

3  
18.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

"EFECTO DEL TRATAMIENTO TERMICO EN LA ESTRUCTURA Y DUREZA EN UN ACERO P5"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERA MECANICA ELECTRICISTA  
P R E S E N T A:

NAYDA ALVAREZ CORONA

ASESOR: M. EN I. HECTOR ENRIQUE CURIEL REYNA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

268143



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 LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Efecto del Tratamiento Térmico En La Estructura y Dureza En Un Acero P5"

que presenta la pasante: Nayda Alvarez Corona

con número de cuenta: 8941844-7 para obtener el TÍTULO de:  
Ingeniera Mecánica Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 18 de Septiembre de 1998

PRESIDENTE

M. en I. Héctor Enrique Oriol Reyna

VOCAL

Ing. José Juan Contreras Espinosa

SECRETARIO

M. en I. Sergio de Moraes Benítez

PRIMER SUPLENTE

Ing. Antonio Trejo Lugo

SEGUNDO SUPLENTE

Ing. Jesús García Lira

Muchos de nosotros tenemos sueños ó ambiciones que esperamos satisfacer algún día. Por mi parte, puede que nunca hubiera conseguido terminar mis estudios de no haber sido por mi familia, muy especialmente por mis padres:

**Epifanio Alvarez**  
**Matilde Corona**

A quienes les agradezco su inquebrantable fe en mí y su apoyo incondicional, dedicándoles está tesis como muestra de que sus esfuerzos no fueron vanos.

**A mis hermanos:**

Martin Alvarez Corona  
América Uribe Aguilar  
Sonia Alvarez Corona  
Jose Luis Alvarez Corona

Para quienes espero que este libro sea un símbolo de un esfuerzo de mucho tiempo, y que vean que con dedicación y empeño todo se puede realizar. Esperando que los motive siempre a lograr lo que se propongan, y agradeciéndoles su apoyo durante tanto tiempo.

**Al ángel de mi guarda:**

Daniel Alberto Alvarez Uribe

Por sus sonrisa que me motivan cada día, aún en los momentos mas difíciles a seguir adelante.

**A mis inseparables amigos:**

**Gail Suastegui Nava**

**Norma Laura Sánchez García**

**Ma. De la Paz Hernández Garay**

**Ma. Guadalupe Ledezma Nuñez**

**Jose Dionisio Calderón Montellano**

**Juan Carlos Velázquez Hernández**

Por el ejemplo de lealtad, apoyo y superación que han tenido conmigo, no sólo en mis estudios, sino también en mi vida. Gracias por todo.

**A la H. "Universidad nacional Autónoma de México**

Por la oportunidad de realizar mis estudios en ella y por su larga trayectoria en proporcionar estudios a numerosos estudiantes.

**Al M. en I. Hector Enrique Curiel Reyna**

Por la paciencia y meticulosidad con la que supervisó la realización de esta tesis, y por su estímulo, cuando esta disto bastante de ser una realidad

**A mi inseparable compañero y amigo:**

**Roberto Armenta Romero**

· Quien con sus palabras y ejemplo de superación, me ha enseñado a no desistir en los momentos difíciles, durante mi trabajo y realización de esta tesis. **Gracias**



## INDICE

CAPITULO I	INTRODUCCION.....	1
CAPITULO II	GENERALIDADES	
	2.1 Teorías y factores de los fenómenos de corrosión.....	6
	2.1.1 Teoría ácida.....	8
	2.1.2 teoría Electroquímica.....	9
	2.1.3 Importancia de la capa de oxido en los fenómenos de corrosión.....	11
	2.1.4 Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.....	11
	2.2 Aceros Inoxidables.....	13
	2.2.1 Aceros Ferriticos Inoxidables.....	14
	2.2.2 Aceros Austeniticos Inoxidables.....	14
	2.2.3 Aceros martensiticos Inoxidables.....	15
	2.3 Tratamientos térmicos.....	16
	2.3.1 Tratamientos térmicos mas usados.....	17
	2.3.2 Desarrollo del Recocido, Temple y Normalizado.....	21
	2.3.3 Tratamientos Isotérmicos.....	34
	2.3.4 Diagrama de Transformación Isotérmica.....	35
	2.3.5 Diferencias entre los Tratamientos térmicos de los aceros al carbón y los aceros inoxidables.....	40
	2.4 Pruebas de Dureza.....	44
	2.4.1 Pruebas de dureza con Lima.....	44
	2.4.2 Pruebas de dureza Mosh.....	45
	2.4.3 Pruebas de dureza Brinell.....	45
	2.4.4 Pruebas de dureza Rockwell.....	47
	2.4.5 Pruebas de dureza superficial Rockwell.....	49

	2.4.6 Prueba de dureza Vickers.....	50
	2.4.7 Prueba de Microdureza.....	51
CAPITULO III	EXPERIMENTACION	
	3.1 Preparación de muestras.....	53
	3.2 Pruebas de Dureza.....	60
	3.3 Resultados Obtenidos.....	61
	3.4 Discusión de resultados.....	68
	3.5 Conclusiones.....	69
	BIBLIOGRAFIA.....	70

## CAPITULO I.

### INTRODUCCION

Los primeros trabajos realizados para la fabricación de los fierros y aceros inoxidable datan del siglo XIX, en aquellas épocas ya se sabia que el fierro aleado con ciertos metales como Cobre, Cromo y Niquel, resistían mejor la oxidación que el fierro ordinario.

En el año de 1865 ya se fabricaban, aunque en pequeñas cantidades, aceros con 0.25 y 0.35% de Niquel que resistían bien la acción de la humedad, aire, etc., pero se trataba de fabricaciones o ensayos a pequeña escala que luego no se continuaron, y no se llego a conocer ni a estudiar bien en aquella época las propiedades de aquellos aceros.

En 1872 Woods y Clark fabricaron algunos aceros con 5% de Cromo que tenían también mayor resistencia a la corrosión que los fierros ordinarios.

Hacia 1892 Hadfield en Sheffield, estudio las propiedades de ciertos aceros aleados con Cromo, dando ya a conocer en sus escritos de aquella época

que el Cromo mejoraba sensiblemente la resistencia a la corrosión de los aceros.

Desde 1904 hasta 1910, Loen Guille y Portevin, realizaron en Francia numerosos estudios con aceros aleados de Cromo y Níquel, determinando microestructuras y tratamientos en muchos de ellos.

Llegaron a fabricar y a estudiar algunos tipos de aceros muy similares a los tipos aceros inoxidable que se emplean en la actualidad, pero en aquella época no llegaron todavía a dedicar especial atención a la aplicación de estos materiales.

El verdadero descubrimiento de los aceros inoxidables y sobre todo la fabricación industrial de estos aceros, no se hizo hasta años anteriores a la primera guerra mundial. En el período comprendido entre 1910 a 1914 se descubrieron en forma independiente en Inglaterra y Alemania los dos primeros tipos de aceros inoxidables.

M. Hará Brealey jefe de los laboratorios de investigación de Thos Firth-Jhon Brown Ltda, de Sheffield, que se dedicaba al estudio de los materiales

para la fabricación de fusibles y cañones para la marina Inglesa, descubrió en 1913 los aceros inoxidable con 13% de Cromo.

Por aquella misma época los Doctores Strauss y Maurer de la Casa Krupp, que se dedicaban en Alemania a los mismos estudios, descubrieron y patentaron en 1912 dos grupos de aceros Cromo - Níquel, inoxidables de bajo contenido de Carbono entre estos aceros los más clásicos y los que mayor aceptación fueron el Acero Krupp VIM con 13% Cr y 1.75 % Ni, sobre todo el acero Krupp V2A con 20% Cr y 7% Ni, que con la denominación de acero inoxidable 18-8 a sido muy utilizado desde entonces para numerosas aplicaciones.

---

También en América Elwood Haynes, que experimentaba en aquellos años el comportamiento de diversas aleaciones de Cromo, Cobalto y Wolframio, que tuvo gran éxito con las aleaciones llamadas Stellite, que daban resultados excelentes para herramientas de corte, se dedicó luego también con éxito al estudio de los aceros inoxidables, patentando en 1915 unos aceros resistentes a la corrosión con 20 A 35% Cr, 0 a 25% W y pequeñas cantidades de C, Si, Ni y P.

La divulgación de las propiedades y composiciones de los aceros inoxidable se retraso hasta los años 1920-1921 por el secreto en que mantuvieron sus trabajos los países de la primera guerra mundial.

Los Aceros inoxidable martensíticos, son materiales que se usan principalmente donde se necesita resistencia mecánica, así como a la corrosión en media temperatura entre 400 °C. Son materiales que contienen Cromo entre 4 y 13%, Carbono de 0.06 a 0.20%, los cuales los hacen de estructura metalúrgica variada y con diferentes propiedades mecánicas de resistencia a la tracción, dureza, etc.

Su sensibilidad al efecto térmico los hacen que sean manejados con cuidado principalmente en los procesos de soldadura por su tenacidad a la fisuración, cuando son sometidos a fenómenos de soldadura se concederá necesario elaborar procedimiento de soldadura para evitar su fisuración o fractura cuando son soldados por cualquier razón.

El acero P5 ó 502 es un acero inoxidable Martensítico que contiene de 4 a 6% de Cromo, 0.10 a 0.20 % de Carbono y 0.40 a 0.65% de Molibdeno

La presente investigación es realizada con el fin de observar que efectos causan diferentes tratamientos térmicos en la estructura y dureza de un acero P5 ó 502.

## CAPITULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1. - TEORIAS Y FACTORES DE LOS FENOMENOS DE CORROSION.

La corrosión del Hierro y Acero es un problema que preocupa a la humanidad, ya que estos materiales, que proporcionan a la sociedad comodidades y bienestar, fallan por su poca resistencia a la acción de ciertos agentes destructores

El nombre de corrosión se da al ataque de carácter químico o electroquímico que experimentan algunos cuerpos por la acción del aire, humedad, atmósferas marinas, ácidos, sales ó por el calentamiento a elevadas temperaturas, etc. Este ataque se inicia siempre en la superficie de los cuerpos y progresa luego hacia el interior.

La corrosión podemos diferenciarla en tres tipos:

- 1.- La producida por el aire húmedo o por el agua mezclada con aire.
- 2.- La producida por líquidos que contienen ácidos ó sales en solución.



### 3.- La producida por la acción de grasas.

Se a comprobado que el aire para que produzca corrosión del Fierro y Aceros hace falta cierta cantidad de humedad, ya que el aire completamente seco no produce corrosión. Las capas de óxidos e hidróxidos que por efecto de corrosión llegan a recubrir al fierro y Aceros no impiden a la corrosión que continúe, por que debido a su gran porosidad son atravesadas fácilmente por el aire y otros oxidantes.

