



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "CUAUTITLAN"

PROPIEDAD MECANICA DE TRACCION DE UN
ACERO INOXIDABLE MARTENSITICO TIPO 502 A
DIFERENTES TRATAMIENTOS TERMICOS.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICO
P R E S E N T A :
LUIS DANIEL SANCHEZ ZAVALA

ASESOR: M. en I. ENRIQUE CURIEL REYNA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe de Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

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

"Propiedad Mecánica de un Acero Inoxidable Tipo Martensítico 502 a Diferentes Tratamientos Térmicos"

que presenta el pasante: Luis Daniel Sánchez Zavala
con número de cuenta: 9156647-2 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

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

A T E N T A M E N T E .
"POR MI PAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 1° de Julio de 1997.-

PRESIDENTE Ing. Samuel Pérez Díaz
VOCAL Ing. Ma. Soledad Alvarado Martínez
SECRETARIO M. en L. Hector Enrique Curiel Reyna
PRIMER SUPLENTE Mg. C. Tomás Rangel Ortiz
SEGUNDO SUPLENTE Ing. Marco Antonio Hernández

Rodríguez 8-VII-97
[Signature] 2/21/97
[Signature] 2/22/97
[Signature] 6-07-97
2/22/97 *[Signature]*

A MIS PADRES

Por enseñarme a recorrer el camino de la superación, a ellos que estuvieron en los momentos más difíciles y alegres de mi vida, a ellos mil gracias.

A MI MADRE:

**Por el sacrificio que tuvo para
brindarme la mejor de las herencias
que pudo haberme brindado**

A MI PADRE:

**Por brindarme el mejor ejemplo de superación,
por sus consejos y sobre todo por su comprensión.**

A MIS HERMANAS

MA. DE LOURDES, AMPARO Y MIREYA:

**Por brindarme su apoyo, comprensión y aliento
de superación, GRACIAS**

A MI ESPOSA Y A MI HIJO:

**Por el apoyo de superación que me brindan
a ser mejor cada día, por su paciencia y
sobre todo por su amor, ternura y cariño.
GRACIAS.**

A MIS TÍOS (AS) :

**Por sus valiosos consejos, momentos
de alegrías y por su gran cariño.**

A EL M. EN I. ENRIQUE CURIEL REYNA

**Por el apoyo brindado para llegar al término
del presente trabajo y sobre todo, por su paciencia.**

A MIS GRANDES AMIGOS.

**Gracias por los bellos momentos y
aunque algunos amargos, siempre me
apoyaron**

A MIS MAESTROS (AS) :

**Por brindarme las herramientas y conocimientos
para en pesar a caminar.**

A ESTA H. UNIVERSIDAD:

**Por darme la oportunidad de llevar en alto
su nombre.**

A TODOS ELLOS GRACIAS.

**He cumplidos apenas mis primeras metas.
estoy trabajado en las próximas.**

INDICE

INTRODUCCION.

CAPITULO I.- ACEROS INOXIDABLES.

CAPITULO II.- ESTUDIO DE ALGUNAS TEORIAS Y FACTORES QUE TIENEN GRAN IMPORTANCIA EN LOS FENOMENOS DE LA CORROSION.

2.1.- Teoría ácida.

2.2.- Teoría electroquímica.

2.3.- Corrosión química directa y resistencia que a este fenómeno ofrecen los diferentes metales.

2.4.- Importancia en los fenómenos de corrosión de la capa de óxido que se forma sobre la superficie de los metales.

2.5.- Por que y cuando los aceros inoxidables resisten a la corrosión

CAPITULO III.- ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.

3.1.- Principales propiedades de los aceros inoxidables martensíticos de 13% de Cromo.

CAPITULO IV.- TRATAMIENTOS TERMICOS.

4.1.- Tratamientos térmicos más usados.

4.2.- Tratamientos isotérmicos.

4.3.- Duración del calentamiento (permanencia a temperatura) en el Recocido, Temple y Normalizado.

4.4.- Crecimiento de los cristales de Austenita con el calentamiento.

4.5.- La velocidad de enfriamiento en el recocido de austenitización completa.

4.6.- Terminación del recocido.

4.7.- Recocidos más recomendables.

CAPITULO V.- DESARROLLO EXPERIMENTAL.

5.1.- Metodología

5.2.- Desarrollo de experimentos.

5.3.- Composición química del acero inoxidable 502.

5.4.- Resultados obtenidos.

5.5.- Discusión de resultados.

5.6.- Conclusiones.

- Bibliografía.

INTRODUCCIÓN

Los aceros inoxidables martensíticos, son materiales que se usan principalmente donde se necesita resistencia mecánica, así como a la corrosión en media temperatura aproximadamente 400 °C., son materiales que contienen Cromo entre 13 y 17 %, Carbono de 0.06 a 0.20 %, los cuales son de estructura metalúrgica variada y con diferentes propiedades mecánicas de resistencia a la tracción, dureza, etc..

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

El acero 304 o P5, que contiene de 13 a 17 % de Cromo, 0.10 a 0.20 % de Carbono y 0.40 a 0.65 % de Molibdeno, lo hacen ser un material que dependa de la velocidad de enfriamiento y puedan presentarse diferentes

estructuras metalúrgicas, que pueden ir desde una perlítica en matriz de ferrita hasta la de una Martensítica con Austenita retenida y carburos de Cromo. Sin embargo no todas las estructuras tendrán las propiedades mecánicas requeridas que posea el material base que le demanda el servicio al que esta destinado.

La necesidad de elaborar procedimientos de soldadura que garanticen la estructura metalúrgica, que proporcione las propiedades mecánicas necesarias es de fundamental importancia, para que el material no presente fisuras o grietas en el momento de la soldadura.

La presente investigación es la de desarrollar cuales serian los posibles procedimientos de soldadura del acero del tipo 502 o P5, por medio de los tratamientos térmicos, a través de probetas de tracción toma de dureza y Metalografías.

CAPITULO I

ACEROS INOXIDABLES

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 como la humedad, aire, sales y otros agentes químicos.

Una barra de acero colocada al intemperie, se corroe rápidamente, aún puliendola cuidadosamente y eliminando toda la oxidación anterior, a los pocos minutos se puede observar la formación de pequeños núcleos de corrosión que se van extendiendo, llegándose a cubrir rápidamente la superficie con una capa de óxido de Hierro, frágil y permeable, que permite que la corrosión continúe avanzando hacia el interior del material.

La corrosión que experimentan las piezas de acero es tan intensa, que llega a desaparecer el carácter metálico del material, que queda

transformado en óxido de Hierro. Es frecuente encontrar, en zonas industriales o próximas al mar, aceros bajo la acción del medio ambiente y de cuya superficie se van separando capas o escamas de óxido que se han formado con el transcurso del tiempo.

Sin embargo, hay algunos Fierros antiguos que son una excepción. pues no se oxidan ni se destruyen y se conservan en muy buen estado a pesar de los años transcurridos desde su fabricación.

Uno de los ejemplos mas notables, es el pilar de DELHI, construido 300 años después de Jesucristo y que pesar de los siglos y de las inclemencias del tiempo, ha sufrido muy pocos desperfectos. También es sorprendente observar que en viejos palacios y catedrales, rejas, verjas y balcones de gran valor artístico, que se encuentran, están en buen estado a pesar de su antigüedad.

Aunque no se a encontrado una explicación completamente satisfactoria a estos fenómenos, algunos atribuyen la buena conservación

de ciertos Fierros antiguos, a la presencia de numerosas inclusiones no metálicas en la masa, que parecen que impiden que se desarrolle y se protege de la oxidación en el material.

Menos aceptada es la teoría a la cual se atribuye la resistencia a la corrosión atmosférica a delgadas películas protectoras que recubren superficialmente aquellos Fierros. Hay que recordar que antiguamente se forjaban sobre piedras en lugar de emplear yunques de Fierro y podría ser que hubiera quedado aquellos materiales protegidos por una película de silicato superficial, que impide su destrucción por los agentes corrosivos.

Los primeros trabajos realizados para la fabricación de los Fierros y aceros inoxidable datan del siglo XIX. en aquella época ya se sabía que el Fierro aleado con ciertos metales como Cobre, Cromo y Níquel, resistían mejor a 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 Níquel 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 llegó 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 Hierros ordinarios.

