajo C baja aleación  |
| Trabajo en frío        | O                  | Temple en aceite      |
|                        | A                  | Temple en aire        |
|                        | <b>D</b>           | <b>Alto C alto Cr</b> |
| Trabajo en caliente    | H                  | H1 -H19 Base Cr       |
|                        |                    | H20-H39 Base W        |
|                        |                    | H40-H59 Base Mo       |
| Alta velocidad         | T                  | Base W                |
|                        | M                  | Base Mo               |
| Moldes                 | P                  | Bajo C                |
| Propósitos específicos | F                  | Baja Aleación         |
| Baja aleación          | L                  | Baja Aleación         |

A su vez, estos grupos se subdividen en diferentes tipos basándose en la composición química de cada acero.

## IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ACEROS HERRAMIENTA

| ELEMENTOS DE IDENTIFICACION, PORCENTAJE  |            |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
|--|------------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|
| Tipo   | C          | Mn   | Si   | Cr    | Ni   | V    | W     | Mo   | Co   | Al   |
| ACEROS PARA HERRAMIENTA TEMPLABLES EN AGUA,<br>SIMBOLO W                               |            |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
| W1   | 0.50/1.40* | ...  | ...  | ...   | ...  | 0.25 | ...   | ...  | ...  | ...  |
| W2   | 0.60/1.40* | ...  | ...  | 0.50  | ...  | ...  | ...   | ...  | ...  | ...  |
| W3   | 1.10       | ...  | ...  | ...   | ...  | ...  | ...   | ...  | ...  | ...  |
| ACEROS PARA HERRAMIENTA RESISTENTES AL IMPACTO,<br>SIMBOLO S                           |            |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
| S1   | 0.50       | ...  | ...  | 1.50  | ...  | ...  | 2.50  | ...  | ...  | ...  |
| S2   | 0.50       | ...  | 1.00 | ...   | ...  | ...  | ...   | 0.50 | ...  | ...  |
| S5   | 0.55       | 0.80 | 2.00 | ...   | ...  | ...  | ...   | 0.40 | ...  | ...  |
| S7   | 0.30       | ...  | ...  | 0.25  | ...  | ...  | ...   | 1.40 | ...  | ...  |
| ACEROS PARA HERRAMIENTA PARA TRABAJO EN FRIO,<br>SIMBOLO O, TIPOS TEMPLABLES EN ACEITE |            |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
| O1   | 0.90       | 1.00 | ...  | 0.50  | ...  | ...  | 0.50  | ...  | ...  | ...  |
| O2   | 0.90       | 1.90 | ...  | ...   | ...  | ...  | ...   | ...  | 0.25 | ...  |
| O6 <sub>2</sub>  | 1.45       | ...  | 1.00 | ...   | ...  | ...  | ...   | ...  | ...  | ...  |
| O7   | 1.20       | ...  | ...  | 0.75  | ...  | ...  | 1.75  | ...  | ...  | ...  |
| SIMBOLO A, MEDIANA ALEACION, TIPOS TEMPLABLES EN AIRE                                  |            |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
| A2   | 1.00       | ...  | ...  | 5.00  | ...  | ...  | ...   | 1.00 | ...  | ...  |
| A3   | 1.25       | ...  | ...  | 5.00  | ...  | 1.00 | ...   | 1.00 | ...  | ...  |
| A4   | 1.00       | 2.00 | ...  | 1.00  | ...  | ...  | ...   | 1.00 | ...  | ...  |
| A6   | 0.70       | 2.00 | ...  | 1.00  | ...  | ...  | ...   | 1.00 | ...  | ...  |
| A7   | 2.25       | ...  | ...  | 5.25  | ...  | 4.75 | 1.00  | 1.00 | ...  | ...  |
| A8   | 0.55       | ...  | ...  | 5.00  | ...  | ...  | 1.25  | 1.25 | ...  | ...  |
| A9   | 0.50       | ...  | ...  | 5.00  | 1.50 | 1.00 | ...   | 1.40 | ...  | ...  |
| A10 <sub>1</sub>   | 1.35       | 1.80 | 1.25 | ...   | 1.80 | ...  | ...   | 1.50 | ...  | ...  |
| SIMBOLO D, TIPOS ALTO CARBONO, ALTO CROMO  |            |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
| D2   | 1.50       | ...  | ...  | 12.00 | ...  | ...  | ...   | 1.00 | ...  | ...  |
| D3   | 2.25       | ...  | ...  | 12.00 | ...  | ...  | ...   | ...  | 1.00 | ...  |
| D4   | 2.25       | ...  | ...  | 12.00 | ...  | ...  | ...   | ...  | 1.00 | 3.00 |
| D5   | 1.50       | ...  | ...  | 12.00 | ...  | ...  | ...   | 1.00 | ...  | ...  |
| D7   | 2.35       | ...  | ...  | 12.00 | ...  | 4.00 | ...   | 1.00 | ...  | ...  |
| ACEROS PARA HERRAMIENTA PARA TRABAJO EN CALIENTE<br>SIMBOLO H                          |            |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
| H1-H19, INCLUSO TIPOS BASE CROMO   |            |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
| H10  | 0.40       | ...  | ...  | 3.25  | ...  | 0.40 | ...   | 2.50 | ...  | ...  |
| H11  | 0.35       | ...  | ...  | 5.00  | ...  | 0.40 | ...   | 1.50 | ...  | ...  |
| H12  | 0.35       | ...  | ...  | 5.00  | ...  | 0.40 | 1.50  | 1.50 | ...  | ...  |
| H13  | 0.35       | ...  | ...  | 5.00  | ...  | 1.00 | ...   | 1.50 | ...  | ...  |
| H14  | 0.40       | ...  | ...  | 5.00  | ...  | ...  | 5.00  | ...  | ...  | ...  |
| H19  | 0.40       | ...  | ...  | 4.25  | ...  | 2.00 | 4.25  | ...  | 4.25 | ...  |
| H20-H39, INCLUSO TIPOS BASE TUNGSTENO (H27-H39 NO DESIGNADOS)                          |            |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
| H21  | 0.35       | ...  | ...  | 3.50  | ...  | ...  | 9.00  | ...  | ...  | ...  |
| H22  | 0.35       | ...  | ...  | 2.00  | ...  | ...  | 11.00 | ...  | ...  | ...  |
| H23  | 0.30       | ...  | ...  | 12.00 | ...  | ...  | 12.00 | ...  | ...  | ...  |
| H24  | 0.45       | ...  | ...  | 3.00  | ...  | ...  | 15.00 | ...  | ...  | ...  |
| H25  | 0.25       | ...  | ...  | 4.00  | ...  | ...  | 15.00 | ...  | ...  | ...  |
| H26  | 0.50       | ...  | ...  | 4.00  | ...  | 1.00 | 18.00 | ...  | ...  | ...  |
| H40-H59, INCLUSO TIPOS BASE MOLIBDENO (H40, H44-H49 NO DESIGNADOS)                     |            |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
| H41  | 0.65       | ...  | ...  | 4.00  | ...  | 1.00 | 1.50  | 8.00 | ...  | ...  |
| H42  | 0.60       | ...  | ...  | 4.00  | ...  | 2.00 | 6.00  | 5.00 | ...  | ...  |
| H43  | 0.55       | ...  | ...  | 4.00  | ...  | 2.00 | ...   | 8.00 | ...  | ...  |