El fenómeno de corrosión en los metales es complejo, ya que la forma de producirse depende de muchos factores, como son: la composición química, temperatura, medio ambiente, grado de humedad, concentración y naturaleza de los líquidos que se ponen en contacto con los metales, presencia de oxígeno u otros elementos oxidantes, naturaleza de la superficie de las piezas, etc.

En los últimos cincuenta años ha sido estudiado este problema y aunque se han desarrollado numerosas teorías (algunas de ellas satisfactorias) para explicarlo, pero al ser tantos los factores que intervienen en él modifican su importancia y características esenciales, siendo muy difícil señalar una forma

general y sencilla de saber cual es la forma de producirse y las principales causas que contribuyen a su desarrollo.

### 2.1.1.- TEORIA ACIDA.

Una de las teorías que sirvió para explicar el fenómeno de Corrosión es la Teoría Acida; esta nos dice que en los fenómenos de corrosión tiene importancia la acción del ácido carbonico, para que se produzca la corrosión de metales hace falta Oxígeno, Agua y ácido Carbonico.

El fenómeno se explica considerando que este ácido reacciona con el fierro formando Carbonato ferroso soluble, que posteriormente se oxida por la acción del Oxígeno que existe en el agua, formándose óxido e hidróxido férrico que forma en la superficie del fierro la cascarilla, regenerándose en esta última reacción el bióxido de carbono y quedando por lo tanto en libertad el radical ácido que puede volver actuar sobre el fierro. Así se explica la forma de cerrarse el ciclo y como cantidades pequeñas de ácido carbonico son suficientes para actuar con gran intensidad en el ataque por corrosión.

Según la Teoría Acida, para que se produzca la corrosión es necesario la presencia de un ácido débil, como el carbonico, además de agua y oxígeno, que

son los elementos que se consideran fundamentales en la teoría ácida electroquímica.

### **2.1.2.- TEORIA ELECTROQUIMICA.**

El Fundamento de la Teoría electroquímica, desarrollada por Evans y su colaboradores, que en la actualidad es la que tiene mas aceptación, se basa en que el fierro en contacto con el agua sufre una acción electroquímica.

Cuando el material se encuentra en un ambiente húmedo o en contacto con algún líquido, por el efecto de la heterogeneidad del material debido a diferencias de composición de unas zonas a otras, por irregularidades en el contenido de carbón o a la distribución de constituyentes microscópicos o macroscópicos; por desigualdades en tratamientos térmicos, o por diferencias en el trabajo, se forman en la superficie pequeñas filas galvánicas. Estas pilas de corrosión estas constituidas por dos electrodos que tienen diferentes características y están sumergidos en un electrolito cuya naturaleza depende del medio ambiente en que se produce el fenómeno, uno de esos electrodos es capaz de funcionar como ánodo y otro como catodo. En las zonas anódicas hay paso de átomos del fierro al agua que dan lugar a la formación de iones de hierro en la fase líquida.

La velocidad de esta reacción depende de las reacciones en el cátodo, por ello el avance de la corrosión está controlado catódicamente.

La reacción es rápida en medios ácidos, pero es lenta en medios alcalinos o neutros. Puede acelerarse por la presencia de Oxígeno disuelto, como se señala en la reacción, que es un proceso llamado despolarización.

La velocidad de la reacción catódica y por lo tanto, la intensidad de corrosión depende de la velocidad de difusión del oxígeno en la superficie del metal. La velocidad de la difusión depende de la concentración del Oxígeno disuelto en el medio acuoso.

Sobre la superficie del metal se deposita óxido férrico formando una capa porosa que no impide que continúe la corrosión por la acción de agentes corrosivos; ya que estos penetran fácilmente a través de ella y alcanzan las capas del metal que están más hacia el interior.

### **2.1.3.- IMPORTANCIA DE LA CAPA DE OXIDO EN LOS FENOMENOS DE CORROSION.**

Aunque la afinidad química de los diferentes metales por el Oxígeno, Azufre y otros elementos es un dato importante, para tener una idea de su posible comportamiento en los fenómenos de corrosión, es también de interés tener en cuenta otros factores.

Al oxidarse los metales se forma sobre la superficie una capa de óxido que los cubre completamente, carácter, naturaleza, espesor y uniformidad de la película tiene también una importancia extraordinaria en los fenómenos de corrosión. Si la capa es compacta, delgada, invisible, esta bien adherida es uniforme y resistente a la acción del medio corrosivo, constituyen generalmente un buen medio de protección y el proceso de corrosión no continua. En cambio si la capa es porosa y gruesa, generalmente no sirve de protección y la corrosión penetra hacia el interior

### **2.1.4.- RESISTENCIA A LA CORROSION DE LOS ACEROS INOXIDABLES.**

En la actualidad se acepta que la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable (que contiene un elevado porcentaje de Cromo), es debida a la formación de un capa superficial de oxido de Cromo muy fina que impide que

el ataque y corrosión a los aceros penetre del exterior hacia el interior. Para que un acero sea inoxidable, es necesario su composición, estado de material y medio de ataque convenientes para que se forme esa capa de óxido protector.

Cuando actúan sólo agentes atmosféricos, la presencia de 12% Cr es suficientes para que se forme una capa óxido que impida la corrosión.

Cuando aumenta la intensidad del ataque, para que se pueda formar la capa de óxido protectora, es necesario mayor porcentaje de Cromo, pero esto ocurre hasta un cierto límite a partir del cual ya no se aumenta la resistencia a la corrosión al aumentar el contenido en Cromo.

La denominación de aceros inoxidables suele dar lugar a muchas confusiones, ya que en realidad ninguno de estos aceros resiste a toda clase de ataques. Unos resisten bien a los ácidos, otros a determinadas soluciones, otros resisten al calor, pero no hay ninguno que resista a todos los casos, por lo tanto, en cada caso hay que estudiarlo por separado y ver cual es el más conveniente. Además, el comportamiento de los aceros inoxidables, lo mismo que para muchos otros aceros, tiene importancia los tratamientos térmicos. Si a un acero inoxidable no se le da el tratamiento térmico adecuado, su resistencia a la corrosión puede quedar muy disminuida. En general conviene obtener

estructuras ferríticas, martensíticas o austeníticas (estructuras de una sola fase) y evitar la presencia de carburos en los aceros que disminuyen la resistencia a la corrosión.

El Cromo ejerce una influencia muy favorable cuando se encuentra en solución en la Martensita, Ferrita o Austenita, pero cuando se encuentra formando carburos no sirve para la resistencia a la corrosión de ellos, siendo con frecuencia los carburos los principales causantes de la corrosión de los aceros inoxidables

## **2. 2.- ACEROS INOXIDABLES.**

Estos aceros tienen aplicaciones resistentes a la corrosión y al calor, la propiedad de resistencia a la corrosión se debe a una película delgada, adherente, estable de óxido de Cromo ó de Óxido de Níquel que protege efectivamente al acero contra muchos medios corrosivos.

La respuesta al tratamiento térmico de los aceros inoxidable y resistentes al calor depende de su composición y se divide en tres grupos generales:

- ACEROS FERRITICOS INOXIDABLES.
- ACEROS AUSTENITICOS INOXIDABLES
- ACEROS MARTENSITICOS INOXIDABLES

### **2.2.1.- ACEROS FERRITICOS INOXIDABLES.**

Este grupo de aceros inoxidable contienen aproximadamente de 14 a 27% de Cromo, como estos aceros tienen bajo contenido de carbono no se pueden endurecer por tratamiento térmico, sino solo moderadamente mediante trabajo en frío, son magnéticos y pueden trabajarse en frío o en caliente, pero alcanza su máxima suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión en la condición de recocido. El recocido es el único tratamiento térmico aplicado a aceros verdaderamente ferríticos.

### **2.2.2.- ACEROS AUSTENITICOS INOXIDABLES.**

Estos son los aceros inoxidable al Cromo – Níquel y al Cromo – Níquel – Manganeso, que resultan austeníticos, son esencialmente no magnéticos en la condición de recocido y no endurecen por tratamiento térmico. El contenido



total de Níquel y Cromo es de por lo menos 23%, se pueden trabajar fácilmente en frío o en caliente, cuando se toman precauciones adecuadas para que en forma rápida endurezcan por trabajo. Son muy resistentes al impacto y difíciles de maquinar, a menos que contengan azufre y selenio

### **2.2.3.- ACEROS MARTENSITICOS INOXIDABLES.**

Los aceros martensíticos inoxidable, son magnéticos, pueden trabajarse en frío sin dificultad, especialmente con bajo contenido de carbono, pueden maquinarse satisfactoriamente, tienen buena tenacidad, gran resistencia a la corrosión atmosférica y algunos agentes químicos, y se trabajan fácilmente en caliente. Alcanzan su óptima resistencia a la corrosión cuando se endurecen desde la temperatura recomendada, pero no son tan buenos como los aceros austeníticos ó ferríticos inoxidable

El proceso de Tratamiento Térmico para los aceros martensíticos es esencialmente el mismo que para los aceros simples al carbono o aceros de baja aleación, en los que la máxima dureza y resistencia depende especialmente del contenido de carbono. La principal diferencia es el que el alto contenido de aleación de los grados de acero inoxidable hace que la transformación sea tan

lenta y la templabilidad tan alta, que la dureza máxima se produce por enfriamiento en aire.

Los aceros aleados con relativamente bajo Cromo, que contienen de 4 a 6% de Cromo (TIPO 502), poseen excelente resistencia a la oxidación y mejor resistencia a la corrosión que los aceros comunes. Estos aceros pueden endurecerse por Templado en aceite o en algunos casos mediante enfriamiento en aire. Se han utilizado ampliamente para equipo de refinerías petroleras, como intercambiadores de calor, cuerpos para válvulas, anillos para bombas y otros accesorios.

### **2.3 TRATAMIENTOS TERMICOS.**

Los tratamientos térmicos tienen por objeto mejorar las propiedades y características de los aceros, que consiste en calentar y mantener la piezas o herramientas de aceros a temperaturas adecuadas, durante un cierto tiempo y luego enfriarlas en condiciones convenientes.

De esta forma se modifica la estructura microscópica de los aceros, se verifican transformaciones físicas y a veces también cambios en la composición del metal.

El tiempo y temperatura son los factores principales que se fijan siempre, de acuerdo con la composición del acero. Forma y tamaño de la pieza y las características que se desean obtener.