Hacia 1892 HADFIELD en Sheffield, estudió 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 a 1910, Loen Guille y Portevin realizaron en Francia numerosos estudios con aceros aleados con 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 típicos aceros inoxidables 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 inoxidable y sobre todo la fabricación industrial de estos aceros, no se hizo hasta años anteriores a la primera guerra mundial. En el periodo 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-Jonh Brown Ltda. de Sheffield, que se dedicaba al estudio de materiales para la fabricación de fusiles y cañones para la marina inglesa, descubrió en 1913 los aceros inoxidables 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-Niquel, inoxidables de bajo contenido de Carbono entre estos aceros los mas clásicos y los de

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 ha sido muy utilizado desde entonces para numerosas aplicaciones.

También en América el 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 inoxidables se retrasó hasta los años 1920-1921 por el secreto en que mantuvieron sus trabajos los países de la primera guerra mundial.

CAPITULO 2

ESTUDIO DE ALGUNAS TEORIAS Y FACTORES QUE TIENEN GRAN IMPORTANCIA EN LOS FENOMENOS DE LA CORROSIÓN.

El nombre de corrosión se dá 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. Este ataque se inicia siempre en la superficie de los cuerpos y progresa luego hacia el interior.

La reacción química de la corrosión en hierros y aceros, pueden diferenciarse tres tipos de corrosión

- 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 gases.

Se ha comprobado que el aire para que produzca corrosión del Fierro y aceros debe tener una cierta cantidad de humedad. En aire completamente seco, la corrosión no se produce, 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, porque debido a su gran porosidad son atravesadas fácilmente por el aire y otros agentes 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 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, al ser tantos los factores que intervienen en él y modifican su importancia y características esenciales, es muy difícil señalar una forma general y sencilla cuál es la forma de producirse, las principales causas que contribuyen a su desarrollo:

2.1.-TEORIA ACIDA

Una de las teorías que sirvió para explicar el fenómeno de corrosión fue llamada teoría ácida. Según está; en los fenómenos de corrosión tiene importancia la acción del ácido carbónico, de acuerdo con esta teoría, para que se produzca la corrosión de los metales hace falta Oxígeno, agua y ácido carbónico. El fenómeno se explicaba 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 cómo cantidades pequeñas de ácido carbónico son suficientes para actuar con gran intensidad en el ataque por corrosión.

Según la teoría ácida, para que se produzca la corrosión es necesaria la presencia de un ácido débil, como el carbónico, además de agua y Oxígeno, que son los elementos que se consideran fundamentales en la teoría ácida electroquímica.

2.2.- TEORIA ELECTROQUÍMICA.

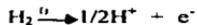
El fundamento de la teoría electroquímica, desarrollada por Evans y sus colaboradores, que en la actualidad es la que tienen más aceptación, se basa en que el Fierro en contacto con el agua sufre una acción electroquímica. cuando el material se encuentra en un ambiente húmedo o en contacto con algún líquido por efecto de las heterogeneidad del material, debidas a diferencias de composición de unas zonas a otras, a

irregularidades en el contenido de carbón o la distribución de constituyentes microscópicos y macroscópicos, a desigualdades en tratamientos térmicos, a diferencias en el trabajo mecánico, Etc. formándose en la superficie pequeñas pilas galvánicas. Estas pilas de corrosión están 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 el otro como cátodo. En las zonas anódicas hay paso de átomos de Hierro al agua que dan lugar a la formación de iones de hierro en la fase líquida, de acuerdo con la siguiente reacción:



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

En las áreas catódicas hay dos reacciones típicas:



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 difusión depende de la concentración del Oxígeno disuelto en el medio acuoso.

El ion ferroso se oxida, transformándose en óxido férrico de acuerdo con la siguiente reacción:



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 éstos penetran fácilmente a través de ella y alcanzan las capas del metal que están más hacia el interior.

2.3.- CORROSIÓN QUÍMICA DIRECTA Y RESISTENCIA QUE A ESTE FENÓMENO OFRECEN LOS DIFERENTES METALES.

Además de la corrosión que se produce por la acción de líquidos, se ha estudiado de acuerdo con la teoría ácida y electroquímica, también produce con frecuencia y con bastante intensidad una corrosión de tipo químico, que se desarrolla entre las fases Metal-Gas en lugar de entre las fases Metal-Líquido. Esta corrosión química directa se presenta

generalmente al combinarse los metales o aleaciones con el oxígeno del aire o gases.

Experimentalmente se ha observado que los metales tienen una gran tendencia a combinarse con otros elementos químicos para formar compuestos que existen en la naturaleza en forma de minerales y que son la materia prima para la obtención de los metales. Esta propiedad de combinarse los metales con otros (Oxígeno, Azufre, Etc.), se conoce con el nombre de afinidad química y varía mucho de unos a otros.

En la serie electroquímica de los metales se ordenan éstos por su afinidad química, encontrándose el Hierro aproximadamente a la mitad de la serie, siendo más noble que el Aluminio, Manganeso, Cinc y Cromo, pero menos noble que el Estaño, Cobre y Plomo.

2.4.- IMPORTANCIA EN LOS FENÓMENOS DE CORROSIÓN DE LA CAPA DE ÓXIDO QUE SE FORMA SOBRE LA SUPERFICIE DE LOS METALES.

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 su 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, está 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 continúa. En cambio, si la capa es porosa y gruesa, generalmente no sirve de protección y la corrosión penetra hacia el interior. Así ocurre por ejemplo, con el Aluminio, Cromo y Cinc, que a pesar de ser

menos nobles que el Hierro resisten mejor que esté la corrosión del ambiente, ya que en su superficie se forman películas de óxido que impiden que el fenómeno de corrosión progrese.

2.5- PORQUÉ Y CUANDO LOS ACEROS INOXIDABLES RESISTEN LA CORROSIÓN.

En la actualidad se acepta que la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable (que contienen un elevado porcentaje de Cromo), es debida a la formación de una capa superficial de óxido 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 que se conjuguen varios factores como su composición química, estado del 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 suficiente 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.

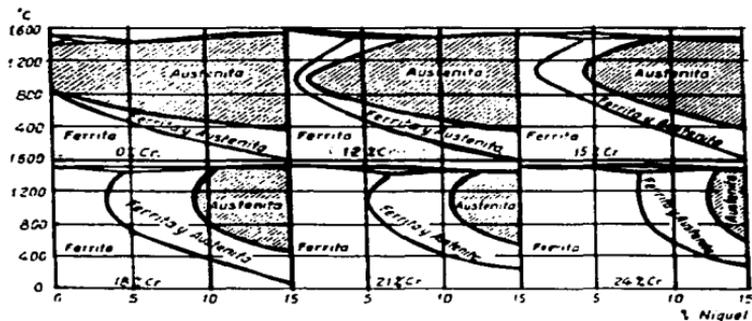
El comportamiento de las aleaciones de Hierro con Cromo, al encontrarse en presencia de determinados agentes que producen la corrosión de los aceros ordinarios, se puede comprobar estudiando las curvas 1,2 y 3.

En la curva 1 se puede observar el resultado que se obtiene al ensayar en atmósferas industriales en aleaciones de Hierro con diferentes contenidos de Cromo. Después de un ensayo de 10 años, las aleaciones de Hierro sin Cromo, sin protección superficial llegan a perder frecuentemente de un 10 % a un 90 % de su peso, mientras que con porcentajes de un 3 % de Cromo, la pérdida es reducida, y con 12 % Cromo son inoxidable.

Para que los aceros resistan la acción de elevadas temperaturas es necesario, emplear contenidos de Cromo más elevados, en la curva 2 se



Curva No. - 1
Influencia del contenido en carbono en la amplitud del campo austenítico de los aceros de diferentes porcentajes de cromo.

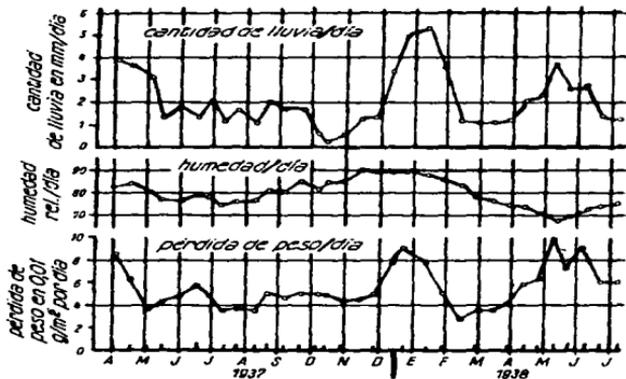


Curva No. - 2
Acción combinada del Cromo Niquel sobre la saturación de las zonas críticas de los aceros de muy bajo contenido en carbono.

puede observar lo que sucede con diversas aleaciones calentadas al aire a 1,000 °C durante 48 horas.