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ACEROS HERRAMIENTA  
CONTINUACIÓN

| ELEMENTOS DE IDENTIFICACIÓN, PORCENTAJE                          |            |     |     |      |      |      |       |      |       |      |
|--|------------|-----|-----|------|------|------|-------|------|-------|------|
| Tipo   | C          | Mn  | Si  | Cr   | Ni   | V    | W     | Mo   | Co    | Al   |
| <b>ACEROS PARA HERRAMIENTA DE ALTA VELOCIDAD</b>                 |            |     |     |      |      |      |       |      |       |      |
| <b>SÍMBOLO T, TIPOS BASE TUNGSTENO</b>                           |            |     |     |      |      |      |       |      |       |      |
| T1   | 0.70       | ... | ... | 4.00 | ...  | 1.00 | 18.00 | ...  | ...   | ...  |
| T2   | 0.80       | ... | ... | 4.00 | ...  | 2.00 | 18.00 | ...  | ...   | ...  |
| T4   | 0.75       | ... | ... | 4.00 | ...  | 1.00 | 18.00 | ...  | 5.00  | ...  |
| T5   | 0.80       | ... | ... | 4.00 | ...  | 2.00 | 18.00 | ...  | 8.00  | ...  |
| T6   | 0.80       | ... | ... | 4.50 | ...  | 1.50 | 20.00 | ...  | 12.00 | ...  |
| T8   | 0.75       | ... | ... | 4.00 | ...  | 2.00 | 14.00 | ...  | 5.00  | ...  |
| T15  | 1.50       | ... | ... | 4.00 | ...  | 5.00 | 12.00 | ...  | 5.00  | ...  |
| <b>SÍMBOLO M, TIPOS BASE MOLIBDENO</b>                           |            |     |     |      |      |      |       |      |       |      |
| M1   | 0.80       | ... | ... | 4.00 | ...  | 1.00 | 1.50  | 8.00 | ...   | ...  |
| M2   | 0.85/1.00† | ... | ... | 4.00 | ...  | 2.00 | 6.00  | 5.00 | ...   | ...  |
| M3   | 1.05       | ... | ... | 4.00 | ...  | 2.40 | 6.00  | 5.00 | ...   | ...  |
| M4   | 1.30       | ... | ... | 4.00 | ...  | 4.00 | 5.50  | 4.50 | ...   | ...  |
| M6   | 0.80       | ... | ... | 4.00 | ...  | 1.50 | 4.00  | 5.00 | 12.00 | ...  |
| M7   | 1.00       | ... | ... | 4.00 | ...  | 2.00 | 1.75  | 8.75 | ...   | ...  |
| M10  | 0.85       | ... | ... | 4.00 | ...  | 2.00 | ...   | 8.00 | ...   | ...  |
| M30  | 0.80       | ... | ... | 4.00 | ...  | 1.25 | 2.00  | 8.00 | 5.00  | ...  |
| M34  | 0.90       | ... | ... | 4.00 | ...  | 2.00 | 2.00  | 8.00 | 8.00  | ...  |
| M36  | 0.80       | ... | ... | 4.00 | ...  | 2.00 | 6.00  | 5.00 | 8.00  | ...  |
| M41  | 1.10       | ... | ... | 4.25 | ...  | 2.00 | 6.75  | 3.75 | 5.00  | ...  |
| M42  | 1.10       | ... | ... | 3.75 | ...  | 1.15 | 1.50  | 9.50 | 8.00  | ...  |
| M43  | 1.20       | ... | ... | 3.75 | ...  | 1.60 | 2.75  | 8.00 | 8.25  | ...  |
| M44  | 1.50       | ... | ... | 4.25 | ...  | 2.25 | 5.25  | 6.25 | 12.00 | ...  |
| M46  | 1.25       | ... | ... | 4.00 | ...  | 3.20 | 2.00  | 8.25 | 8.25  | ...  |
| M47  | 1.10       | ... | ... | 3.75 | ...  | 1.25 | 1.50  | 9.50 | 5.00  | ...  |
| <b>ACEROS PARA HERRAMIENTA CON FINES ESPECIFICOS</b>             |            |     |     |      |      |      |       |      |       |      |
| <b>SÍMBOLO L, TIPOS BAJA ALEACIÓN</b>                            |            |     |     |      |      |      |       |      |       |      |
| L2   | 0.50/1.10† | ... | ... | 1.00 | ...  | 0.20 | ...   | ...  | ...   | ...  |
| L3   | 1.00       | ... | ... | 1.50 | ...  | 0.20 | ...   | ...  | ...   | ...  |
| L8   | 0.70       | ... | ... | 0.75 | 1.50 | ...  | ...   | 0.25 | ...   | ...  |
| <b>SÍMBOLO F, TIPOS CARBONO-TUNGSTENO</b>                        |            |     |     |      |      |      |       |      |       |      |
| F1   | 1.00       | ... | ... | ...  | ...  | ...  | 1.25  | ...  | ...   | ...  |
| F2   | 1.25       | ... | ... | ...  | ...  | ...  | 3.50  | ...  | ...   | ...  |
| <b>ACEROS PARA MOLDES, SÍMBOLO P</b>                             |            |     |     |      |      |      |       |      |       |      |
| <b>P1-P19, INCLUSO TIPOS BAJO CARBONO (P7-P19 NO DESIGNADOS)</b> |            |     |     |      |      |      |       |      |       |      |
| P2   | 0.07       | ... | ... | 2.00 | 0.50 | ...  | ...   | 0.20 | ...   | ...  |
| P3   | 0.10       | ... | ... | 0.80 | 1.25 | ...  | ...   | ...  | ...   | ...  |
| P4   | 0.07       | ... | ... | 5.00 | ...  | ...  | ...   | ...  | ...   | ...  |
| P5   | 0.10       | ... | ... | 2.25 | ...  | ...  | ...   | ...  | ...   | ...  |
| P6   | 0.10       | ... | ... | 1.50 | 3.50 | ...  | ...   | ...  | ...   | ...  |
| <b>P20-P19, INCLUSO OTROS TIPOS (P21-P19 NO DESIGNADOS)</b>      |            |     |     |      |      |      |       |      |       |      |
| P20  | 0.30       | ... | ... | 1.25 | ...  | ...  | ...   | 0.25 | ...   | ...  |
| P21  | 0.20       | ... | ... | ...  | 4.00 | ...  | ...   | ...  | ...   | 1.20 |

Tomada del libro Steel Products Manual. "Tool Steels" American Iron and Steel Institute 1970.