### **2.3.1 TRATAMIENTOS TERMICOS MAS USADOS.**

Varios procesos de tratamiento térmico ponen al material en una condición completa ó aproximada de equilibrio. Estos procesos incluyen: Revenido, temple, normalizado, recocido, cementado, nitrurado y temple en baño de sales.

#### **a) RECOCIDO.**

La palabra recocido se usa para describir los procesos de tratamiento térmicos para suavizar y volver a ganar ductilidad al trabajo en frío del material.

Las diferentes clases de recocido se pueden clasificar en tres grupos:

1.- Recocido de austenización completa o regeneración. En este caso el calentamiento se hace a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y luego el material se enfría muy lentamente. Sirve para ablandar el acero y regenerar su estructura.

2.- Recocidos subcríticos. El calentamiento se hace por debajo de temperatura crítica inferior, no teniendo tanta importancia como en el caso anterior la velocidad de enfriamiento, pudiendo incluso el acero al aire sin que se endurezca. Por medio de este tratamiento se eliminan las tensiones internas del material y se aumenta la ductilidad. Se pueden distinguir tres clases de recocidos subcríticos.

- Recocido de ablandamiento. Su principal objetivo es ablandar el acero por un procedimiento rápido y económico: Con este tratamiento no se obtienen las mejores durezas, pero en muchos casos las que se consiguen es suficiente para mecanizar perfectamente los materiales. El proceso consiste en calentar el acero hasta una temperatura que es inferior a la crítica  $A_{c1}$ ,

siendo la más elevada posible y luego enfriar al aire. Las durezas que se obtienen en ciertos aceros de herramienta y construcción de alta aleación, después de este tratamiento, suelen ser algunas veces elevadas para el maquinado.

- Recocido contra la acritud. Se efectúa a temperaturas de 550 °C a 650 °C y tienen por objeto aumentar la ductilidad de los aceros de poco contenido de carbono (menos de 0.40%) estirados en frío. Con el calentamiento a esas temperaturas, se destruye la cristalización alargada de la ferrita, apareciendo nuevos cristales poliédricos más dúctiles que los primitivos, que permite laminar o estirar nuevamente el material sin dificultad. El enfriamiento suele hacerse al aire.
- Recocido globular. Se somete al acero a un calentamiento a temperaturas inferiores pero muy aproximadas a la crítica  $Ac_1$ , enfriándose lentamente en el horno hasta la temperatura deseada

3.- Recocido de austenización incompleta. Son tratamientos que suelen darse a los aceros al carbono ó aleados, de más de 0.50% de carbono,

para ablandarlas y mejorar su maquinabilidad. Consiste en calentamientos prolongados a temperaturas intermedias entre la crítica superior e inferior, seguidos siempre de un enfriamiento lento. El fin que se sigue con estos enfriamientos es obtener la mejor dureza posible y una estructura microscópica favorable para el maquinado de las piezas. Por medio de estos tratamientos se consigue con bastante facilidad en los aceros hipereutectoides que la cementita y carburos de aleación adopten una forma globular.

#### **b) NORMALIZADO.**

Este tratamiento consiste en un calentamiento a temperaturas ligeramente más elevadas que la crítica superior, seguida de un enfriamiento en aire tranquilo. De esta forma, se deja al acero con una estructura y propiedades que arbitrariamente se consideren como normales y características de su composición. Se utiliza para piezas que han sido trabajados en caliente, trabajos en frío, enfriamientos irregulares ó sobre calentamientos y sirve también para destruir defectos de un tratamiento anterior defectuoso. Por medio del normalizado, se eliminan las tensiones internas y se uniformiza el tamaño de grano del acero. Se emplea casi exclusivamente para los aceros de construcción al carbono ó de baja aleación.

### **c) TEMPLE.**

El temple tiene por objetivo endurecer y aumentar la resistencia del acero. Para ello, se calienta en general el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y se enfría más o menos rápidamente (según la composición y tamaño de las piezas) en un medio conveniente, agua, aceite, etc. En los aceros de herramienta el calentamiento para el temple sólo se llega a la austenización incompleta.

### **d) REVENIDO.**

Es un tratamiento que se da a piezas de acero que ha sido previamente templadas. Con este tratamiento, que consiste en un calentamiento a temperaturas inferiores a la crítica  $A_{c1}$ , se disminuye la dureza y la resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dando al acero una dureza o resistencia deseada.

## **2.3.2 DESARROLLO DEL RECOCIDO, TEMPLE Y NORMALIZADO.**

Los procedimientos que se siguen en estos tratamientos tienen entre sí, ciertas semejanzas que conviene destacar conjuntamente.

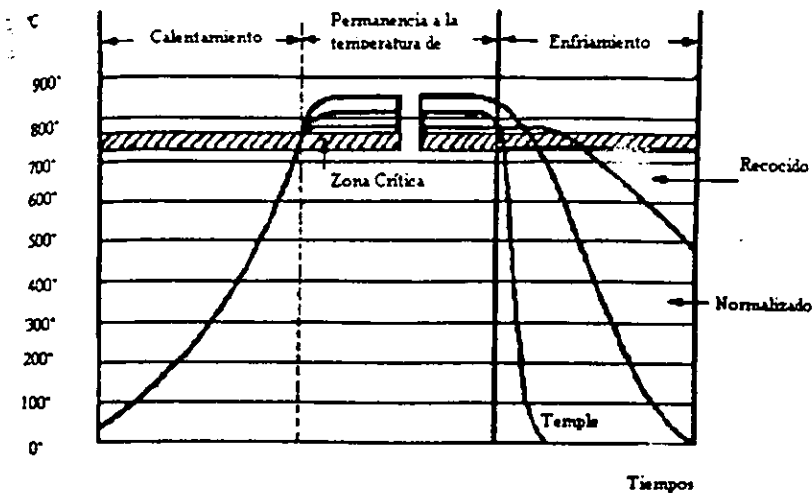
En los tres casos los aceros se calientan a una temperatura superior a la crítica superior y después de un periodo de permanencia a esta temperatura suficiente, para conseguir el estado austenítico de la pieza. El enfriamiento es diferente en los tres casos. En los recocidos se hace muy lentamente dentro del horno, en los temple se realiza en agua, aceite, etc. Y los normalizados enfriándola al aire tranquilo. Se puede decir que la velocidad de enfriamiento es la que se caracteriza y diferencia principalmente estas tres clases de tratamientos térmicos.

Hay que distinguir en estos procesos tres periodos fundamentales:

- Calentamiento
- Temperatura de permanencia
- Enfriamiento

Las dos primeras fases se pueden estudiar a la vez para los tratamientos térmicos, ya que las diferencias que existen son pequeñas. Como se puede ver en la fig. No. 1





**FIG. No. 1 Representación esquemática del recocido de regeneración normalizado y temple de un acero**

**• PRIMER PERIODO: CALENTAMIENTO PARA EL RECOCIDO, TEMPLE Y NORMALIZADO.**

Es la fase de todo tratamiento térmico y aunque algunas veces no se suele dar importancia tiene sin embargo suficiente para dedicarle atención, sobre todo cuando se trata de perfiles y piezas masivas. Las piezas de poco espesor y de formas sencillas se puede introducir directamente en los hornos calientes a altas temperaturas 750° a 850 °C, pero en el caso de las piezas gruesas hay que tomar precauciones que se explicaran a continuación. En las piezas gruesas el calentamiento ha de procurarse que sea lo mas uniformemente

posible y debe llegar hasta el corazón de la pieza. Debe hacerse lentamente para que haya la menor diferencia de temperatura entre el interior y la periferia, pues en caso contrario se puede crear fuertes tensiones internas que pueden dar lugar a grietas o rupturas.

Estas tensiones se crean primero por la desigual dilatación de las zonas calientes y frías de la pieza (periferia y centro) y luego por las contracciones que ocurre al pasar el acero por las zonas de temperaturas críticas.

No es recomendable introducir las piezas frías de más de 200 milímetros de diámetro en hornos cuya temperatura sea superior a 350 °C, por que el acero relativamente frío es poco deformable y no admite deformaciones y las tensiones que crean puede originar grietas.

El paso de la zona crítica no es peligroso cuando toda la pieza tiene la misma temperatura ó las diferencias entre la periferia y el centro son muy pequeñas, como ocurre en los calentamientos lentos. En cambio, cuando las piezas son muy gruesas la periferia alcanza una temperatura antes que el centro, la zona periférica sufre la contracción, mientras el centro que no ha llegado a esa temperatura se esta dilatando todavía y el peligro de las grietas es mayor.

Cuando el calentamiento del acero alcanza aproximadamente los 732 °C, la periferia comienza a transformarse en austenita y cambia la estructura cristalina pasando de fierro alfa a fierro gamma, y el acero que hasta entonces estaba dilatado se contrae mientras dura esa transformación, continuando luego la dilatación.

Los calentamientos rápidos son peligrosos en las piezas gruesas, especialmente en los aceros de alto contenido de carbono, en los que el porcentaje de perlita es grande. En el acero de bajo contenido de carbono puede utilizar mayores velocidades de calentamiento

Para evitar que las tensiones sean peligrosas conviene que en la sección transversal la diferencia de temperatura entre los puntos de un mismo radio situado a 25 mm de distancia, no sea superior a 20 °C, para conseguirlo, la duración del calentamiento desde la temperatura ambiente hasta los 850 °C debe ser superior a media hora por pulgada de diámetro, si es posible conviene que la duración del calentamiento sea de hora por pulgada de sección, como se muestra en la fig. No. 2.

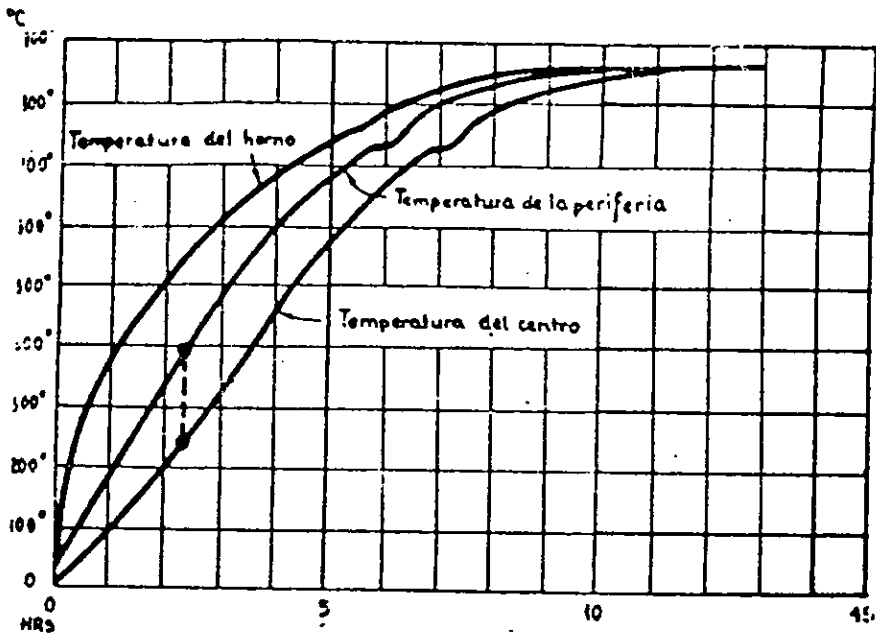


FIG. No. 2. Proceso de calentamiento de un redondo de acero de 500 mm de diámetro

- **SEGUNDO PERIODO: TEMPERATURA DE PERMANENCIA(DURACION DEL CALENTAMIENTO) EN EL RECOCIDO, TEMPLE Y NORMALIZADO.**

Para que toda la masa del acero esté formada por cristales de austenita, hace falta que el acero permanezca a temperatura del tratamiento un cierto tiempo.