Se observa que el Fierro sin Cromo sufre un gran ataque, la resistencia a la oxidación aumenta con el porcentaje de Cromo, observándose cambios al variar los porcentajes de 6 a 12 % de Cromo, pero para que el material no sea atacado; es necesarios contenidos de Cromo superiores al 20 %.

En la curva 3 se señala el comportamiento de diversas aleaciones Fierro- Cromo en presencia de ácido nítrico al 33 %, calentadas a diversas temperaturas. Se observa que este ácido a 15 °C ataca a los aceros con menos de 6 % de Cromo, y en cambio no ataca cuando el porcentaje de Cromo de los aceros es superior a esa cifra. Se observa que para resistir esa cantidad de ácido a 80 °C hace falta emplear aleaciones con más de 8 % Cromo y con el nítrico (al 33 %) hirviendo, es necesario utilizar aleaciones por lo menos con 12 % Cromo.



Curva No.- 3
 Cantidad de lluvia, humedad de la atmósfera y pérdidas de peso del cinc en aire industrial.

La adición de Níquel mejora la resistencia a la corrosión de los aceros al Cromo, por que aumenta la estabilidad de la capa de óxido superficial y favorece su formación.

La denominación de aceros inoxidable 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 todos los casos, por lo tanto, cada caso hay que estudiarlo por separado y ver cual es la solución más conveniente. Además, en el comportamiento de los aceros inoxidable, lo mismo que para otros muchos aceros, tienen importancia los tratamientos térmicos. Si a un acero inoxidable no se le da el tratamiento térmico adecuado, su resistencia a la corrosión puede verse disminuida. En general conviene obtener estructuras ferríticas, martensíticas o austeníticas (estructura de una sola fase) y evitar la presencia de carburos de cromo 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 inoxidable.

El estado superficial también tiene importancia: ya que cualquier defecto o alteración superficial modifica las condiciones del ataque y disminuye su resistencia a la corrosión. Es necesario que la superficie del metal este limpia, siendo necesario eliminar siempre por decapado, mecanizado o esmerilado la cascarilla que aparece como consecuencia de determinados tratamientos, debiendo quedar siempre las piezas terminadas con el grado de pulimento más fino posible.

CAPITULO 3

ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.

Los aceros más importantes de este grupo son:

1.- El acero inoxidable con 13 % de Cromo y 0.10 % de Carbono.

2.- El acero para cuchillería con 13 % Cromo y 0.35 % de Carbono.

Otros aceros otras combinaciones en los aceros inoxidables son: con 17 % cromo y 0.65 % Carbono y el muy duro con 17 % Cromo y 1.0 % Carbono, también son de estructura Martensítica los inoxidables resistentes al agua de mar con 0.10 % Carbono, 13 % Cromo y 2 % Niquel y 0.20 % Carbono, 16 % Cromo y 2 % Niquel.

Y finalmente los aceros inoxidables de fácil mecanizado que además de 13 % Cromo y 0.10 % Carbono tienen Azufre, Selenio o Fósforo para mejorar la maquinabilidad.

3.1.- PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS ACEROS

INOXIDABLES MARTENSITICOS DE 13 % DE CROMO.

Todos los aceros altos en Cromo pueden contener, además otros elementos de aleación, pero el Cromo es el elemento importante y fundamental para conseguir la inoxidable. El acero de 12 a 14 % Cromo y 0.35 % Carbono, conocido generalmente con el nombre de acero inoxidable para cuchillería, que fué el primero que se descubrió, es el más simple y barato de los aceros inoxidables, y aunque tiene muchas aplicaciones y se emplea con gran éxito para usos diversos, es también el que tiene menor resistencia a la corrosión.

Al terminar la primera guerra mundial, se iniciaron ensayos para obtener aceros inoxidables capaces de satisfacer ciertas exigencias, que el acero inoxidable de cuchillería no cumplía y que interesaba conseguir. Ya que las características mecánicas del acero inoxidable para cuchillería pueden, en cierto modo, compararse con las de un acero al Carbono de 0.65 % de Carbono, o sea que en estado recocido tiene unos 75 Kg/mm de

resistencia y una dureza de 210 Brinell aproximadamente; después del temple queda con más de 50 Rockwell-C y después de temple y revenido a 650 °C se obtiene Resistencia igual a 90 Kg/mm. Necesitándose para numerosos trabajos un acero inoxidable de fácil embutido, se pretendió fabricar un acero de gran utilidad que tuviera, por ejemplo, un alargamiento de 30 % y su resistencia a 60 Kg/mm. Para la fabricación de herramientas especiales, rodamientos y muchos más, interesaba también encontrar un acero inoxidable con gran resistencia al desgaste y durezas; por lo tanto, en aquellos primeros años, la producción de aceros inoxidables bajos en Carbono fué muy difícil por que el Fierrocromo, que entonces se empleaba para incorporar el Cromo en los hornos de acero, era alto en Carbono, tenía de 0.6 % a 1 % de Carbono con 60 % de Cromo, y al añadir de 12 a 14 % de Cromo al baño fundido se añadía también 0.15 % a 0.20 % de Carbono. Esta problema se resolvió hacia 1920 al obtenerse ya Fierrocromo de 0.10 % de Carbono. A partir de esa época se comenzó a fabricar el llamado *Fierro Inoxidable* con $C = 0.08 \%$ y $Cr = 13 \%$ que desde entonces a tenido cada día más aceptación para numerosas aplicaciones, entre otras, una de las más frecuentes es la fabricación de alabes para turbinas de

vapor. Este acero después de recocido que dá aproximadamente con una resistencia de 55 Kg/mm y una elongación de 30 %.

CAPITULO 4

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los tratamientos térmicos tienen por objetivo mejorar las propiedades y características de los aceros, que consiste en calentar y mantener las piezas ó 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.

4.1.- TRATAMIENTOS TÉRMICOS MÁS USADOS.

Los tratamientos térmicos más usados son:

El revenido, temple, normalizado, recocido, cementado, nitrurado y temple en baño de sales.

RECOCIDO.- Con esta nombre se conocen varios tratamientos cuyo objeto principal es ablandar el acero, otras veces se desea además regenerar su estructura ó eliminar tensiones internas. Consiste en calentamientos a temperaturas adecuadas, seguidos de enfriadores lentos. Las diferentes clases de recocido se pueden clasificar en cinco grupos: a) Recocidos con austenitización completa, b) Recocidos subcriticos, c) Recocidos con austenitización incompleta, d) Recocido de ablandamiento y e) Recocido de ablandamiento.

a) Recocido con austenitización completa ó de 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.

b) Recocidos subcríticos.- El calentamiento se hace por abajo de la temperatura crítica inferior, no teniendo tanta importancia como en el caso anterior la velocidad de enfriamiento, pudiendo incluso enfriarse 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:

1.- Recocido de ablandamiento.

2.- Recocido contra acritud.

3.- Recocido globular.

A continuación se describen cada uno de ellos.

1.- 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 deseadas, pero en muchos casos la que se consigue 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 herramientas y construcción de alta aleación, después de este tratamiento, suelen ser algunas veces elevadas para el maquinado.

2.- Recocidos 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 se suele hacer al aire.

3.- Recocido globular.- Se somete al acero a un calentamiento a temperaturas inferiores pero muy aproximadas a la crítica A_{c1} , enfriándose lentamente en el horno hasta la temperatura deseada.

d) Recocidos de austenitización incompleta.- Son tratamientos que suelen darse a los aceros al carbono ó aleados, de más de 0.50 % de carbono, para ablandarlos y mejorar su maquinabilidad. Consiste en calentamiento 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 los carburos de aleación adopten una forma globular.

Un recocido que emplea un ciclo oscilante de temperaturas que es unas veces superiores y otras inferiores a A_{c1} . Otras veces (que suelen ser la mayoría) se emplean temperaturas ligeramente superiores a A_{c1} , al primero

de estos tratamientos se le llama recocido globular oscilante y al segundo recocido globular de austenitización incompleta, ver figura 1 y 2.

RECOCIDO ISOTÉRMICO.- Son tratamientos térmicos de ablandamiento que consiste en calentar el acero por encima de la temperatura crítica superior ó inferior según lo acasos (generalmente a 880 °C) y luego enfriarla hasta un temperatura de 600°-- 700 °C, que se mantienen constante durante varias horas, para conseguir la completa transformación isotérmica de la Austenita y finalmente, se enfría al aire. Este tratamiento es muy rápido y se obtiene baja dureza. El calentamiento se suele hacer con austenitización completa en los aceros hipoeutectoides y austenitización incompleta en los aceros hipereutectoides. En cierto modo estos tratamientos pueden considerarse como casos particulares de los recocidos de austenitización completa e incompleta.