### **2.3. TRATAMIENTO ISOTÉRMICO**

Este tipo de tratamientos muestra el camino que se debe seguir para alcanzar una determinada temperatura, a la cual se desea llevar adelante la transformación, determinando entonces el tiempo que debe permanecer la pieza a la misma temperatura.

Todos ellos tienen en común que las piezas de acero son calentadas hasta temperaturas de austenitización completa y desde ahí, son enfriadas isotérmicamente por inmersión en sales fundidas, plomo fundido, u otro medio refrigerante líquido que permita mantener constante la temperatura durante la transformación de la Austenita.

Estos son los tres principales tratamientos:

1. AUSTEMPERING.
2. MARTEMPERING.
3. RECOCIDO ISOTÉRMICO.

## 2.4. AUSTEMPERING.

Consiste en calentar el acero a temperatura de austenitización completa seguido de un enfriamiento rápido hasta una temperatura por arriba de la temperatura  $M_s$  ( $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) del acero, manteniéndose así hasta completar la transformación a Bainita. Es un tratamiento que no requiere después otro tratamiento térmico.

Es un tratamiento térmico desarrollado para obtener una estructura de 100% Bainita.

Las ventajas de este tratamiento son: mayor ductilidad, mayor tenacidad, alta dureza, menor distorsión y menor peligro de agrietamiento durante el temple.

Su principal limitante son los largos tiempos requeridos para completar la transformación a Bainita.

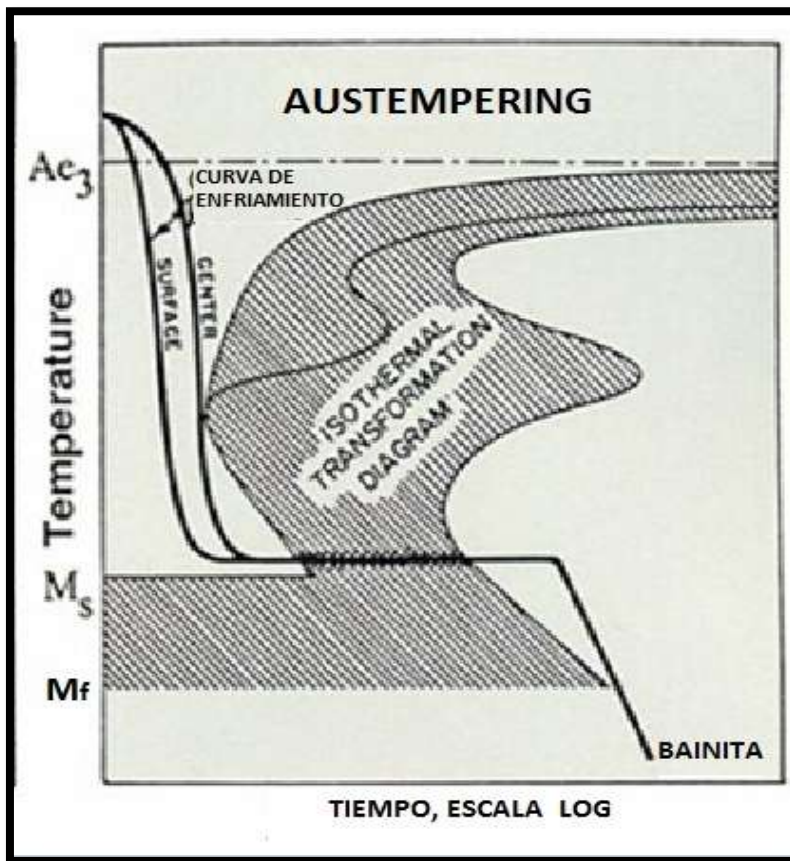


FIG. 2.1 Diagrama esquemático de tratamiento térmico de austemper

## 2.5. MARTEMPERING

Este es un tratamiento térmico de endurecimiento del acero que es muy efectivo para minimizar la distorsión y las fisuras. Consiste en calentar el acero a la temperatura de austenitización, seguido de un enfriamiento rápido hasta una temperatura por arriba de la temperatura  $M_s$  del acero, manteniendo el acero durante un tiempo que permita homogeneizar la temperatura de la superficie y del centro de la pieza seguido de un enfriamiento al aire hasta temperatura ambiente. Como el enfriamiento introduce muy poco gradiente de temperatura, la Martensita se formará casi al mismo tiempo en toda la pieza, lo que minimiza los esfuerzos residuales y reduce enormemente el peligro de distorsión y figuración. Este tratamiento termina reviniendo el acero a la dureza deseada. Este tratamiento es recomendado para aceros de alta aleación

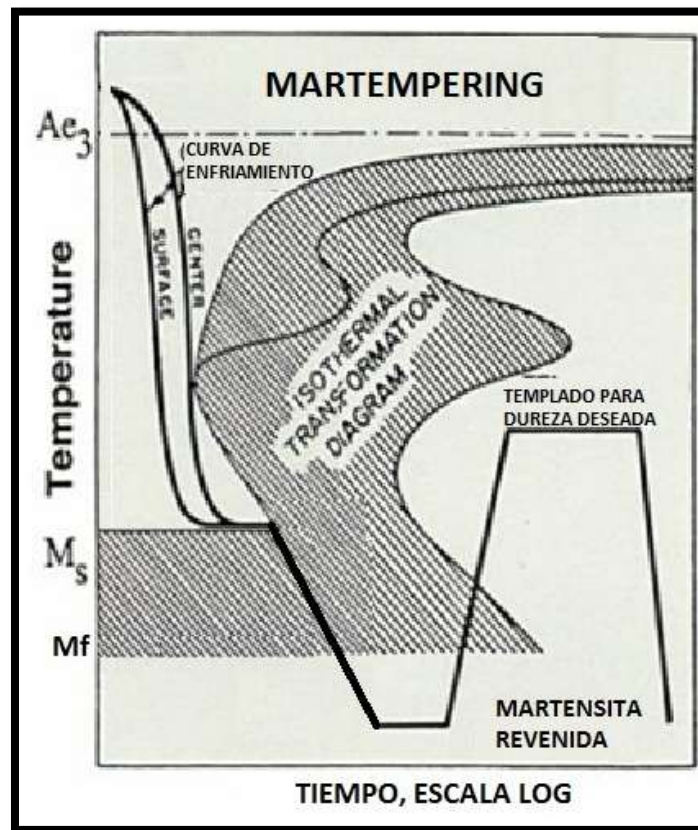


FIG. 2.2 Diagrama esquemático de tratamiento térmico de martemper

## 2.6. RECOCIDO ISOTÉRMICO

Consiste en calentar el acero por encima de la temperatura crítica superior y enfriar lentamente a velocidad controlada por un tiempo determinado que especifica el diagrama de TTT, para obtener una estructura de tipo perlítica y posteriormente enfriarse al aire