La duración del calentamiento de recocido, temple o normalizado, depende de la masa de la pieza, temperatura, velocidad de calentamiento, clase de acero, estado inicial y final del material.

El tiempo de mantenimiento del acero a temperatura de tratamiento comienza cuando la pieza, incluyendo las zonas del interior, hallan alcanzado esa temperatura. Aunque al rebasar el acero las temperaturas  $A_{c3}$  ó  $A_{cm}$ , todo el carbono esta en solución en la austenita, una de las regiones de la austenita tienen más carbono que otras. Entonces el porcentaje de carbono tiende a igualarse en toda la masa, pero esa tendencia puede ser retardada por las segregaciones no metálicas que formen barreras entre los granos, el fósforo y oxígeno que se encuentra en la solución y tienden a repeler al carbono ó por la presencia de elementos aleados como el Cromo, Wolframio, etc., que tienden a formar carburos complejos. Como la difusión del carbono es mucho más rápida a altas temperaturas, para reducir el tiempo de calentamiento podría efectuarse a temperaturas superiores a la crítica, pero como estos calentamientos dan lugar a un crecimiento de los cristales, generalmente se prefiere prolongar un poco su duración y efectuarlo a temperaturas relativamente bajas.

Cuando el material alcanza una temperatura de austenización ocurre que toda la estructura es totalmente de austenita, en los primeros momentos todavía no es completamente homogénea. En los aceros hipoeutectoides hay zonas que anteriormente eran de ferrita y que al ser austenizadas en los primeros

momentos son bajas en carbono y en los aceros hipoeutectoides hay zonas que anteriormente eran de carburos y luego cuando alcanza temperaturas altas tienen en principio alto contenido de carbono. En los aceros hipoeutectoides conviene que transcurra algún tiempo para que el carbono se difunda en las zonas que anteriormente eran ferríticas.

Cuando se calienta con austenización incompleta los aceros hipoeutectoides, la austenita que se encontraba junto a los carburos, tienen generalmente siempre el mismo porcentaje de carbono superior al resto.

Si el calentamiento ha sido rápido, el tiempo de permanencia debe ser grande; en cambio si la primera fase del calentamiento hasta alcanzar la temperatura del tratamiento ha sido larga, el tiempo de permanencia es menor, ya que la penetración del calor ha sido mejor y la última fase del calentamiento puede considerarse como parte de la permanencia a temperatura.

La duración del calentamiento depende también de la clase de tratamiento. En los normalizados se recomienda utilizar permanencias más cortas que en los otros casos. Los recocidos en cambio, suelen ser más prolongados, pues muchas veces hay que conseguir no sólo la formación del

estado austenítico, sino también la difusión y homogeneización de todos los constituyentes, que a veces, sobre todo en los aceros de estructura ó alta aleación exigen tiempo.

En general, para los tratamientos, el tiempo de permanencia oscila entre la media hora y la hora por pulgada de espesor. Para procesos de calentamiento cuya duración es de una hora por pulgada de diámetro, suele utilizarse permanencias a temperaturas de tratamientos de media hora por pulgada y para procesos de cuya duración es media hora por pulgada, permanencias de una hora.

Cuando el calentamiento se hace en baños de sales, la duración total del calentamiento es mucho más corta que en los hornos de mufla, debido a que la transmisión de calor se efectúa más rápidamente. Los tiempos de permanencia total del acero en baño, comienza desde que se introduce en el horno hasta que se saca de él para diversos espesores.

## CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES DE AUSTENITA CON EL CALENTAMIENTO.

Si el acero es mantenido durante bastante tiempo a temperaturas arriba de la crítica superior, los cristales de Austenita tienen tendencia a desarrollarse y aumentar de tamaño. Esta tendencia aumenta cuando más alta sea la temperatura y mayor la duración del calentamiento,, por lo tanto, si se mantiene al acero durante bastante tiempo a temperatura superior a  $A_{cm3}$  ó  $A_{cm}$ , obtendremos cristales bastos de Austenita, y como el tamaño de los cristales del acero al terminar el tratamiento dependen precisamente del tamaño que tuvieron los cristales de Austenita, después de un tratamiento a elevada temperatura, a elevada temperatura obtendremos una estructura tosca y acero de bajas características, en cuanto a resistencia

Como podemos observar en las figuras No. 3 y 4, haciendo la comparación de ambas, se observa la influencia de la temperatura de calentamiento en el tamaño de los cristales en un acero de 0.45% de carbono.





FIG. No. 3 acero a 0.45% de carbono, calentado a 1000 °C y enfriado en horno

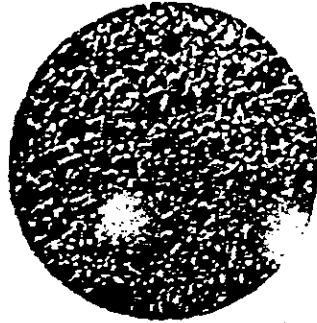


FIG. No. 4 de 0.45% de carbono, calentado a 800 °C y enfriado en horno

Cuando el calentamiento de un acero llega a la zona crítica, se produce siempre recristalización y nacen nuevos cristales de Austenita con el mínimo tamaño que se pueda con esta clase de acero.

Cuando en los procesos de calentamiento se sobrepasa la temperatura crítica  $AC_3$  ó  $AC_m$ , el tamaño de los cristales de Austenita aumenta y su crecimiento depende de la temperatura alcanzada y el tiempo de permanencia.

Por eso cuando por cualquier circunstancia tenemos un acero con gran basto, para afinarlo basta calentarlo a una temperatura lo más justo por encima

de la crítica y luego enfriarlo al aire según la composición. En el enfriamiento al aire los granos de Austenita se transforman en otros más pequeños de ferrita ó cementita y perlita, sorbita o trostita, según la composición.

Cuando los granos son muy grandes, para afinarlos se recomienda hacer varias regeneraciones sucesivas. La primera temperatura bastante superior a la crítica, pues entonces las partículas de l acero tienen más movilidad y es más fácil destruir la basta recristalización primitiva y homogeneizar la masa del acero, luego se hacen otras nuevas regeneraciones a temperaturas más bajas y más próximas a la crítica, que son las que en realidad afinan el grano.

- **TERCER PERIODO: VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO EN EL RECOCIDO DE AUSTENIZACION COMPLETA.**

Estos recocidos se caracterizan por ser Tratamientos de ablandamiento con los que los aceros queda con estructura perlítica. De un modo general se puede decir que si en el recocido se calientan los aceros hasta la austenización completa, después del enfriamiento lento se obtienen estructuras laminares. En esta clase de recocido para comenzar el enfriamiento es necesario que toda la masa del acero este formada por pequeños cristales de Austenita. Luego el enfriamiento debe ser lento para conseguir un acero blando.

Cuando más lenta sea el enfriamiento, más blando queda el material. Efectuando una serie de ensayos con aceros de diversas composiciones, se puede observar que si se aumenta la velocidad de enfriamiento aumenta la dureza y hay una cierta velocidad que no se puede rebasar, por que entonces el acero quedará demasiado duro y el recocido no será posible.

En el enfriamiento, en el momento que la temperatura del acero llega a la crítica  $A_r$ , la Austenita empieza a transformarse en otros constituyentes.

#### **TERMINACION DEL RECOCIDO.**

El acero se saca del horno cuando los cristales de Austenita se han transformado en constituyentes perlíticos, es decir, cuando se ha rebasado el punto  $A_{r1}$  en el enfriamiento.

La temperatura de ese punto crítico depende de las composiciones y velocidades de enfriamiento. Si el enfriamiento se hace con velocidades  $10\text{ }^\circ\text{C}$  por hora, el punto crítico en un acero al carbono de herramientas ocurre a  $700\text{ }^\circ\text{C} - 680\text{ }^\circ\text{C}$ . En cambio, si el enfriamiento se hace con una velocidad de  $20\text{ }^\circ\text{C}$  por hora, la transformación Austenita se hace en menos tiempo, pero se realiza

a temperaturas de 680° - 650 °C, esto fija la temperatura final del recocido, a partir de la cual el acero se podrá sacar aire sin peligro de que se endurezca.

### **2.3.3 TRATAMIENTOS ISOTERMICOS DE LOS ACEROS.**

Reciben este nombre ciertos tratamientos cuando los enfriamientos de las piezas no se hacen de una forma regular y progresiva, sino que se interrumpe ó modifica ciertas temperaturas durante ciertos intervalos, en los que permanece el material a temperatura constante durante un tiempo que depende de la composición del acero, masa y de los resultados que se deseen obtener.

#### **2.3.3.1 AUSTEMPERING O TRANSFORMACION ISOTERMICA DE LA AUSTENITA EN LA ZONA 250 °C - 600°C.**

Este tratamiento consiste en calentar en acero a una temperatura más elevada que la crítica superior y luego enfriarla rápidamente en el plomo ó en sales fundidas a temperaturas comprendidas entre 250° - 600°C, permaneciendo el acero en el baño a esa temperatura durante el tiempo suficiente para que se realice la transformación completa de la austenita en potros constituyentes a temperatura constante. Un tratamiento de está clase, se denomina PATETING, se aplica desde hace mucho tiempo para la fabricación de ciertos alambres de alta resistencia, que se conocen generalmente con nombre de cuerda de piano.

En este caso el enfriamiento se suele hacer en baño de plomo, quedando el acero con una tenacidad y ductilidad excepcionales.