En los aceros hipoeutectoides es algo más fácil obtener estructuras globulares, que por otra parte no tiene tanto interés como en los aceros

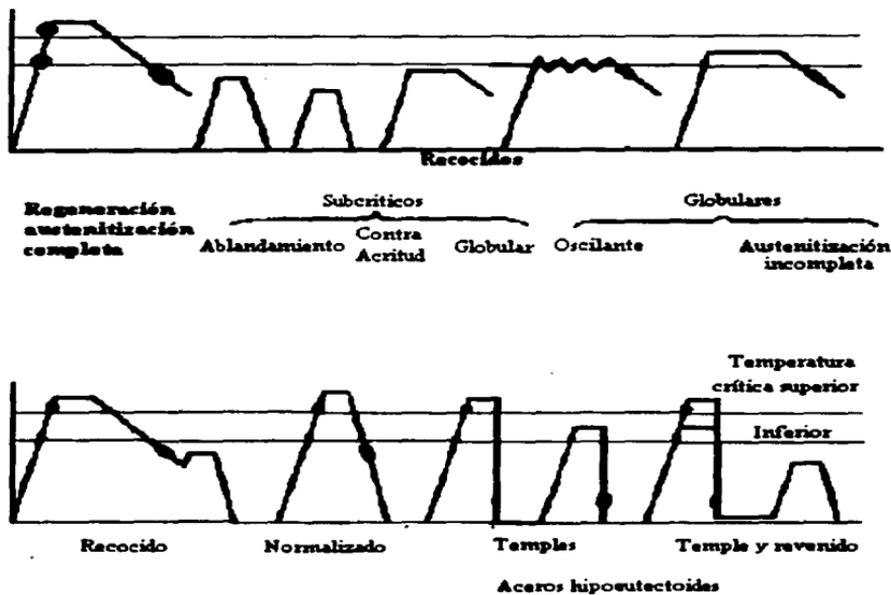
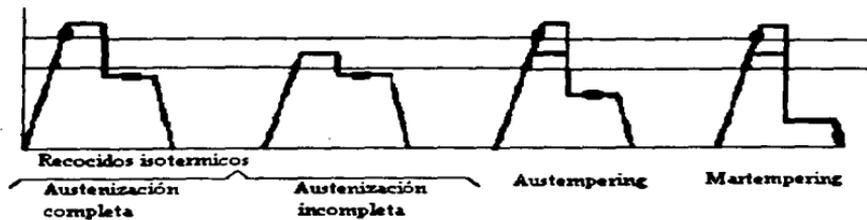


Figura 1



Esquema de los tratamientos térmicos más empleados y del desplazamiento de los puntos y zonas de transformación.

Figura 2

hipereutectoides. Sin embargo con permanencias prolongadas y oscilantes de temperaturas se consigue también en los aceros de bajo contenido de carbono esas estructuras. Recientemente se ha comenzado a exigir estructuras globulares en numerosos aceros de construcción y de baja aleación. Un caso típico es un acero al carbono para tornillería ($C = 0.258\text{--}0.35\%$), que es un roscado por laminado en frío.

Doble recocido.- Cuando se desea obtener muy bajas durezas se suele dar a los aceros un recocido de regeneración y luego otro subcrítico.

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 trabajadas en caliente, trabajadas en frío, enfriamientos irregulares ó sobre calentamiento, y también sirve 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.

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 ó menos rápidamente (según la composición y tamaño de la pieza) en un medio conveniente, agua, aceite, etc.. En los aceros de herramienta el calentamiento para el temple sólo se llega a la austenitización incompleta.

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.

4.2.- TRATAMIENTOS ISOTÉRMICOS 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 desean obtener.

Después de recientes estudios realizados sobre la curva de la "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 elimina el peligro de rupturas o grietas.

AUSTEMPERING Ó TRANSFORMACIÓN ISOTÉRMICA DE LA AUSTENITA EN LA ZONA 250°--600 °C.- Este tratamiento consiste en calentar el acero a una temperatura más elevada que la crítica superior y

luego enfriarla rápidamente en plomo ó en sales fundidas, a temperaturas comprendidas entre 250°-- 600 °C, permaneciendo el acero en el baño a esta temperatura durante el tiempo suficiente para que se realice la transformación completa de la Austenita en otros constituyentes a temperatura constante. Un tratamiento de esta clase, se denomina PATETING, se bien, aplica desde hace mucho tiempo para la fabricación de ciertos alambres de alta resistencia, que se conoce generalmente con nombre de cuerda de piano. En este caso el enfriamiento se suele hacer en baño de plomo, que dando el acero con una tenacidad y ductilidad excepcionales.

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, que en las transformaciones que en las distintas zonas del material ocurren.

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 esa temperatura, se consigue 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 temples se realiza rápidamente en agua, aceite, etc. y los normalizados enfriándola al aire tranquilo. Se puede decir que la velocidad de enfriamiento es la que caracteriza y diferencia principalmente estas tres clases de tratamientos térmicos.

Hay que distinguir en estos procesos tres periodos fundamentales:

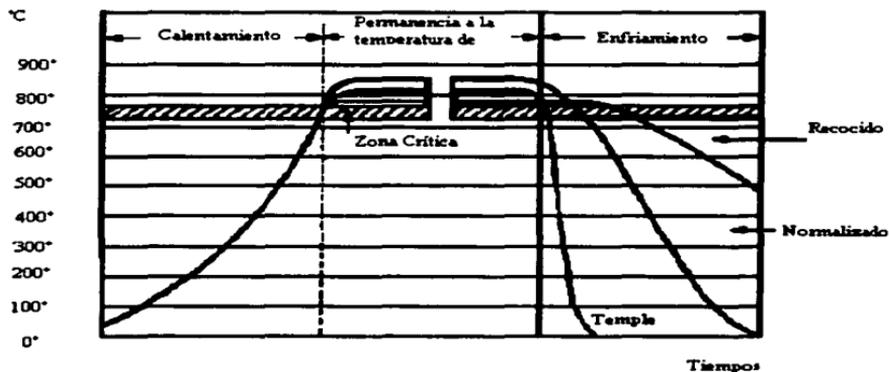
1.- Calentamiento.

2.- Temperatura de permanencia

3.- Enfriamiento.

Las dos primeras fases se pueden estudiar a la vez para los tres tratamientos térmicos, ya que las diferencias que existen son pequeñas, ver figura 3.

CALENTAMIENTO PARA EL RECOCIDO, TEMPLE Y NORMALIZADO.- Para todo tipo de acero, 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 pueden introducir directamente en los hornos calientes a altas



Representación esquemática del Recocido de regeneración,
Normalizado y Temple de un acero

Figura 3

temperaturas 750° a 850 °C, pero en el caso de piezas gruesas hay que tomar precauciones que se explicarán a continuación. En las piezas gruesas el calentamiento ha de procurarse que sea lo más 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 las piezas (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 en frío es poco deformable y no admite deformaciones y las tensiones que se crean pueden originar grietas.

El paso de la zona crítica no es peligroso cuando toda la pieza tienen la misma temperatura ó las diferencias entre la periferia y el centro son

pequeñas, como ocurre en los calentamientos lentos. En cambio, cuando las piezas muy gruesas la periferia alcanza una temperatura antes que el centro, la zona periférica sufre una contracción, mientras el centro que no ha llegado a esa temperatura se está 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 gama, y el acero que hasta entonces estaba dilatando 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 los aceros de bajo contenido de Carbono puede utilizarse 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, ver figura 4.

Se ve en la figura (4), el proceso de calentamiento de un redondo de 500 mm (20 Pulgadas) de diámetro introducido en el horno frío y calentado a 820 °C, con una duración de once horas, ó sea, 0.55 de hora por pulgada, de espesor. En la periferia que se tiene 400 °C, y en el centro 230 °C y por lo tanto, la diferencia entre el corazón y la periferia es de 170 °C, ó sea, que suponiendo que es lineal la variación de temperatura en la sección transversal de la pieza, habrá una diferencia de 17 °C entre los puntos situados a 25 mm de distancia, que es inferior a los 20 °C antes recomendados.