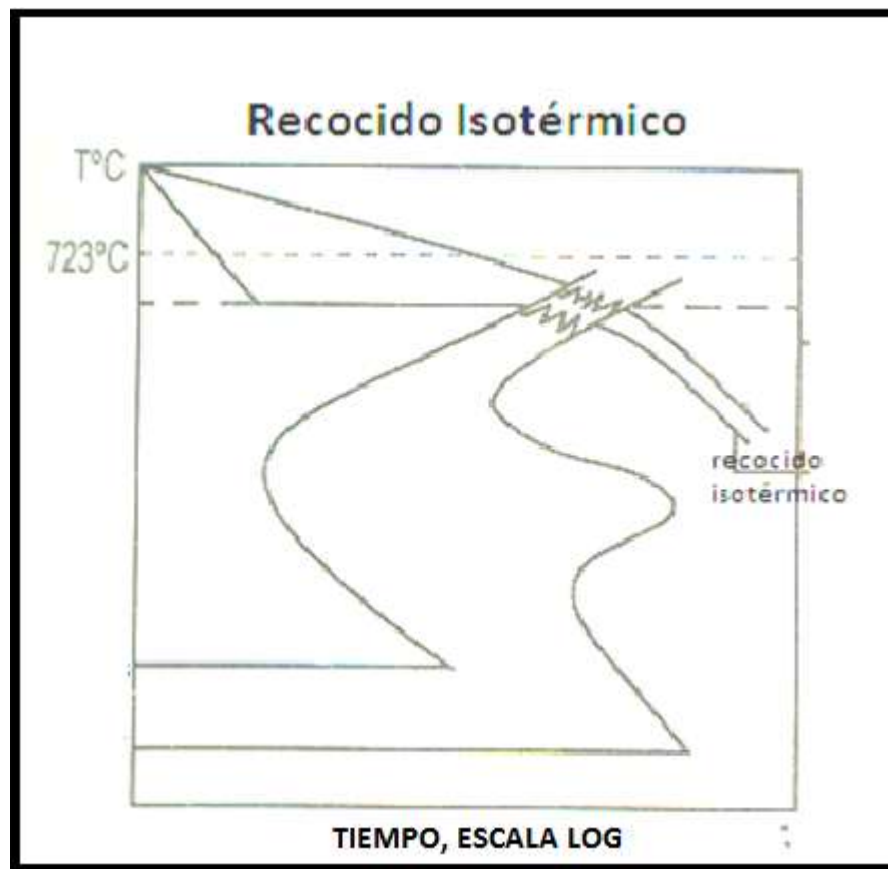


FIG. 2.3 Diagrama esquemático de tratamiento térmico de recocido isotérmico

FIG. 2.1, 2.2 y 2.3 Representación esquemática de diferentes ciclos de transformación en un diagrama TTT. (Tomada del libro U.S.S. carilloy steels, U.S. Steel Corporation.)

## **2.7. TEMPLABILIDAD Y ENDURECIMIENTO**

Muchas veces se determina templabilidad de un acero a su tendencia a la formación de Martensita o a su capacidad de endurecerse por temple.

La dureza que se alcanza en un proceso de temple determinado, depende de la velocidad de enfriamiento y de la porción en que se detenga la transformación de la zona perlítica y bainítica.

### **ENDURECIMIENTO**

La operación de endurecimiento consiste en calentar al acero a una temperatura dentro de la región de Austenita o en la región de Austenita más carburo y temple a una razón donde se prevenga la formación de Martensita. Como se observa en el diagrama de formación isotérmica (FIG. 1.4 )

# **CAPITULO III**

## **ACERO HERRAMIENTA D2**

## CAPITULO III

### ACERO HERRAMIENTA D2

#### 3.1.GENERALIDADES

De los aceros comúnmente usados para la fabricación de herramientas que requieren alta dureza y alta resistencia al desgaste se encuentra el acero D2.

Teniendo como composición:

| Tipo | C       | Mn       | Si       | Cr    | Ni       | Mo      | V        |
|------|---------|----------|----------|-------|----------|---------|----------|
| D2   | 1.4-1.6 | 0.6 máx. | 0.6 máx. | 11-13 | 0.3 máx. | 0.7-1.2 | 1.1 máx. |

El acero D2 es un acero con alta resistencia al desgaste, pero con una estructura altamente orientada, en general los aceros alto Cromo – alto Carbono (D2), puede dividirse dentro de dos grandes clasificaciones, aquellos que son endurecidos en aceite y aquellos que son endurecidos en aire.

Durante la solidificación, estos aceros presentan una alta segregación de los elementos aleantes. Así, los contenidos de Cromo y Carbono pueden tener variaciones entre el centro de los granos y su frontera, la cual está formada por una mezcla de Austenita y carburo.

Dicha presencia de carburos en una matriz de un acero herramienta incrementa la resistencia al desgaste.

#### 3.2.CARACTERÍSTICAS

El acero D2 grado herramientas, es dimensionalmente estable, de excelente rendimiento al corte y resistencia al desgaste. Dureza típica de uso 58- 64 HRc. Especialmente para temple al aire.

#### 3.3.APLICACIONES TÍPICAS

Dentro de los usos más comunes se encuentran:

Estampado y formado, matrices y punzones, troquelado y perforado, rodillos, troquelado fino, dados para cuño, herramientas de roscado, herramientas para re babear, insertos para moldes cuchillas, cizallas, husillos y puntas para Inyección de plástico, cuchillas para molino de Plástico, entre otros usos.