### **2.3.3.2 MARTEMPERING**

Es un tratamiento que se ha empezado a desarrollar más recientemente. Es un temple escalonado donde el material caliente, a una temperatura más elevada que la crítica superior, se enfría en un baño de sales caliente, a temperaturas comprendidas entre los 250° y los 400 °C, permaneciendo en él las piezas durante el tiempo que deba controlarse y que debe ser suficiente la temperatura para que iguale en toda la masa, antes que en cualquier parte se inicie la transformación de la Austenita y luego se enfría al aire. De esta forma se consigue la transformación de toda la masa del acero, se verifica casi al mismo tiempo, evitándose desigualdades y peligrosas dilataciones que ocurren en el temple ordinario, en las transformaciones que en las distintas zonas del material ocurren.

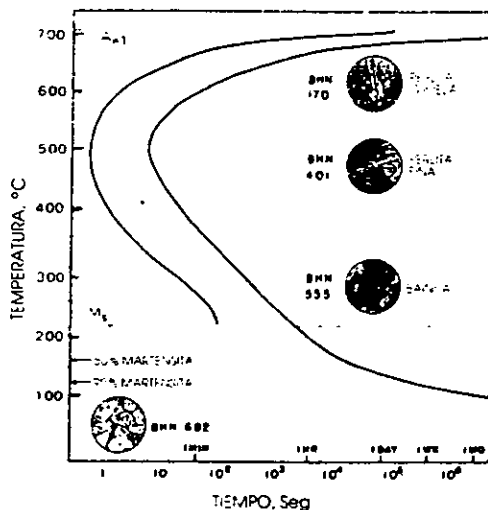
### **2.3.4 DIAGRAMAS DE TRANSFORMACION ISOTERMICAS**

Los procesos de endurecimiento por tratamiento térmico para el acero son tan diferentes de las condiciones de equilibrio que el diagrama de equilibrio tiene valor limitado. Tomando en cuenta esto, se ha desarrollado otro tipo de

curva conocida por diversos nombres diagrama de transformación isotérmica (diagrama T-1), diagrama de temperatura - tiempo - transformación (diagrama T-T-T), ó curva S. Estas curvas se desarrollan por tratamiento laborioso y mediciones de muchas muestras pequeñas algunas veces cien o más para un solo diagrama.

### DIAGRAMAS T-I.

Los Diagramas T-1, como el que se muestra en la Fig. No. 5 se ha construido para la mayoría de los aceros de uso común. Las variaciones de composición, aun las pequeñas causan cambios en las formas y posiciones de las curvas.



**FIG. No. 5.** En esta figura se muestra esquemas superpuestos de la estructura de descomposición de austenita que puede esperarse con tratamientos térmicos a varias temperaturas.

- **BAINITA**

El enfriamiento debajo de la nariz de la curva T-I produce una clase diferente de mezcla de carburo de hierro y ferrita, conocida como BAINITA. La bainita toma la forma mostrada con anterioridad en la fig. No. 5 La bainita puede formarse solamente por tratamiento isotérmico, con la excepción del tratamiento de pocas aleaciones de acero para las cuales los diagramas tiene dos narices, una asociada con la perlita y la otra con la bainita.

- **MARTENSITA.**

En el diagrama T- I puede observarse que la austenita, aun cuando es estable solamente arriba de la temperatura  $A_1$ , puede ser, y en forma general, es superenfriada antes de que ocurra la transformación. De hecho, si puede realizarse el enfriamiento sin tocar la nariz de la curva, la austenita se puede superenfriar a un punto donde la necesidad de cambiar el estado de energía llega a ser tan grande que el cambio a una estructura diferente de celda tendrá lugar sin difusión de carbono.

El resultado es una estructura inestable muy fatigada y distorsionada llamada MARTENSITA, la cual es dura y quebradiza. La martensita se forma sólo durante el enfriamiento y principia en la temperatura marcada  $M_s$  en el diagrama y se completa a la temperatura  $M_f$ . Cualquier austenita que no se ha transformado a temperaturas mas altas, cambiará a martensita en este rango de temperatura. La formación de martensita depende principalmente de la temperatura y el tratamiento isotérmico en este rango dirigirá la curva de enfriamiento a la derecha, lo cual resulta en la formación de martensita y bainita.

La forma y posición de las curvas que representan las temperaturas de transformación y el tiempo, son diferentes para cada composición. Puede afirmarse que en general, el aumento de carbono o de elementos de aleación causará que las líneas se corran hacia la derecha y al mismo tiempo disminuyan las temperaturas  $M_s$  y  $M_f$ . Esto significa que con aceros al más alto carbono y con la mayoría de los aceros de aleaciones, esta disponible más tiempo para el enfriamiento, después de la nariz de la curva en un intento de producir martensita, pero que la temperatura debe llevarse a un nivel más bajo antes de que ocurra la formación de esta estructura



En la fig. No. 6 se muestra la relación de las curvas de enfriamiento para algunos de los procedimientos estándar de tratamiento térmico. De izquierda a derecha el tiempo de inicio de la descomposición es el tiempo, del encuentro de la curva de enfriamiento con la primera curva del diagrama y la transformación completa ocurre al tiempo cuando se alcanza la segunda curva.

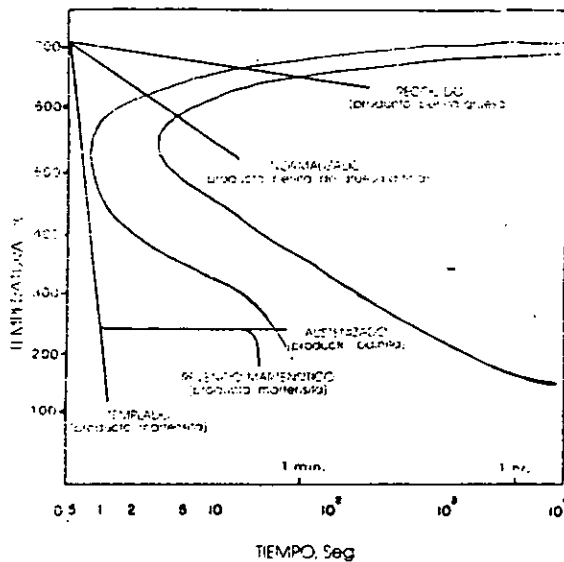


FIG. No. 6 Relaciones de los procesos comerciales con un diagrama TTT típico.

Si la curva de enfriamiento pasa a través del diagrama a una temperatura más baja que la requerida para el recocido, pero permanece todavía arriba de la nariz o pierna, el producto será todavía perlita, pero estará hecha de placas más

delgadas o laminaciones que exhiben alta dureza y resistencia. Los resultados son característicos del tratamiento de normalización.

Después de recientes estudios realizados sobre la curva "S" de los aceros, se han desarrollado muchos de estos tratamientos que se usan en la actualidad para el temple de troqueles, herramientas, engranes, muelles, etc.

De esta forma se obtiene una gran tenacidad, muy pequeñas deformaciones y se eliminan el peligro de rupturas o grietas. A continuación se hace mención de algunos de estos tratamientos.

### **2.3.5 DIFERENCIAS ENTRE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS AL CARBON Y LOS ACEROS INOXIDABLES.**

Cuando la característica más importante en tener en cuenta en los aceros al carbón es la maquinabilidad, es decir, interesa mecanizar más fácilmente el material, se recomienda en general en los aceros de menos de 0.35% de carbono normalizado, en los aceros de más de 0.45% de carbono reconocer con austenización incompleta y enfriar lentamente, los aceros de 0.35 a 0.45% de carbono se maquinan casi igual recocidos o normalizados. Los

aceros de menos de 0.35% de carbono, se maquinan en recocidos que en bruto de la laminación o normalizados. Las mayores velocidades de corte se consiguen con los aceros de fácil maquinabilidad al Azufre y Plomo.

El acero Inoxidable con 12% a 14% de cromo y 0.35 de carbono y el inoxidable con 12 % a 14% de cromo y 0.08 de carbono, que son los aceros más típicos de este grupo, se caracterizan, por admitir los tratamientos térmicos, temple y revenido en forma casi análoga a los aceros al carbón. Sin embargo, las temperaturas para el temple y revenido difieren bastante de los aceros ordinarios. Para conseguir un temple eficaz de los aceros inoxidables, hay que calentar a 950 °C o sea 200 °C más aproximadamente de los aceros al carbono de herramientas y no necesitan ser enfriados rápidamente. Son los aceros de gran templabilidad, por lo que el temple se consigue con un simple enfriamiento al aire o en aceite. Si las piezas no son muy grandes, el enfriamiento puede realizarse simplemente al aire. Si se desea asegurar el temple puede enfriarse en aceite.

Hay otra diferencia importante en los tratamientos térmicos de los aceros a carbono y de los inoxidables. En los aceros ordinarios la transmisión de calor se hace más fácilmente que en los inoxidables y para alcanzar el centro de las

piezas de los aceros inoxidable a una temperatura determinada, necesita aproximadamente un 50% más de tiempo que con los aceros al carbón, debido a que la conductividad térmica de los aceros inoxidable es baja. Además, en los aceros ordinarios la austenización del material se realiza con relativa rapidez en poco tiempo. Al calentar los aceros inoxidable sobre los 800 °C se forma austenita y comienza a disolverse los carburos de cromo y fierro progresivamente, pero la disolución total de todos los carburos en la austenita no se realiza hasta los 950 °C ó 1050 °C. Esta diferencia se ve en la fig. No .7, en la que se señalan las durezas con las que queda el material después de realizar el temple a diferentes temperaturas.

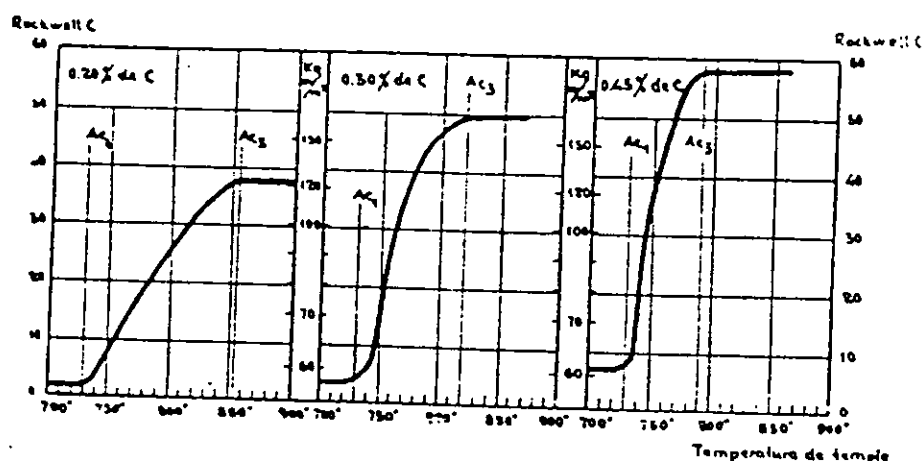


FIG. No. 7 influencia de la temperatura de temple en la dureza de tres aceros

Otra diferencia con los aceros al carbono ordinarios, es que en éstos la temperatura de temple varia mucho con el porcentaje de carbono, oscilando desde 750 °C para 0.90% C hasta 910 °C para 0 – 10% DC, en los aceros inoxidables 0.10%C hay que rebasar los 950°C, para que el temple sea correcto.