Para tener una idea aproximada del tiempo que tardará en calentarse un redondo de acero al Carbono, introducido en el horno caliente (fig. 59).

en la que se da el tiempo aproximado que necesitan los redondos de acero de diferentes diámetros para alcanzar la temperatura del horno. Según esta gráfica, un redondo de 10 mm, introducido en el horno a 1000 °C, solo tardará ocho minutos en alcanzar esa temperatura. Un redondo de 30 mm tardará en calentarse a 800 °C treinta minutos, y en cambio, introducido en el horno a 1000 °C, solo tardará veinticinco minutos en alcanzar esa temperatura. Un redondo de 300 mm de diámetro tardará en calentarse a 900 °C cuatro horas y media aproximadamente. A partir de 721 °C el tiempo necesario para que el centro de los redondos alcance la temperatura deseada, aumenta debido a que el calor que absorbe el acero para que se efectúe la transformación de la perlita en Austenita. La transmisión del calor en los aceros de alta aleación, como en los aceros inoxidables indeformables de 13 % de Cromo, etc.; se hace mucho más despacio que en los ordinarios, por lo que la duración del calentamiento deberá ser aproximadamente el doble que el necesario para los aceros al carbono ó de baja aleación.

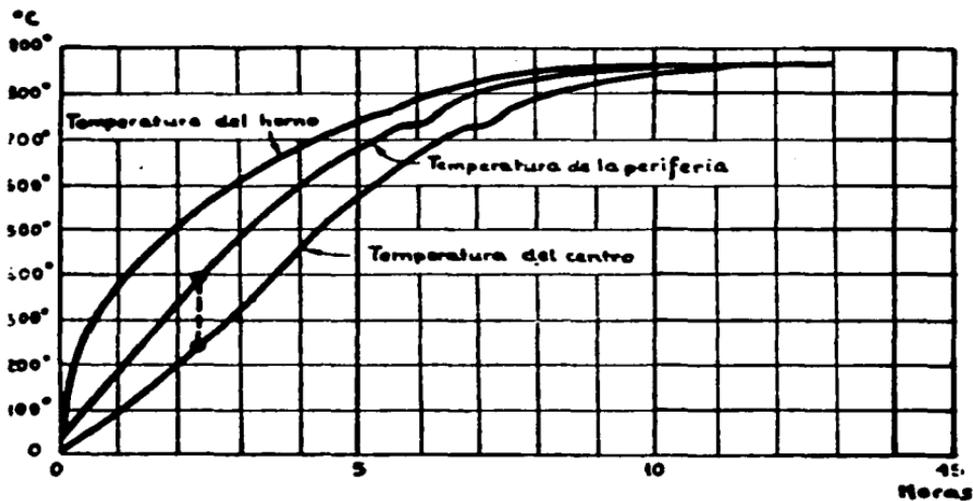


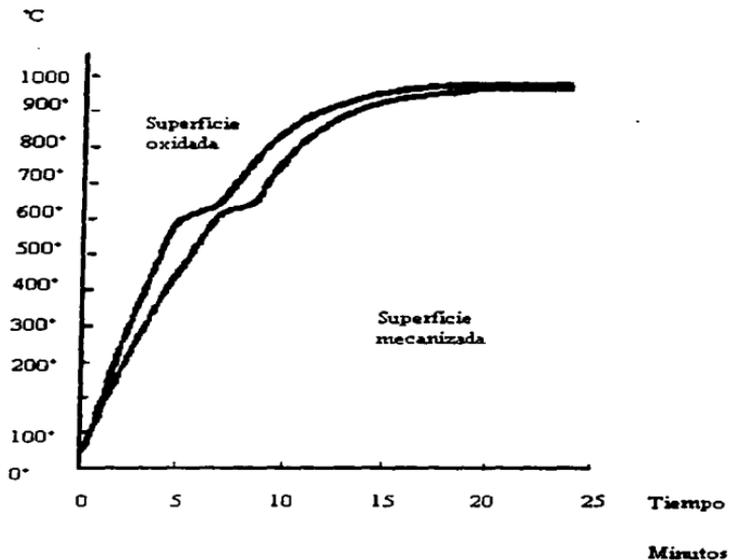
Figura 4.

Proceso de calentamiento de un redondo de acero de 500 mm de diámetro.

El estado de la superficie del material tiene influencia en la duración del calentamiento, existiendo por esa circunstancia diferencias muy notables entre los tiempos necesarios para conseguir un correcto calentamiento de barras ó de perfiles en diferentes estados superficiales, los brillantes, su duración de calentamiento es dos ó tres veces mayor que cuando se trata de superficies rugosas u oxidadas. En la fig. 5 se puede ver la influencia de la superficie del material en la velocidad de calentamiento de un redondo de 30 mm de diámetro.

4.3.- DURACIÓN DEL CALENTAMIENTO (PERMANENCIA A TEMPERATURA) 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.



Temperatura en el centro de un redondo de 0.35 %
de C, de 30 mm de diámetro de calentamiento
desde 20° hasta 1100° C

Figura 5

La duración del calentamiento del 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 la temperatura de tratamiento comienza cuando la pieza, incluyendo las zonas del interior, hayan alcanzado esa temperatura. Aunque al rebasar el acero las temperaturas Ac_3 ó Acm . Todo el carbono está en solución en la Austenita, unas 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 tiende 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 muy superiores a la crítica, pero como estos calentamientos dan lugar a un gran 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 austenitizadas 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 hipoeutectoide, la Austenita que se encontraba junto a los carburos, tienen generalmente siempre el mismo porcentaje de carbono superior al resto.

El tiempo necesario para obtener una estructura de Austenita homogénea, varía con la máxima temperatura alcanzada y con las características particulares de la microestructura inicial. Cuando más alta sea la temperatura que se alcanza, menos tiempo es necesario para homogeneizar la microestructura.

En la figura 6 se puede conocer la influencia del tiempo y de la temperatura de austenitización de un acero eutectoide.

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 del tratamiento. En los normalizados se recomienda utilizar permanencias más

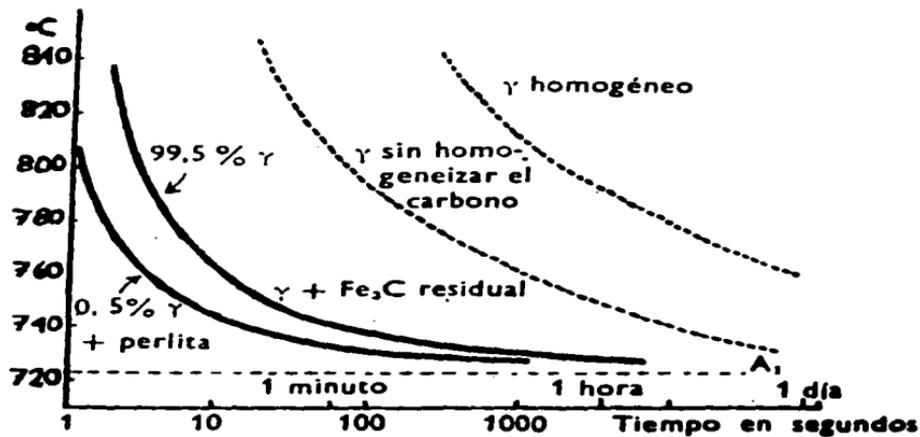


Figura 6.

Tiempo necesario para alcanzar en una pequeña pieza de un acero al carbono, diversos grados de austenización

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 basta ó fuerte aleación exige tiempo.

En general, para los tratamientos, el tiempo de permanencia oscila entre media hora y una hora por pulgada de espesor. Para procesos de calentamiento, cuya duración es de una hora por pulgada de diámetro, suelen 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, empieza desde que se introduce en el horno y termina hasta que se saca de él, para diversos espesores.

4.4.- CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES DE AUSTENITA CON EL CALENTAMIENTO.

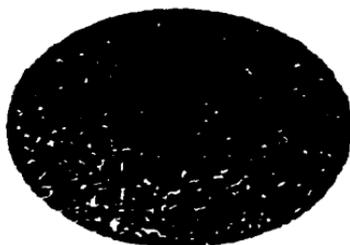
Si el acero es mantenido durante bastante tiempo a temperatura arriba de la crítica superior, los cristales de Austenita tienen tendencia a desarrollarse y aumentar de tamaño. Esta tendencia aumenta cuando más alta sea la temperatura y mayor la duración del calentamiento. por lo tanto, si se mantiene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

Comparando la microestructura de las fig. 7 y 8 se observa la influencia de la temperatura de calentamiento en el tamaño de los cristales en un acero de 0.45 % de Carbono, ver figura 7 y 8.



Acero de 0.45 % de carbono calentado a 1000 °C Y enfriado en horno

Figura 7



Acero de 0.45 % de carbono calentado a 800 °C y enfriado en horno

Figura 8

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

Cuando en los procesos de calentamiento se sobre pasa la temperatura crítica AC_3 ó A_{cm} , 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 grano basto, para afinarlo basta con 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 troostita 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 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.