### 3.4. DIAGRAMA TTT DEL ACERO D2

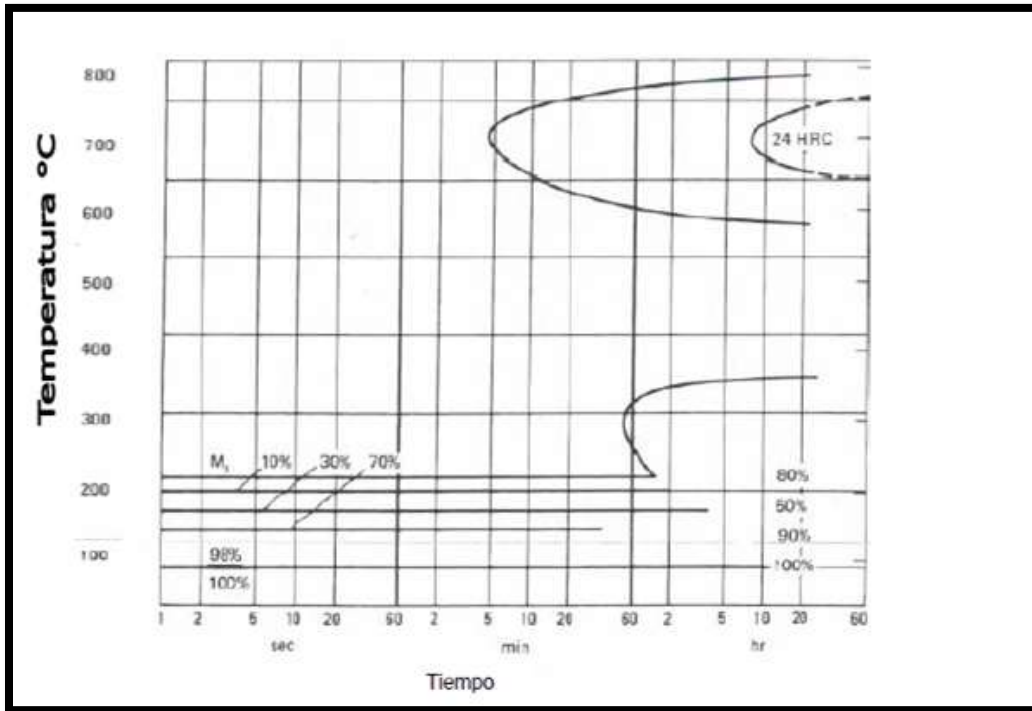


FIG. 2.4. Diagrama TTT para un acero D2 (Tomado del U.S.S. Carilloy Steels, U.S. Steel Corporation)



**CAPITULO IV**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

## CAPITULO IV

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 4.1. SELECCIÓN DE ACERO PARA INVESTIGACIÓN

Para llevar a cabo la investigación se utilizó el acero herramienta D2 de alto Cromo alto Carbono. Con la siguiente composición química:

| Tipo | %C  | %Mn | %Si | %Cr  | %Ni  | %Mo | %V  |
|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
| D2   | 1.5 | 0.5 | 0.4 | 12.0 | 0.26 | 1.1 | 1.0 |

#### 4.2. PREPARACIÓN DE PROBETAS

Se realiza el corte de 4 probetas cubicas de acero D2 con las siguientes dimensiones:

Ancho: 3.5 cm.

Largo: 3.5 cm.

Alto: 2.5 cm.



### 4.3. TRATAMIENTO TÉRMICO

#### ACERO D2

Temperatura de Austenitización: 1010 °C por 30 minutos a esta temperatura

| <b>PROBETA</b> | <b>Temperatura</b> | <b>Tiempo</b> |
|----------------|--------------------|---------------|
| M1             | 300°C              | 1 hora        |
| M2             | 300°C              | 2 horas       |
| M3             | 300°C              | 4 horas       |
| M4             | 300°C              | 8 horas       |

Austemper: Enfriamiento a chorro de aire hasta 300 °C, mantener isotérmicamente la temperatura por 1, 2, 4 y 8 horas y enfriar al aire hasta temperatura ambiente. La estructura resultante es Bainita Superior + Carburos

Después del tratamiento térmico respectivo (Austempering), cada probeta fue sometida a un proceso de desbaste, pulida y ataque con reactivo (FeCl<sub>3</sub>).

Primeramente las probetas fueron sometidas a un proceso de desbaste pasando por lijas con granos cada vez más finos.

Las lijas utilizadas fueron las siguientes:

Iniciando por la lija de 100, 180, 240, 320, 500, 600,1000, 1200 y 1500. Dichas lijas fueron colocadas sobre una superficie plana, en esta operación fue utilizado un disco giratorio. La probeta se apoya sobre la cara a desbastar, frotando en una sola dirección una vez que se observa uniformidad en la superficie dicha cara se gira 90 grados y se repite la operación una vez que se observa la uniformidad en la cara desbastada, se procede a limpiar la probeta con agua para eliminar impurezas.

Esta operación es realizada con cada una de las probetas hasta llegar a la lija de 1500. Una vez concluido la operación de desbaste, las probetas son sometidas a la operación de pulido.



## **PULIDO**

Después de haber pasado por todas las lijas y limpiado perfectamente las probetas pasan por un proceso de pulido, para dicho proceso no apoyamos de una pulidora de disco. Cada probeta pasa por un paño humedecido e impregnado con alúmina al 0.3mm. Hasta obtener una superficie con acabado espejo y libre de rayas o impurezas.

### **4.4. ATAQUE**

Una vez terminado el proceso de pulido y antes de que se realice el ataque se procede a la limpieza de probetas.

Una vez seleccionado el reactivo, se vierte un poco en un recipiente de vidrio en el que se introduce la superficie pulida unos segundos, se detiene el ataque con agua y se observa probeta con microscopio, esta operación se repite hasta que la superficie a examinar en probeta, presente la microestructura.

El tiempo de ataque es variable y solo la observación de la probeta al microscopio nos dirán cuando se concluirán el ataque

La micro estructura de las 4 probetas fue revelada al cabo de 20 segundos de ataque.

Dicha estructura revelada consta básicamente de una matriz de Martensita y partículas de carburo esferoidal.

#### 4.5. MAPEO DE DUREZAS VICKERS

##### PROCEDIMIENTO:

Para obtener la dureza Vickers se presiona contra la superficie de la probeta (cara pulida) un indentador piramidal. Luego de retirada la carga se miden las dos diagonales de la huella resultante.

El valor promedio de las diagonales y el valor de la carga se sustituyen en la fórmula para obtener el valor de la dureza Vickers

FORMULA:

$$HV = \frac{1,8544 \cdot F}{P^2}$$

DONDE

HV= Dureza Vickers

P= promedio de diagonales

F= Carga aplicada (N)

Se ensayaron cuatro probetas de Acero D2 tratadas isotérmicamente, sobre las caras pulidas se realiza mapeo de durezas sometida a 2 kg de carga.