También existe otra diferencia notable en el revenido en los aceros al Carbono se sabe que la dureza obtenida en el temple puede reducirse progresivamente aumentando la temperatura de revenido. En cambio, en lo los aceros inoxidables no ocurre eso. Al revenir a temperaturas crecientes se ve que al sobrepasar los 550°C la dureza no disminuye, lo cual quiere decir que estos aceros mantienen la dureza en caliente, esto es una ventaja para numerosas aplicaciones.

Para el acero inoxidable se suele emplear un revenido a 350 °C cuando interesa la máxima inoxidabilidad y a 700 °C cuando interesa la máxima tenacidad. en este caso el acero es menos inoxidable que cuando el revenido se hace a baja temperatura.

## **2.4 PRUEBAS DE DUREZA.**

Las pruebas usadas con mayor frecuencia para determinar las propiedades del material son las pruebas de dureza. Con suficiente conocimiento de la composición del material y de los procesos previos, las pruebas de dureza pueden usarse como una medida indirecta de propiedades enteramente diferentes a la de dureza.

La mayoría de las pruebas de dureza dan como resultado alguna clase de medición de la capacidad de un material para resistir penetración en el material cercano a la superficie. La penetración de material con cualquier clase de dispositivo de indentación requiere el uso de fuerza e incluye el flujo plástico del material probado.

### **2.4.1 PRUEBA DE DUREZA CON LIMA.**

Uno de los métodos para medir la dureza que tiene uso práctico en el trabajo de los metales es la prueba con lima. Se pueden usar limas de prueba estándar para calibrar rápidamente la dureza aproximada de un material, y aunque no es muy precisa, puede usarse en muchas situaciones en los talleres.

### **2.4.2 PRUEBAS DE DUREZA MOSH.**

Uno de los primeros sistemas normalizados de medir dureza es el uso de la escala Mohs de dureza, la cual especifica diez minerales estándar arreglados en el orden de su dureza creciente y numerados con su posición, que va desde el más suave con el número 1, y se aprecia de la siguiente manera:

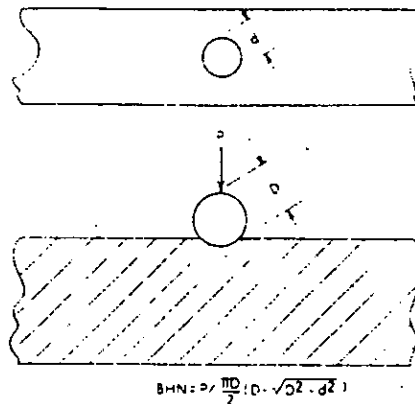
<b>1.- TALCO</b>	<b>6.- ORTHOCLASA</b>
<b>2.- YESO</b>	<b>7.- CUARZO</b>
<b>3.- CALCITA</b>	<b>8.- TOPACIO</b>
<b>4.- FLUORITA</b>	<b>9.- CORINDON</b>
<b>5.- APATITA</b>	<b>10.- DIAMANTE</b>

La escala Mohs de dureza tiene muy poco valor para las pruebas de dureza de los metales, pero su uso es generalizado en el campo de la mineralogía.

### **2.4.3 PRUEBAS DE DUREZA BRINELL**

Este Método consiste en causar una indentación o impresión en el material que se prueba con una bola de acero endurecido, con una carga

definida y calcular un número Brinell de dureza con el tamaño de huella. El indentador para medir dureza Brinell se muestra en la fig. No. 8.



**FIG. No. 8. Probador de dureza Brinell**

El rango de dureza probado con más frecuencia es la que imprime una esfera de 10 milímetros de diámetro en el material, bajo una carga de 3,000 kilogramos por 10 segundos para verificar lo materiales no ferrosos.

El valor numérico Brinell en dureza se obtiene al dividir la carga en kilogramos por el área de la impresión esférica en milímetros cuadrados. En la actualidad y en la práctica, el diámetro promedio de la impresión usualmente se lee en el microscopio de medición y el número de dureza Brinell se determina de una tabla.

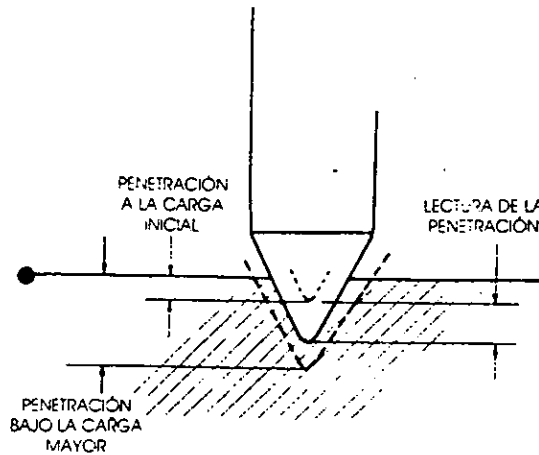


El método de dureza Brinell tiene como ventaja en comparación con la mayoría de otros métodos de medición, el determinar un valor de la dureza en un área relativamente grande, reduciendo entonces las inconsistencias causadas por defectos, imperfecciones y falta de homogeneidad en el material. Con los aceros simples al carbono y de baja aleación, la relación entre la resistencia a la tensión y la dureza Brinell es tan consistente en el rango medio de dureza que la resistencia a la tensión del acero puede aproximarse si se multiplica el número de dureza Brinell (BHN) por 500. La principal desventaja del método Brinell es que la máquina para suministrar la carga para imprimir la bola en el material con frecuencia es estorbosa y no siempre se puede realizarla impresión donde se requiere, la bola no puede imprimirse en materiales muy delgados y en muestras extremadamente pequeñas.

#### **2.4.4 PRUEBAS DE DUREZA ROCKWELL**

Es también una prueba de impresión, pero el número de dureza se determina por una medición diferencial de la profundidad que puede leerse directamente en un indicador de carátula de la máquina que se usa para poner la carga. Para obtener una lectura de dureza, primeramente el equipo utiliza una carga menor de 10 kilogramos en el penetrador. Esto reduce el efecto de polvo,

película de aceite, etc., dependiendo del tipo de penetrador y la escala que se use, entonces se impone una carga mayor de 60, 100 ó 150 kilogramos para forzar al penetrador en el material de trabajo. Una vez que el penetrador se ha asentado en su completa profundidad la carga mayor se elimina. La profundidad diferencial permanente entre las cargas menor a mayor se lee directamente como un número de dureza Rockwell. La siguiente fig. No. 9 nos muestra el probador de dureza Rockwell.



**FIG. No. 9. Probador de dureza rockwell**

Casi todas las pruebas de dureza con el equipo Rockwell se efectúan con dos penetradores estándar. El que se usa para materiales suaves es una esfera de acero endurecido de 1/16 de pulgada de diámetro, soportada en un mandril

especial que permite reemplazar con facilidad la esfera si llega a dañarse. En la siguiente tabla se muestran las relaciones entre la designación de la escala, las cargas y los penetradores.

ESCALA	CARGA KILOGRAMOS	PENETRADOR
A	60	BRALE
B	100	BOLA 1/16"
C	150	BRALE
D	100	BRALE
F	60	BOLA 1/16"
G	50	BOLA 1/16"

El penetrador usado y el tamaño de la carga de impresión en la prueba del material se definen por una letra que es parte de la lectura Rockwell. La letra designa las condiciones de la prueba es una parte importante de la notación de la dureza, porque el número sólo puede representar varias condiciones diferentes de dureza.

#### **2.4.5 PRUEBAS DE DUREZA SUPERFICIAL ROCKWELL.**

Este es muy similar al de dureza Rockwell, sólo que este está diseñado para usarse cuando solamente se permite una impresión de poca profundidad o cuando el principal objetivo es la medición de la dureza del material muy cercano a la superficie. El probador de dureza usa los mismos penetradores, excepto que el Brale es de más alta precisión y se denomina como Brale N. Las

cargas que se utilizan son más ligeras. La siguiente tabla nos muestra las condiciones para determinar la dureza superficial Rockwell.

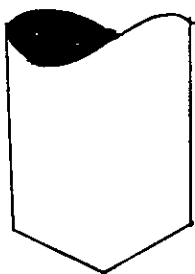
ESCALA	CARGA KILOGRAMOS	PENETRADOR
15N	15	N BRALE
30N	30	N BRALE
45N	45	N BRALE
15T	15	BOLA DE 1/16"
30T	30	BOLA DE 1/16"
45T	45	BOLA DE 1/16"

Como en el caso anterior, la indicación de la escala debe usarse como un prefijo al número de dureza que se lee en la carátula.

#### 2.4.6 PRUEBA DE DUREZA VICKERS.

El probador de dureza vickers opera en el mismo principio que el instrumento Brinell, pero se usa un penetrador de punta de pirámide. La impresión que hace el penetrador se mide con la exactitud colocando un microscopio en posición sin mover la pieza probada en la máquina. Como en el método Brinell, el número Vickers de dureza es la razón de la fuerza impuesta en el penetrador con respecto al área de la impresión piramidal. En el rango bajo de dureza, debajo de Brinell 300, los números de dureza Vickers y Brinell son casi idénticos, pero arriba de este rango se separa conforme aumenta la

dureza, sobre todo debido a la distorsión de la bola de acero que se usa para la prueba Brinell cuando se fuerza contra los materiales más duros. La fig. No. 10 nos muestra el probador de dureza Vicker.



**FIG. No. 10. Probador de dureza vickers**

#### **2.4.7 MICRODUREZA.**

Se han desarrollado un número de máquinas especiales para determinar la "microdureza". Una de las piezas de equipo de uso común de este tipo, es el probador de microdureza TUKON. Por lo general la máquina está equipada con penetrador de diamante de forma alargada. Las mediciones microscópicas de la

impresión proporcionan información que puede convertirse a los números KNOOP. Con frecuencia las mediciones de dureza KNOOP no se pueden comparar directamente con las mediciones Vickers o Brinell, porque la impresión alargada se afecta más bien intensamente por las propiedades direccionales del material que se está probando.