4.5.- LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO EN EL RECOCIDO DE AUSTENIZACIÓN COMPLETA.

Estos recocidos se caracterizan por ser tratamientos de ablandamiento, con los que los aceros quedan con estructura perlítica. De un modo general se puede decir que si en el recocido se calientan los aceros hasta una 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 esté formando por pequeños cristales de

Austenita. Luego el enfriamiento debe ser lento para conseguir un acero blando.

Cuanto más lento 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_1 , la Austenita empieza a transformarse en otros constituyentes.

En el clásico diagrama Fierro-Carbono se señalan las temperaturas de transformación teóricas, las correspondientes a calentamientos ó a enfriamientos infinitamente lentos. Como en la práctica esto no se consigue, pues en los recocidos industriales se utilizan velocidades de calentamientos como: 10°, 20°,30°,50° y 100 °C por hora, los puntos

críticos de enfriamiento se suelen presentar a temperaturas un poco inferiores a las señaladas en el citado diagrama, efectuándose, por lo tanto, la transformación de la Austenita a temperaturas más bajas que las teóricas.

4.6.- TERMINACIÓN DEL RECOCIDO.

El acero se saca del horno cuando todos los cristales de Austenita se han transformado en constituyentes perlíticos, es decir cuando se ha rebasado el punto de A_{c1} en el enfriamiento.

La temperatura de ese punto crítico depende de las composición y velocidad de enfriamiento. Si el enfriamiento se hace con una velocidades 10 °C por hora, el punto crítico en un acero al Carbono de herramientas, ocurre a 700° - 680 °C. En cambio, si el enfriamiento se hace con una velocidad de 20 °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 al aire sin peligro de que se endurezca.

4.7.- RECOCIDOS MÁS RECOMENDABLES.

Se suelen emplear principalmente dos tipos de recocidos:

1.- Para los aceros de herramientas que, como ya hemos señalado anteriormente suelen ser casi siempre hipoeutectoides, suelen hacerse tratamientos termicos como si fuera un recocidos subcríticos de austenización incompleta y con enfriamiento lento.

2.- Para los aceros empleados para la construcción de piezas de maquinaria, motores, etc., bien sean aceros al Carbono ó aleados, suelen tratarse con recocidos subcríticos con enfriamientos al aire.

En ocasiones los aceros de este último grupo suelen tratarse también con recocidos de austenización completa ó austenitización incompleta. Los recocidos de austenización tienen el inconveniente de que exigen un enfriamiento que dura muchas horas. Como la dureza que se obtiene en los recocidos subcríticos en ocasiones es sensiblemente la misma (en realidad es algo superior) a la que se obtiene en los recocidos de austenización y es aceptable para el buen mecanizado de las piezas, en la mayoría de los casos es ventajoso el recocido subcrítico por ser de menor duración y más económico que los de austenización.

En cambio en los aceros de herramientas los recocidos de austenización incompleta a pesar de su larga duración se compensa porque se obtienen durezas inferiores a las que corresponden a los recocidos subcríticos y además también se obtiene estructuras globulares que son las mejores para mecanizar este tipo de aceros.

Cuando la característica más importante a tener en cuenta en los aceros al Carbono 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, se recomienda hacer un recocido de austenización incompleta y enfriar lentamente. Los aceros de menos de 0.35 % de Carbono, se maquinan con tratamientos de recocidos, que en bruto de la laminación o normalizados. En la fig. 9. se puede observar el comportamiento para el maquinado de estos aceros de acuerdo con el tratamiento que se le ha dado el mejor estado de mecanizado de los aceros de Carbono inferior de 0.45 % es el calibrado (estirado en frío con reducciones de sección variables generalmente de 10 al 30 %).

El acero inoxidable con 12 % a 14 % de Cromo y 0.35 de Carbono y el inoxidable con 12 a 14 % de Cromo y 0.8 de Carbono, que son los aceros típicos de este grupo, se caracterizan, como ya hemos dicho, 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

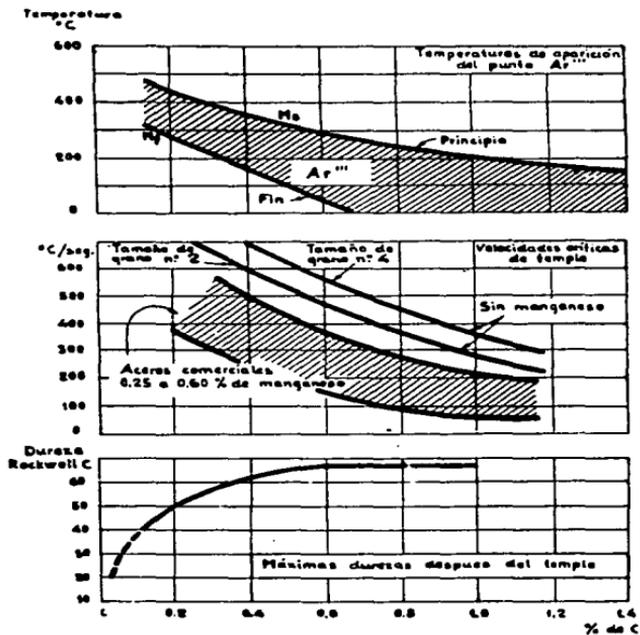


Figura 9.

Influencia del contenido de carbono de los aceros, con el temple y las máximas durezas obtenidas.

200 °C más aproximadamente de los aceros al Carbono de herramientas, y no necesitan ser enfriados rápidamente. Son los aceros de gran templeabilidad, por la 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 bien el temple puede enfriarse en aceite.

Hay otra diferencia importante en los tratamientos térmicos de los aceros al carbono y de los inoxidables. En los aceros ordinarios la transmisión de calor se hace mas fácilmente que en los inoxidables y para alcanzar el centro de las piezas de los aceros inoxidables a una temperatura determinada hace falta aproximadamente un 50 % más de tiempo que con los aceros al carbón, debido a que la conductividad térmica de los aceros inoxidables es baja. Además, en los aceros ordinarios la austenitización del material se realiza con relativa rapidez en poco tiempo. Al calentar los aceros inoxidables sobre los 800° C se forma Austenita y comienza a disolverse los carburos de Cromo y Hierro progresivamente, pero la disolución total de todos los carburos en la Austenita no se realiza hasta los

950° ó 1050 °C. Esta diferencia se ve en la figura 10, en la que se señalan las durezas con las que queda el material después de realizar el temple a temperaturas diferentes.

Otra diferencia con los aceros al Carbono ordinarios, es que en éstos la temperatura de temple varía mucho con el porcentaje de Carbono, oscilando desde 750 °C para 0.90 % C hasta 910 °C para 0.10 % C, en los aceros inoxidable 0.10 % C hay que rebasar los 950 °C para que el temple sea correcto.

También hay una 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 los aceros inoxidable 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.

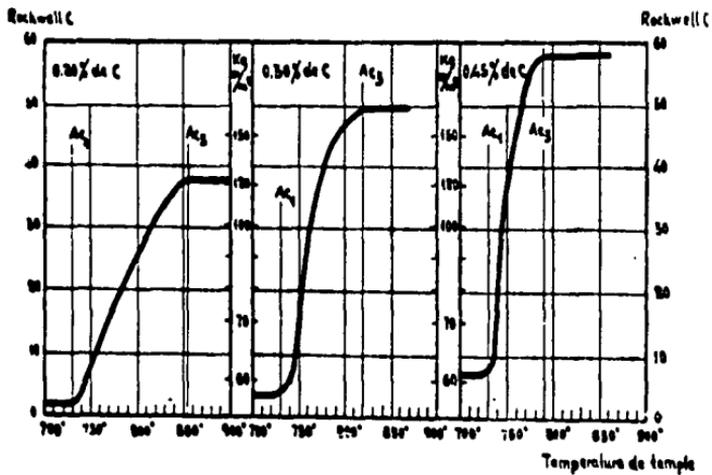


Figura 10

Influencia de la temperatura de temple en la dureza de tres aceros.

Para el acero inoxidable se suele emplear un revenido a 350 °C cuando interesa la máxima inoxidableidad 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.

CAPITULO 5

PARTE EXPERIMENTAL

5.1.- METODOLOGIA:

Se prepararon seis muestras que consistieron de probetas para ensayo de tracción, toma de durezas y Metalografías, las cuales fueron tratadas de la siguiente forma: todas las probetas se llevaron a temperaturas de austenitización de 890 °C con un tiempo de permanencia de 1 Hora y posteriormente se enfriaron de la siguiente forma:

PROBETA 1.- En Enfriamiento de Normalizado al aire tranquilo hasta la temperatura ambiente.