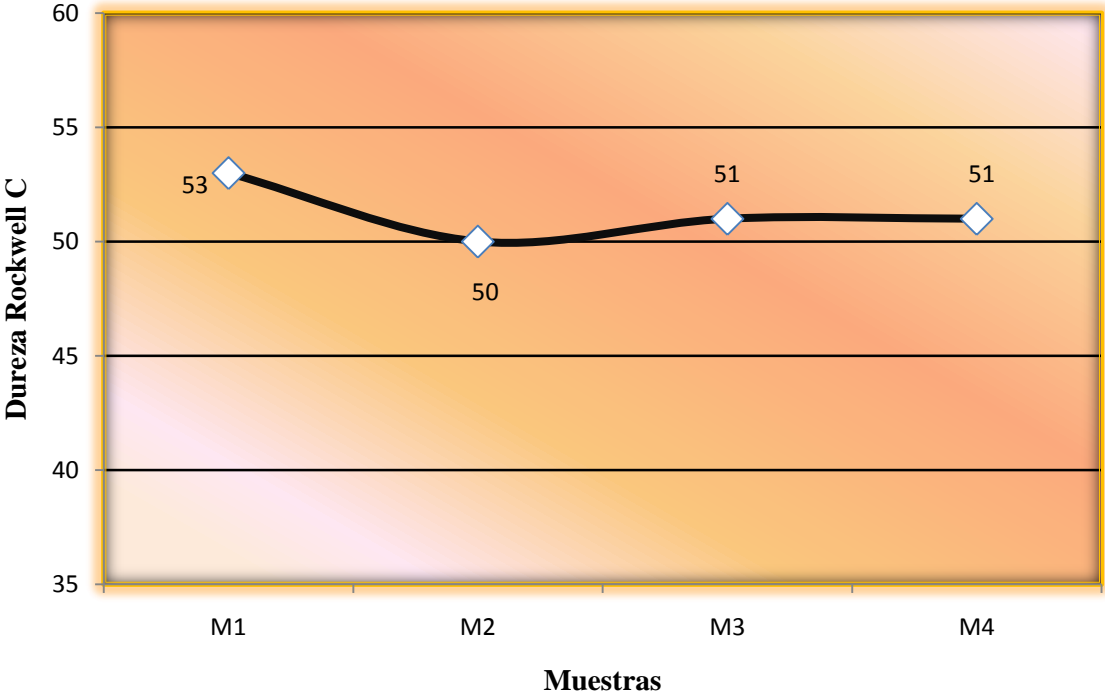
| DUREZAS VICKERS |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|
| M1              | M2     | M3     | M4     |
| 614.49          | 410.95 | 544.91 | 617.49 |
| 513.32          | 544.91 | 544.91 | 513.32 |
| 617.49          | 484.41 | 513.32 | 544.91 |
| 544.91          | 513.32 | 579.5  | 544.91 |
| 617.49          | 544.91 | 544.91 | 544.91 |
| 544.91          | 544.91 | 484.41 | 484.91 |
| 484.41          | 513.32 | 579.5  | 513.32 |
| 544.91          | 544.91 | 544.91 | 513.32 |
| 484.91          | 579.5  | 484.41 | 484.41 |
| 617.49          | 484.91 | 433.46 | 544.91 |

MEDIANTE TABLAS DE CONVERSIÓN SE REALIZAS CAMBIO A DUREZA EN HRc.

| <b>DUREZA HRc</b> |           |           |           |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>M1</b>         | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> |
| <b>56.3</b>       | 41.8      | 51.7      | 56.3      |
| <b>49.8</b>       | 51.7      | 51.7      | 49.8      |
| <b>56.3</b>       | 47.7      | 49.8      | 51.7      |
| <b>51.7</b>       | 49.8      | 54.1      | 51.7      |
| <b>56.3</b>       | 51.7      | 51.7      | 51.7      |
| <b>51.7</b>       | 51.7      | 47.7      | 47.7      |
| <b>47.7</b>       | 51.7      | 54.1      | 49.8      |
| <b>51.7</b>       | 51.7      | 51.7      | 49.8      |
| <b>47.7</b>       | 54.1      | 47.7      | 47.7      |
| <b>56.3</b>       | 47.7      | 43.6      | 51.7      |

| <b>MUESTRA</b>    | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>DUREZA HRc</b> | 53        | 50        | 51        | 51        |
| <b>%</b>          | 100%      | 94.3%     | 96.2%     | 96.2%     |

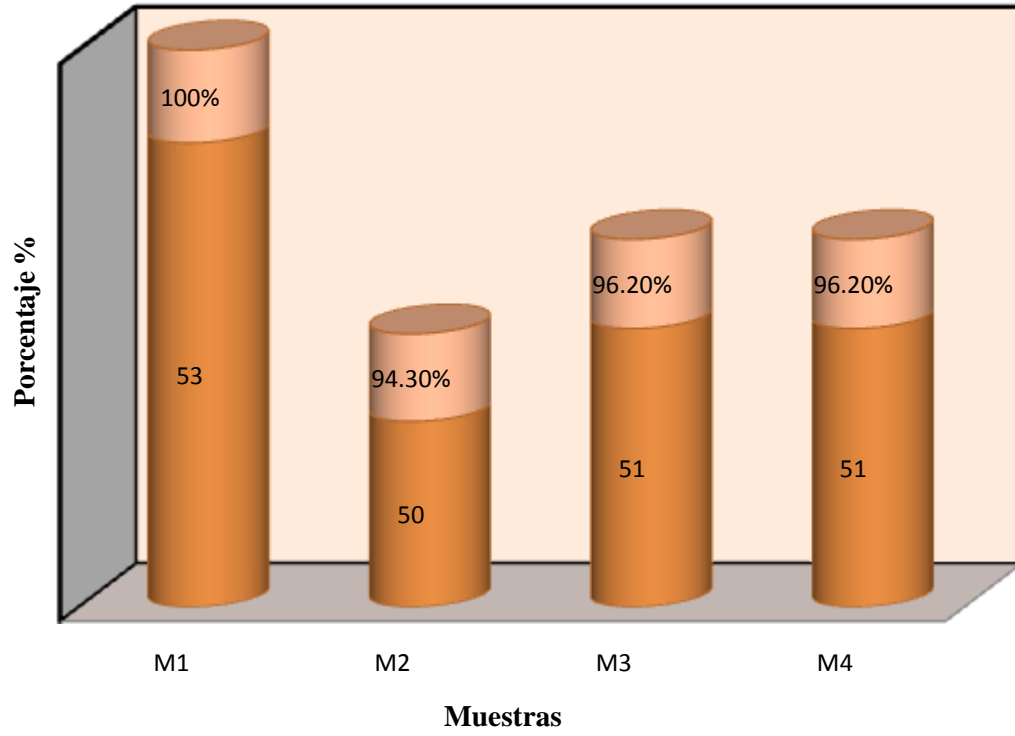
### DUREZA HRc



| <b>MUESTRA</b>          | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>DUREZA HRc</b>       | 53        | 50        | 51        | 51        |
| <b>%</b>                | 100%      | 94.3%     | 96.2%     | 96.2%     |
| <b>AUSTEMPER 300° C</b> | 1 HORA    | 2 HORAS   | 4 HORAS   | 8 HORAS   |