En general, la prueba de microdureza se realiza en superficies muy pulidas y, en muchos casos, para obtener reproducción constante es necesario atacar la superficie para revelar la estructura constituyente a fin de localizar adecuadamente la impresión

## CAPITULO III

### EXPERIMENTACION

#### 3. 1. PREPARACION DE MUESTRAS.

Se toma un pedazo de ACERO 502 del cual se cortan seis piezas, las cuales serán las probetas del experimento. Estas probetas fueron tratadas de la siguiente manera:

Todas las probetas se llevaron a temperatura de austenitización de 890°C con un tiempo de permanencia de 1 hora y posteriormente se enfriaron de la siguiente forma:

**Probeta 1.-** Enfriamiento de Temple en aceite a temperatura ambiente.

**Probeta 2.-** Enfriamiento de Normalizado al aire tranquilo hasta temperatura ambiente.

**Probeta 3.-** Enfriamiento en el horno hasta temperatura ambiente durante 24 horas.

**Probeta 4.-** Enfriamiento en aceite hasta 100 °C con un tiempo de permanencia de 1 hora y posteriormente a un revenido a 180 °C por una hora.

**Probeta 5.-** Enfriamiento en aceite a 100 °C con un tiempo de permanencia de 1 hora y posteriormente a un revenido de 250 °C por una hora.

**Probeta 6.-** Enfriamiento a 400 °C con un tiempo de permanencia de 1 hora y posterior enfriamiento al aire.

Las probetas 1,2 y 3 fueron llevadas sin interrupciones a la zona de Austenita mas carburos mas martensitas, fig. No. 11. La diferencia que existe entre estas probetas, se aprecia en los granos que se forman en ellas, los cuales algunos son mas bastos que otras, esto depende del tratamiento, que se le halla realizado.

La probeta No. 4, después de llegar arriba de  $Ac_3$  se enfrió en aceite que se encontraba a una temperatura de 100°C, la cual se mantuvo por un tiempo de 1 hora. Esta probeta se mantuvo en la zona de austenita, mas carburos, mas martensita. Al transcurrir este tiempo se le realizo un revenido a una temperatura de 180°C, lo cual nos indica que el revenido liberó esfuerzos o tensiones que pudo ocasionar el tratamiento anterior, fig. No. 12



En la probeta No. 5, después de llegar a su temperatura arriba de  $A_{c3}$ , se enfrió en aceite que se encontraba a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ , manteniendo dicha temperatura en un lapso de 1 hora, posteriormente se realizó un revenido a una temperatura de  $250^{\circ}\text{C}$  por una hora, este revenido no alcanzó a rebasar la línea  $M_s$  (Martensita), por lo tanto se vuelven a liberar tensiones internas que el tratamiento térmico provocó. Fig. No. 13

Probeta No. 6. Después de que llego arriba de  $A_{c3}$ , se enfrio a  $400^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de 1 hora, lo cual nos indica que obtendremos un a estructura de bainita con Austenita mas carburos, posteriormente al ser enfriado se obtienen granos regulares con las características antes mencionadas. fig. No.

14

Una vez tratadas térmicamente cada una de las probetas, se procedió al corte de las muestras las cuales se desbastaron y pulieron perfectamente para poder realizar pruebas de dureza y posteriormente realizar el estudio metalografico.

# Z 15 CD 5-05

## Composition type

C %	Cr %	Mn %	Mn %
0,10/0,20	4/6	0,40/0,65	0,30/0,60

Austringé à 900 °C 30 mn

Grossur du grain : 9

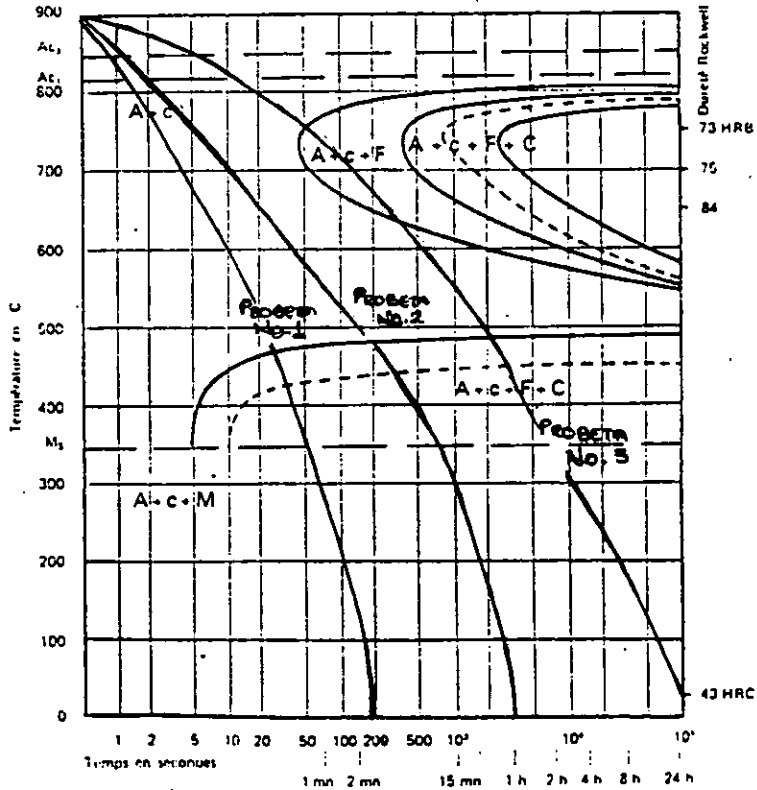


FIG. No. 11. Diagrama de transformación de las probetas 1, 2 y 3



# Z 15 CD 5-05

Composition type

C %	Cr %	Mn %	Mn %
0,10/0,20	4/6	0,40/0,55	0,30/0,60

Austemité à 500°C 30 mn

Grosueur du grain : 9

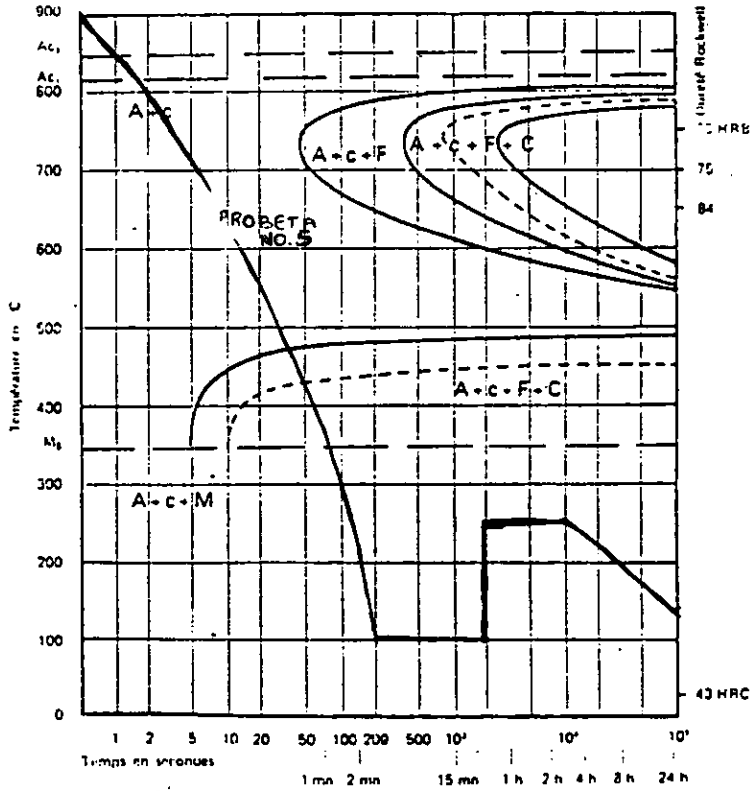


FIG. No. 13. Diagrama de transformación de la probeta No. 5

# Z 15 CD 5-05

Composition type

C %	Cr %	Mo %	Mn %
0,10/0,20	4/6	0,40/0,65	0,30/0,60

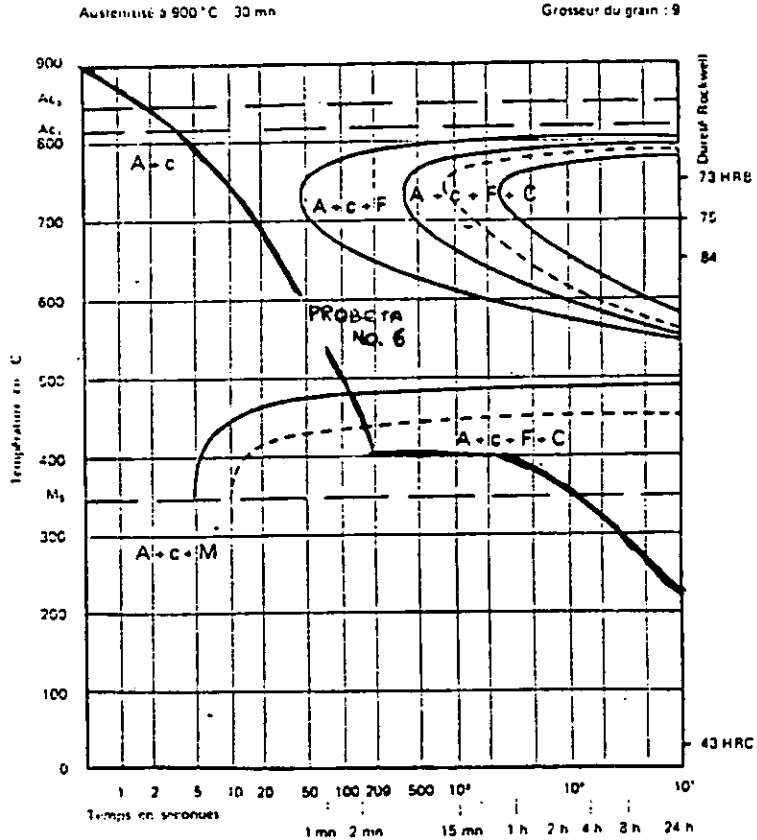


FIG. No. 14. Diagrama de transformación de la probeta No. 6

### 3. 2.- PRUEBAS DE DUREZA.

A cada una de las muestras se les realizó la Prueba de Dureza Rockwell, tomando en cada una de ellas 10 mediciones. Los resultados obtenidos se observan en la siguiente tabla.