PROBETA 2.- Enfriamiento de Recocido en el horno hasta temperatura ambiente durante 24 horas.

PROBETA 3.- Enfriamiento de Temple en aceite el cual se encontraba a temperatura ambiente.

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 posteriormente un enfriamiento al aire.

Una vez tratadas técnicamente se procedió al corte de las muestras a las cuales se les haría el estudio Metalográfico así como el de durezas y así como el de tracción.

TABLA No.- 1
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO. INOXIDABLE 502

C=0.131 %	Mn=0.456 %
P= 0.031 %	S= 0.013 %
Si=0.391 %	Ni = 0.75 %
Cr = 4.750 %	Mo = 0.484 %
V = 0.018 %	Sn = 0.004 %
Cu = 0.001 %	Ti = 0.005 %
B = 0.00009 %	Al = 0.0009 %
Nb = -0.001 %	Co = 0.013 %
Pb = 0.0 %	W = 0.008 %

5.2.- DESARROLLO DE EXPERIMENTOS

El material usado en las pruebas fue con un analisis obtenido como se muestra de la tabla No.-1, porque, ya que se encontró que el material tiene una estructura Bainítica, el cual fue sometido a tratamientos y de cada uno de ellas se fueron realizando sus pruebas Metalográficas, de tracción y dureza.

Las probetas 1,2 y 3 fueron llevadas sin interrupciones a la zona de Austenita mas carburos más martensitas, lo.cual , podemos comprobar en las fotografías tomadas de las muestras Metalográficas. La diferencia que existe entre ellas, consiste en los granos que se formaron entre ellas, algunos son mas bastos que otras, esto es dependiendo del tratamiento que se le halla realizado y por consiguiente varia su dureza .

En la prueba 4 después de su temperatura arriba de A_{C1} , se enfrió en aceite, el cual se encontraba a una temperatura de 100 °C el cual se mantuvo durante un tiempo de una hora, gráficamente se mantuvo en la

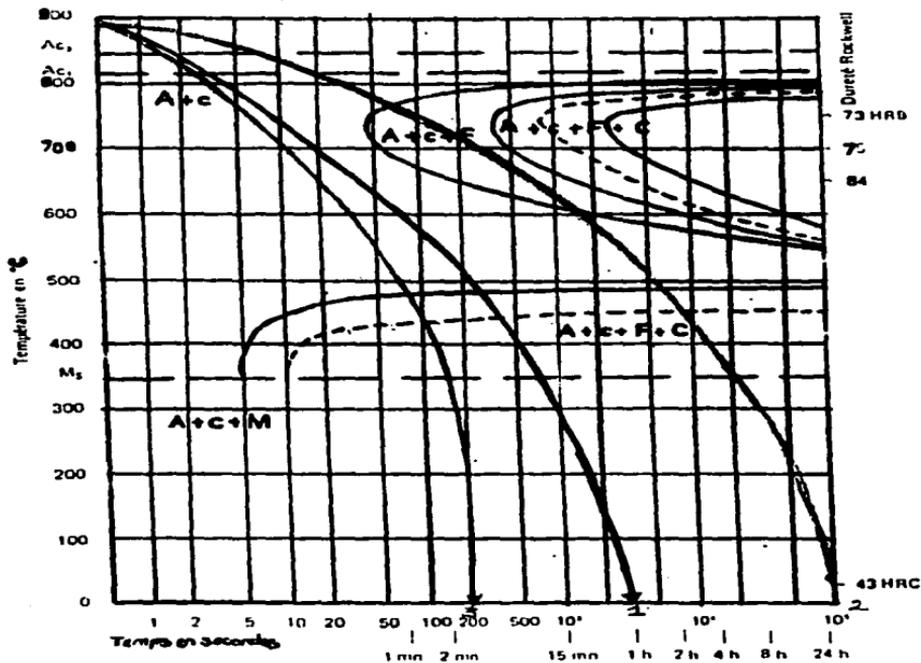
zona de austenita más carburos más martensita. Al transcurrir ese tiempo se realizo un revenido a una temperatura de 180°C, lo cual, nos indica que el revenido liberó esfuerzos o tensiones que pudo ocasionar el tratamiento anterior.

En la probeta 5 se realizó el mismo procedimiento con las mismas condiciones anteriores, la única diferencia es que el revenido se elevo a una temperatura de 250°C, con la misma duración que la anterior, por lo tanto, la temperatura del revenido no alcanzó a rebasar la línea Ms (Martensita), por lo tanto, se vuelven a liberar las tensiones internas que el tratamiento térmico provoco.

En la probeta 6, una vez llegado arriba de A_{C3} , se llevó a un enfriamiento de 400°C con una permanencia de una hora, lo cual , nos indica gráficamente que obtendremos una estructura de bainita con Austenita más carburos, los cuales al ser enfriados se obtuvieron granos regulares con las características mencionadas.

Austéniser à 500 °C 30 mn

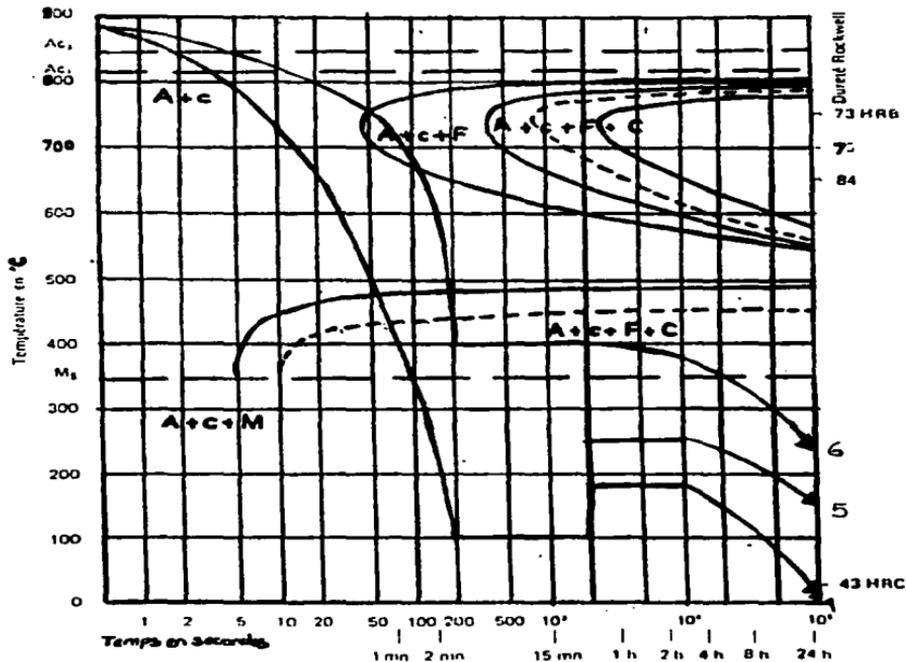
Grosueur du grain : 9



N. # D. PROBSTA

Austénitise à 500 °C 30 min

Grossueur du grain : 9



5.4.- RESULTADOS OBTENIDOS.

Una vez tratadas las muestras y fabricadas las probetas para el ensayo de tracción los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Las Metalografías mostradas en las fotografías, nos indican lo siguiente:

Fotografía 1.- La presente fotografía nos muestra la presencia de Martensita fina con presencia de pequeños cristales de Austenita retenida y presencia de carburos de Cromo. 200X

Fotografía 2.- Esta fotografía nos muestra la presencia de cristales pequeños de Ferrita y Perlita con la presencia de carburos de Cromo. 400X.

Fotografía 3.- Fotografía que nos muestra cristales bastos de Ferrita y Perlita, con la presencia de carburos de Cromo. 400X.

Fotografía 4.- Esta fotografía muestra la presencia de Austenita con Martensita revenida, con escasos carburos de Cromo. 200X.

Fotografía 5.- La presente fotografía muestra la presencia de Austenita fina con Martensita poco Revenida, con carburos de Cromo. 200X.

Fotografía 6.- Esta fotografía nos presenta la presencia de Bainita con austenita retenida y escasos carburos de Cromo. 200X.

Las probetas de ensayo de tracción tratadas térmicamente, se ensayaron obteniéndose las siguientes gráficas y resultados.

5.6.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

De los ensayos de tensión realizados se puede decir que los tres últimos nos dan las propiedades más confiables para resistir condiciones de presión y temperatura, de hecho los tratamientos de temple a una temperatura de 100° C y revenidos nos indican mejores condiciones del material por sus resultados en el límite elástico y el porcentaje de elongación, porque en el tratamiento de Autempering se puede ver la característica de la Bainita que es poca deformabilidad y su aceptable resistencia.