# % DE DUREZA

■ DUREZA HRc ■ %





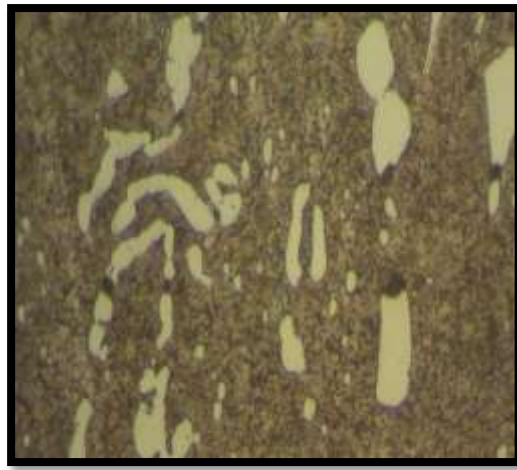
#### 4.6. METALOGRAFÍA DEL ACERO DE HERRAMIENTA TIPO D2

##### MUESTRA M1

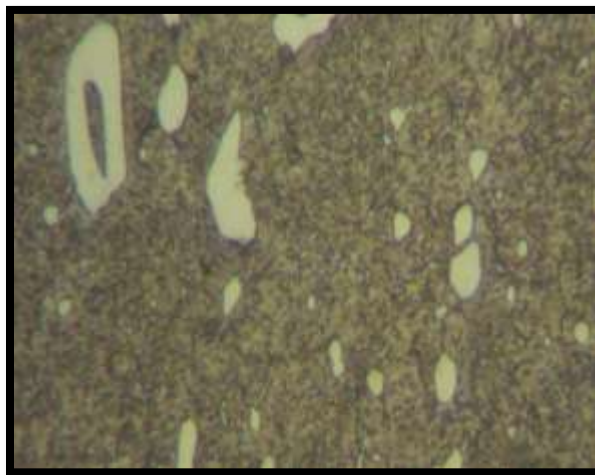
400 AUMENTOS



600 AUMENTOS



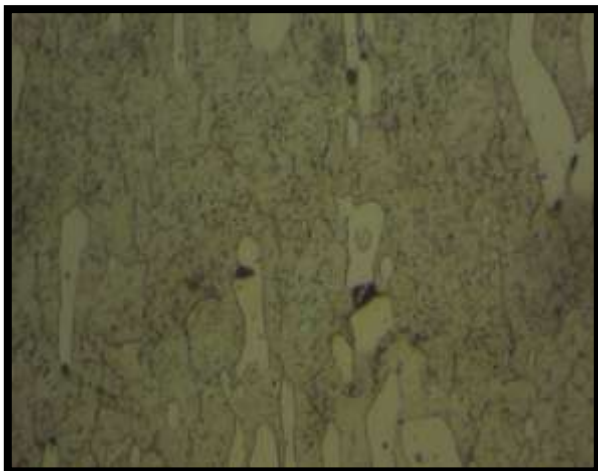
800 AUMENTOS



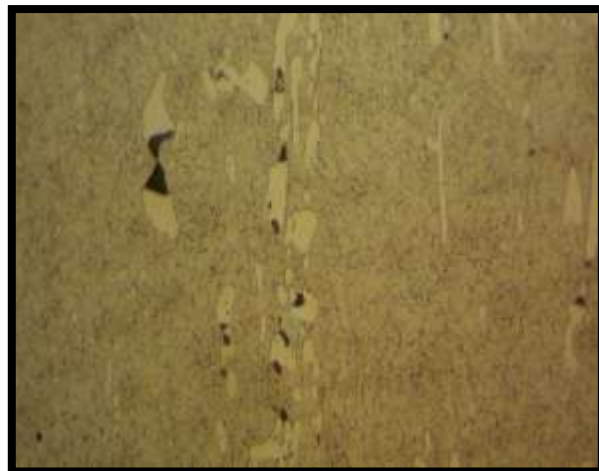
La muestra tratada con Austemper de 300 °C, con tiempo de 1 hora de permanencia, presentó una estructura de Bainita Superior, que posee gran cantidad de carburos globulares pequeños en la matriz de Ferrita, así como la presencia de carburos grandes blancos de diferentes tamaños, algunos casi esféricos, que se pueden considerar del tipo  $M_{23}C_6$ . Se tomaron tres micrografías a los aumentos de 400X, 600X y 800X.

## MUESTRA M2

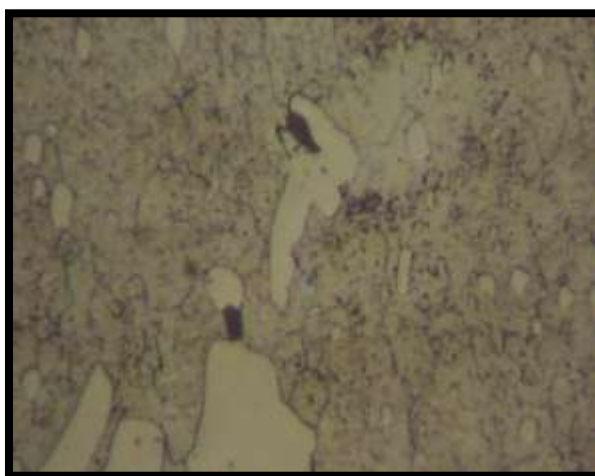
400 AUMENTOS



600 AUMENTOS



800 AUMENTOS



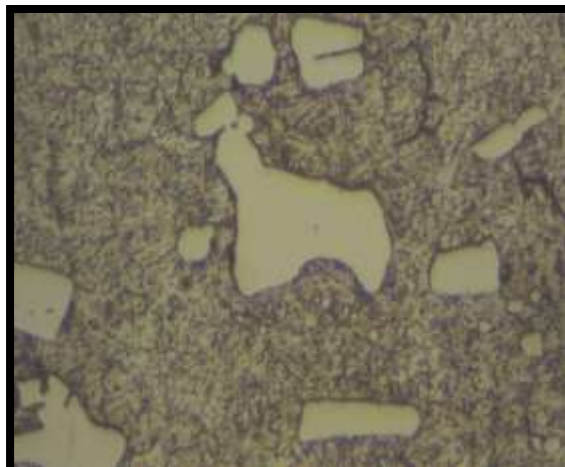
La muestra tratada con Austemper de 300 °C, con tiempo de 2 hora de permanencia, presentó una estructura de Bainita Superior, que posee menor cantidad de carburos pequeños globulares en la matriz de Ferrita, así como la menor presencia de carburos grandes blancos de diferentes tamaños, algunos casi esféricos, que de la muestra M 1, que se pueden considerar del tipo  $M_{23}C_6$ . Se tomaron tres micrografías a los aumentos de 400X, 600X y 800X.