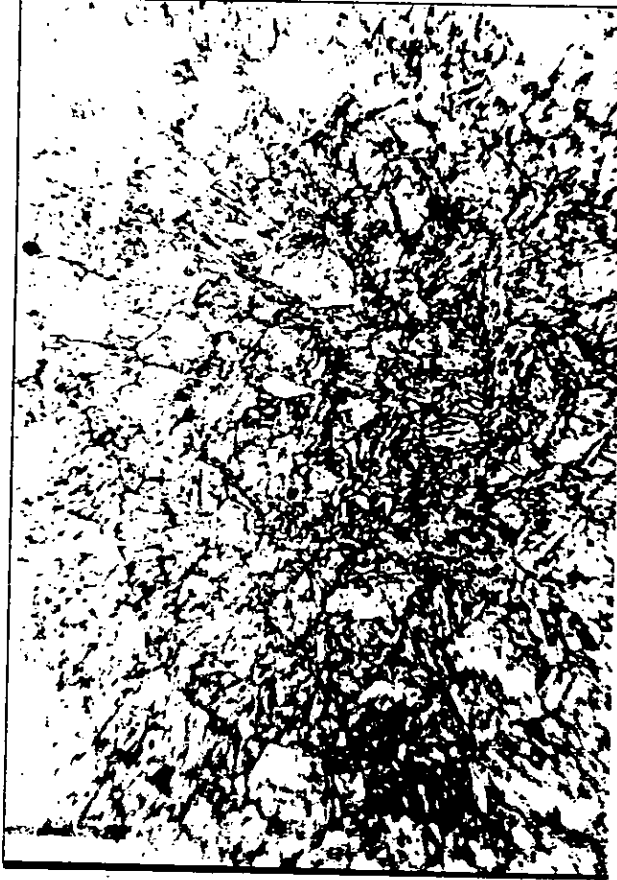
MUESTRA	DUREZA ROCKWELL "A"									
No. 1 TEMPLE	68.5	69.5	69.0	69.5	69.5	69.5	70.0	70.5	70.0	70.5
No. 2 NORMALIZADO	69.0	69.0	71.0	70.0	68.0	70.0	70.0	70.0	69.5	69.5
No.3 RECOCIDO	65.0	66.0	66.0	66.0	65.5	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
No.4 REVENIDO I	67.5	67.5	67.0	67.5	67.0	67.5	67.0	67.0	67.0	67.5
No. 5 REVENIDO II	69.	67.0	68.0	67.5	68.0	69.5	67.0	67.0	69.0	70.0
No. 6 REVENIDO III	70.0	71.0	71.0	70.0	71.0	71.0	70.0	70.5	70.5	71.0

### 3.3 RESULTADOS OBTENIDOS

De la tabla anterior obtenemos la dureza promedio por muestra, obteniendo los siguientes resultados:

NUMERO DE MUESTRA	DUREZA EN ROCKWELL "A"
No. 1- TEMPLE	69.65
No. 2 NORMALIZADO	69.60
No. 3 RECOCIDO	65.85
No. 4 REVENIDO I	67.25
No. 5 REVENIDO II	68.20
No. 6 REVENIDO III	70.60

Los resultados metalograficos de las muestras las podemos observar en las fotografias que a continuación se muestran.

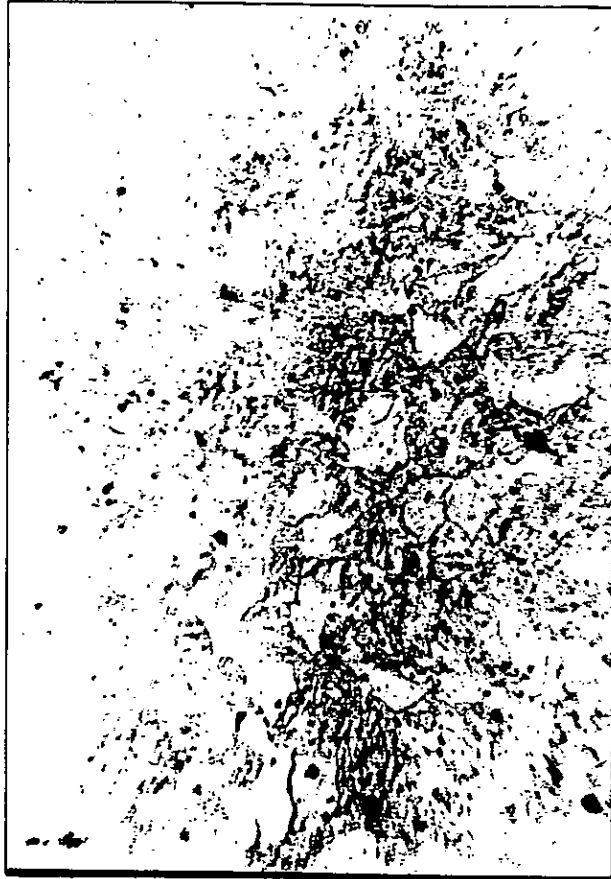


**Fotografía 1. La presente fotografía nos muestra la presencia de Martensita con Austenita retenida y carburos de Cromo 400 X**





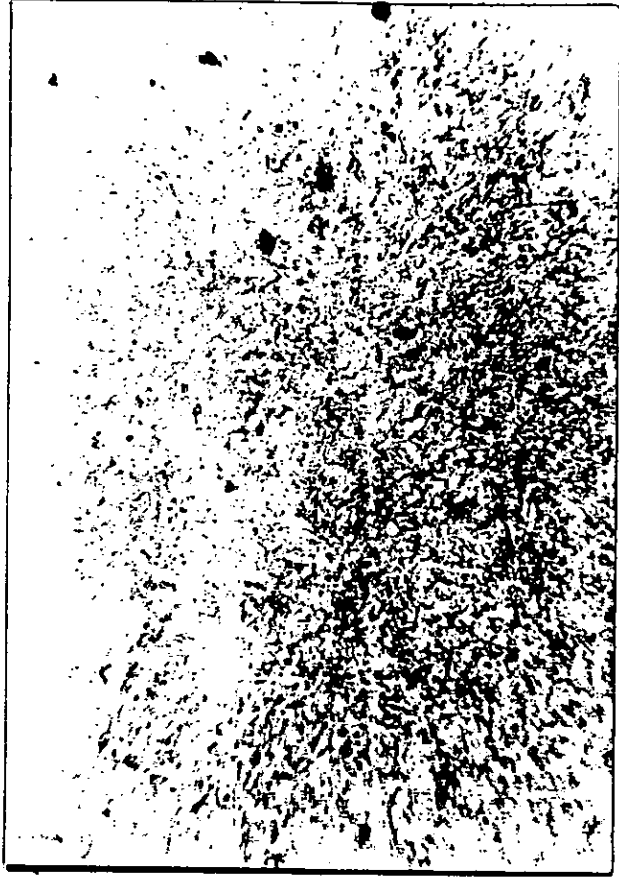
**Fotografía 2.** Esta fotografía nos muestra la presencia de cristales de Ferrita, perlita y Bainita con la presencia de escasos carburos de Cromo. 400 X.



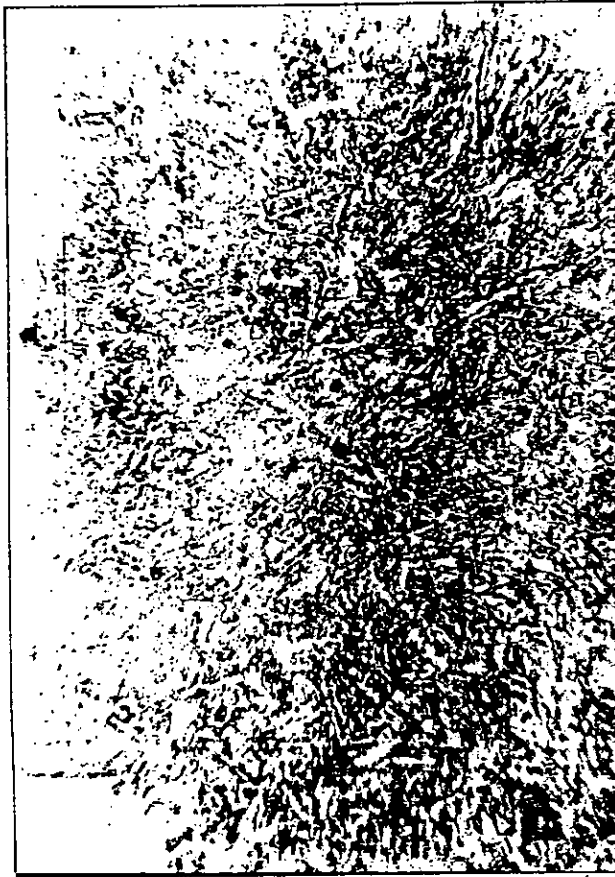
**Fotografía 3.** Esta Fotografía nos muestra la presencia de cristales de Ferrita y Perlita fina, con la presencia de escasos carburos de Cromo 400X



**Fotografía 4.** La fotografía nos muestra la presencia de Bainita y Austenita retenida con escasos carburos de Cromo 400X



**Fotografía 5.** La presente fotografía nos muestra la presencia de Bainita y Austenita retenida con carburos de Cromo 400 X



**Fotografía 6.** Esta fotografía nos presenta cristales de Martensita con Bainita y Austenita retenida y la presencia de carburos de Cromo 400X

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

### 3. 4 DISCUSION DE RESULTADOS.

Las durezas nos indican poca variación y diferencia entre cada una de las muestras de acuerdo a los tratamientos térmicos empleados en ellas. Si formamos dos grupos con nuestras muestras, de las cuales, el primero estará formado por la muestras 3,4 y 5, y el segundo grupo de las muestras 2 y 6, podemos apreciar que entre los dos grupos no existe mas que una diferencia de rango medio de 2 puntos, el cual no se considera significativo.

De las fotografías tomadas en las pruebas metalográficas, confirmamos la variedad de estructuras que se obtienen en un Acero P5 a diferentes tratamientos térmicos



### 3. 5 CONCLUSIONES.

La versatilidad de estructuras nos indican, que su microestructura, tamaño de cristal austenítico y composición química, son importantes para definir las propiedades mecánicas más adecuadas a la necesidad industrial del servicio que se requiera; se quiere decir, que si se necesita alta resistencia por un servicio de alta presión, el material puede y debe ser ó Bainítico ó Martensítico Revenido.

## BIBLIOGRAFIA.

“Introducción a la metalurgia física”, 2ª Edición, Sydney H. Avner,

McGraw Hill, 1984

“La ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Donal R. Askeland, Grupo

editorial Iberoamérica

“Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones”, Richard A. Flinn, McGraw

Hill, 1979

“Materiales y procesos de fabricación”, Harry D. Moore, Limusa, 1987.

“Metals Handbook”, vol. 1, 9a. Edición, American Society For Metals,

1983.

“Metals Handbook”, vol. 3, 9a. Edición, American Society For Metals,

1987.

“Tecnología del acero”, 3ª edición, José Ma. Lasheras y Esteban, Cedel,

1978