Las durezas también podemos indicar que las mejores, por que se pueden considerar que sus propiedades esta equilibradas en la de los tres tratamientos anteriores.

En las Metalografías los tratamientos que presentaron menor cantidad de Austenita retenida fueron los tratamientos 4 y 5, estructura que puede generar microfisuras en los momentos de su transformación a baja temperatura.

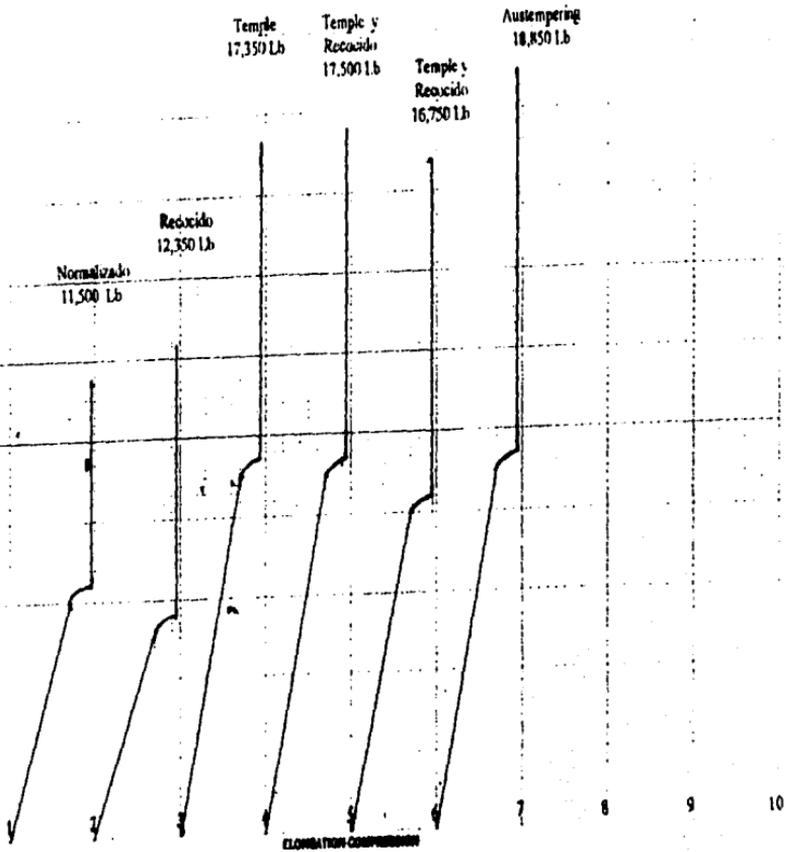
No.- TRATAMIENTO GRÁFICA TENSÓN ELONGACIÓN ESFUERZO FOTOGRAFIA

PROBETA	TÉRMINICO		Lb	%	Lb / Plg. ²	
1	Normalizado	1	11,500	20	75,163	1
2	Recocido	2	12,350	35	71,594	2
3	Temple	3	17,350	15	82,619	3
4	Temple y Revenido	4	17,500	30	78,125	4
5	Temple y Revenido	5	16,750	30	77,188	5
6	Austempering	6	18,850	35	89,761	6

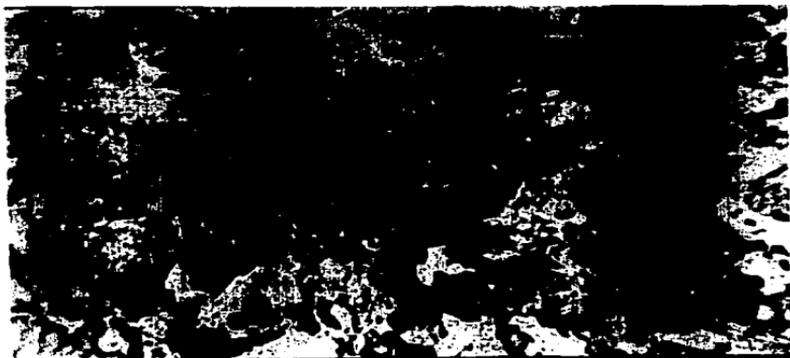
Test No. _____ Spec. _____ Area _____ Yield Point Lb Sq. In. _____ Ultimate Str Lb Sq. In. _____ Date _____
 Elongation _____ In. _____ Per Cent Elongation _____ Per Cent Reduction Area _____

24,000
 22,000
 20,000
 18,000
 16,000
 14,000
 12,000
 10,000
 8,000
 6,000
 4,000
 2,000

LOAD IN POUNDS



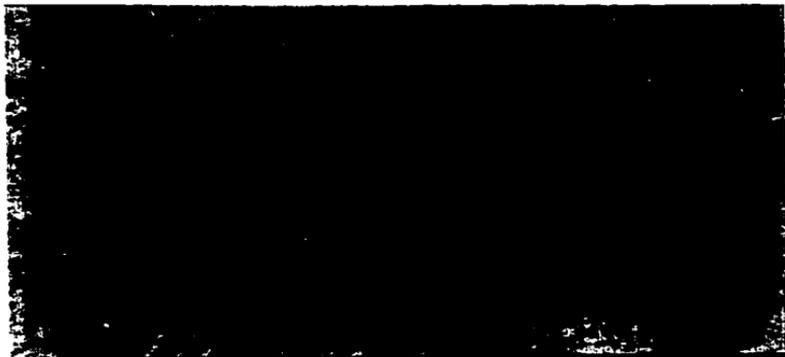
ELONGATION COMPRESSION



FOTOGRAFIA 1.-Probeta con el tratamiento térmico de Normalizado
A 1000 X



FOTOGRAFIA 2.-Probeta con el tratamiento térmico de Recocido
A 1000 X



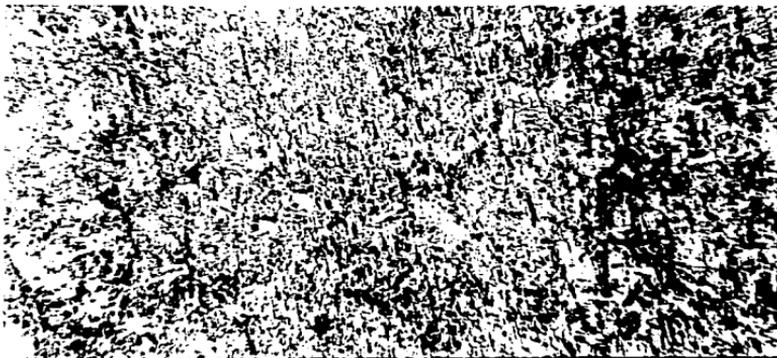
FOTOGRAFIA 3.-Probeta con el tratamiento térmico de Temple
A 1000 X



FOTOGRAFIA 4 -Probeta con el tratamiento térmico de Temple y Recocido
A 1000 X



FOTOGRAFIA 5 -Probeta con el tratamiento termico de Temple y Recocido
A 1000 X



FOTOGRAFIA 6 -Probeta con el tratamiento termico de Austempering
A 1000 X

5.7 - CONCLUSIONES.

Del análisis de resultados podemos concluir:

1.- Los resultados obtenidos de las probetas uno, dos y tres (1, 2 y 3) de Temple, Normalizado y Recocidos son iguales a las estructuras obtenidas con sus Tratamientos Térmicos como son Martensita sin Revenido, estructura de Perlita fina y de Ferrita más Perlita basta.

2.- De los resultados obtenidos de las probetas cuatro, cinco y seis (4, 5 y 6) de los Temples Isotérmicos de transformación y Revenidos posteriores con los Tratamiento Isotérmicos de AUSTEMPERING. Los datos del ensayo de tensión son muy semejantes y elevados. Esto nos lleva a la determinación que las propiedades mecánicas de una Martensita Revenida, pueden tener propiedades iguales a una Bainita superior.

Podemos decir que un ensayo de tensión nos dará los resultados semejantes a las estructuras de los materiales para analizar siempre y cuando conozcamos el historial térmico del material.

BIBLIOGRAFÍA.

“Metals Handbook”, Vol. 1, 9a. Edición, American Society For Metals, 1983.

“Metals Handbook”, Vol. 3, 9a Edición American Society For Metals, 1983.

“Welding Hanbook” A.W.S., 4o Vol., 7a Edición, 1984.

“Tool Steel” 4a, Edición, George A. Roberts and Robert A. Cary, A.S.M., 1985.

“Metallogrphy, Principles and Practice”, Vander Voort, Mc Graw Hill, 1984.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**