### MUESTRA M3.

400 AUMENTOS



600 AUMENTOS



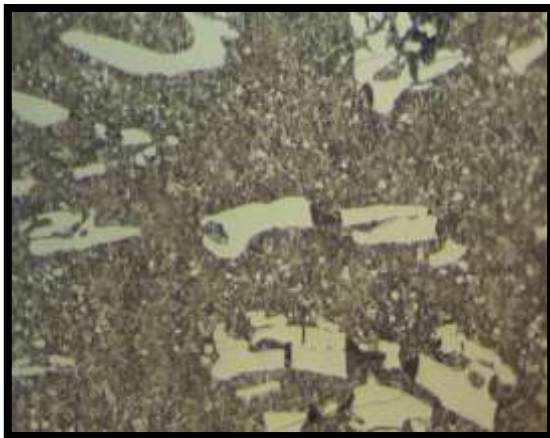
800 AUMENTOS



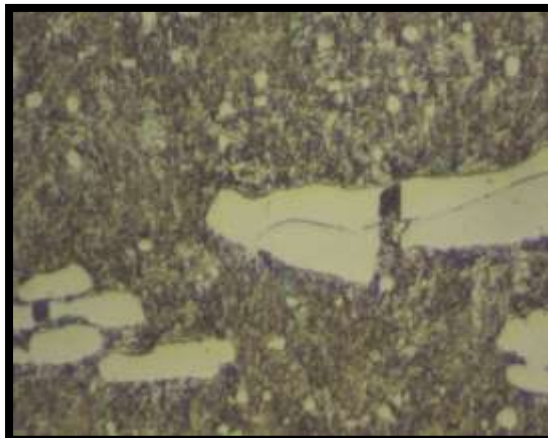
La muestra tratada con Austemper de 300 °C, con tiempo de 4 hora de permanencia, presentó una estructura de Bainita Superior, que posee gran cantidad de carburos pequeños globulares en la matriz de Ferrita, que da la impresión que se están convirtiendo en carburos blancos y de mayor tamaño, así como la menor presencia de carburos grandes blancos de diferentes tamaños, algunos casi esféricos, que se pueden considerar del tipo  $M_{23}C_6$ . Se tomaron tres micrografías a los aumentos de 400X, 600X y 80

## MUESTRA M4.

400 AUMENTOS



600 AUMENTOS



800 AUMENTOS



La muestra tratada con Austemper de 300 °C, con tiempo de 8 hora de permanencia, presentó una estructura de Bainita Superior, que posee gran cantidad de carburos pequeños globulares en la matriz de Ferrita, además de carburos pequeños blancos globulizados, que dan la impresión que se están nucleando en carburos blancos y de mayor tamaño, así como la presencia de carburos grandes blancos de diferentes tamaños, que no tienden a ser esféricos, que se pueden considerar del tipo  $M_{23}C_6$ . Se tomaron tres micrografías a los aumentos de 400X, 600X y 800X.

# **CAPITULO V**

## **DISCUSION DE RESULTADOS**

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. ENSAYO DE DUREZA.

La caracterización de materiales por medio del ensayo de dureza, demuestra que el comportamiento del acero de herramienta tipo D-2 después de ser tratado térmicamente con un tratamiento de Austempering a 300 °C y tiempo variable demostraron que: Las durezas se encontraron entre los 50 y 53 Rockwell “C”, siendo la mayor dureza la de la muestra tratada a 1 hora de permanencia y la de menor dureza la de 2 horas de permanencia, sin embargo, los cambios de las durezas obtenidos se pueden decir que no son relevantes, ya que las variaciones entre la mayor y la menor no son más que de 3 unidades de dureza Rockwell “C”, ya que desde un punto de vista tecnológico las variaciones de un ensayo de dureza es de una variación de tres unidades en la escala de Rockwell “C”. Desde un punto de vista de una relación de porcentajes, la dureza representa pocas variaciones; ya que los porcentajes son bajos entre la mayor dureza y la de menor dureza e intermedias, ya que representaron el 5.7% y 3.8% la de menor dureza y dureza intermedia con respecto a la de mayor dureza, esto se puede considerar como que las variaciones no son significativas.

#### 5.2. METALOGRAFÍA

Es importante destacar que la estructura del acero D-2, tuvo cambios significativos con la variación del tiempo de permanencia del tratamiento de Austempering que se le aplicó, a las muestras que se ensayaron, ya que los cambios que ocurrieron en la estructura de la Bainita superior fueron visibles y detectables, ya que si comparamos los carburos primarios de la Bainita de la Muestra 1 que se pueden considerar del tipo  $M_7C_3$  y la de la muestra 4 existe un crecimiento y modificación de esos carburos ya que pasaron de carburos globulizados negros a carburos globulizados blancos los cuales se puede pensar que sería los carburos secundarios del tipo  $M_{23}C_6$ . Las estructuras de las muestras 2 y 3 dan

la idea de que fueron etapas intermedias de esta transformación de los carburos en las estructuras resultantes de las muestras ensayadas.

Es importante destacar que el tamaño de cristal de la Bainita se conserva muy semejante en todas las muestras que se ensayaron con un tiempo variable, es decir no tuvo ningún crecimiento a pesar de permanecer 8 horas a 300 °C.

Otro punto importante de este trabajo sobre el acero D-2, con el tratamiento de Austempering es que no se encuentra en las estructuras de las muestra ensayas Austenita retenida.

### **5.3. CONCLUSIONES**

La variación de las durezas obtenidas muestra que no es directamente proporcional al tiempo de permanencia del tratamiento al que se sometieron las muestras, ya que la mayor dureza se produce en la primera hora de tratamiento. Haciéndose constante con mayor tiempo de enfriamiento

De lo mostrado anteriormente se puede concluir que el comportamiento del acero D2 tratado isotérmicamente presenta una estructura de carburos globulares primarios del tipo  $M_7C_3$  y secundarios  $M_{23}C_6$ , y esta diferencia de carburos pueden influir en otras propiedades del acero.

De acuerdo con el diagrama TTT del acero D2, en la zona de las Bainitas se presenta inicio de transformación pero no fin de la transformación de Austenita a Bainita. En este estudio se observó que la transformación se presenta en su totalidad en la muestra M1; esto indica que la transformación no tuvo ningún efecto en las siguientes muestras de 2, 4 y 8 horas.

Por lo tanto se puede decir que un acero D2 sometido a un Austempering sufre su transformación crítica en la primera hora de tratamiento (como se muestra en el diagrama TTT); homogenizando su estructura en las siguientes horas de transformación con una leve afectación a la dureza del acero, aunque los carburos presentan una transformación de carburos primarios a secundarios.

Por último, este estudio nos demostró que los aceros de alta aleación, son muy versátiles en cuanto a su estructura y propiedades que se obtienen de ellos.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. "Metal Handbook", Vol. 7, 8ª. Ed., pp112 y 113
2. Grong, O y Matlok, D.K., "Microestructural Development in mild and low alloy Steel Weld Metals international Metals Reviews, Vol. 31, No. 1 pp. 27-48 1986
3. Wilson, R., "Metallurgy and Heat Treatment of Tool Steels", Caps. 1 y 2 McGraw-Hill 1985
4. Krauss, G., "Principles of Heat Treatment of Steel", ASM, 1987
5. Thelning, K, E., "Steel and its Heat Treatment" Butterworths, 1975
6. Goel, N.C., Charkravarty, J.P. y Tragrin K., "The Influence of Starting Microstructure on the Retention and Mechanical Stability of Austenite in an Intercritically annealed low dual phase steel", Metallurgical Transactions A, Vol. 18A, pp. 5-9, 1987.
7. Apraiz, José Barreiro. Tratamientos térmicos de los aceros. Editorial Dossat, S.A. 8ª edición 1981.
8. Grossman, M.A y E. C. Bain. Principios de tratamientos térmicos. "American Society for Metals, Metals Park Ohio. Editorial Blume, 1964.



