



Universidad
Continental

Ingeniería de Materiales Avanzada

Guías de Laboratorio



Visión

Al 2021, ser la mejor universidad para el Perú y el mundo en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial.

Misión

Somos una organización de educación superior dinámica que, a través de un ecosistema educativo estimulante, experiencial y colaborativo, forma líderes con mentalidad emprendedora para crear impacto positivo en el Perú y en el mundo.

Universidad Continental

Material publicado con fines de estudio



Presentación

Los laboratorios que se imparten dentro de la carrera de Ingeniero Mecánica son parte fundamental de la formación del estudiante, ya que le permite comprobar en forma práctica muchos de los conocimientos adquiridos en el salón de clase, de ésta manera, presentamos el manual de prácticas correspondiente al Laboratorio de Ingeniería de Materiales Avanzada, esperando que permita al alumno un mejor desarrollo de las mismas y que su estancia sea lo más fructífera posible.

Los autores



NORMAS DE SEGURIDAD EN EL LABORATORIO

Normas generales

- No fumes, comas o bebas en el laboratorio.
- Utiliza una bata y/o mameluco; y tenla siempre bien abrochada, así protegerás tu ropa.
- Guarda tus prendas de abrigo y los objetos personales en un armario o taquilla y no los dejes nunca sobre la mesa de trabajo.
- No lleves bufandas, pañuelos largos ni prendas u objetos que dificulten tu movilidad.
- Procura no andar de un lado para otro sin motivo y, sobre todo, no corras dentro del laboratorio.
- Si tienes el cabello largo, recógetelo.
- Dispón sobre la mesa sólo los libros y cuadernos que sean necesarios.
- Ten siempre tus manos limpias y secas. Si tienes alguna herida, tápala.
- No pruebes ni ingieras los productos.
- En caso de producirse un accidente, quemadura o lesión, comunícalo inmediatamente al profesor.
- Recuerda dónde está situado el botiquín.
- Mantén el área de trabajo limpia y ordenada.



Índice

VISIÓN	2
MISIÓN	2
NORMAS DE SEGURIDAD EN LABORATORIO	4
Guía de práctica N° 1:	
Preparación de muestras metalográficas	6
Guía de práctica N° 2: Reconocimiento de los constituyentes del acero al carbono	12
Guía de práctica N° 3: Reconocimiento de los microconstituyentes de las fundiciones de hierro	16
Guía de práctica N° 4: Tratamiento térmico recocido	22
Guía de práctica N° 5: Tratamiento térmico normalizado	25
Guía de práctica N° 6: Tratamiento térmico de temple	28
Guía de práctica N° 7: Prueba de templabilidad Jominy	31
Guía de práctica N° 8: Tratamiento térmico revenido	35
Guía de práctica N° 9: Tratamiento termoquímico cementación	38
Guía de práctica N° 10: Inspección por líquidos penetrantes	44



Guía de práctica N° 1

Preparación de muestras metalográficas

Sección	:
Docente	:

Apellidos	:
Nombres	:
Fecha	:/...../.....
Duración:	
Tipo de práctica:	Individual () Grupal ()

OBJETIVO

1.- Aprender y poner en práctica la técnica para la preparación de muestras metalográficas.

INTRODUCCIÓN

La metalografía es el estudio de la constitución y la estructura de los metales y las aleaciones. La forma más sencilla de hacerlo es examinando las superficies metálicas a simple vista. Las técnicas más avanzadas se basan en la amplificación de la superficie, mediante instrumentos ópticos, para observar las características estructurales microscópicas.

Los estudios ópticos microscópicos proporcionan resultados que son útiles no solo a los científicos, sino también a los ingenieros. El examen de la microestructura es útil para determinar si un metal, o una aleación, satisfacen las especificaciones en relación con trabajos mecánicos anteriores, tratamientos térmicos y composición general.

Un estudio de la microestructura nos permite llevar a cabo un análisis de fallas metálicas y de esta forma controlar procesos industriales.

Los cinco pasos que casi siempre se requieren para hacer una muestra metalográfica son:

1. Corte
2. Montaje. Si la muestra es muy pequeña
3. Desbaste
4. Pulido
5. Ataque, con un reactivo químico adecuado

CORTE.- En general, se deben cortar uno o varios trozos pequeños del objeto que se va a examinar. La ubicación de estas muestras y la forma en que se corten afectarán los resultados y su interpretación. Por ejemplo, una varilla de acero estirada en frío puede cortarse en tal forma que quede expuesta una sección transversal o longitudinal, y ambas secciones variarán notablemente en su aspecto. En el caso



del acero (y de algunas otras aleaciones), es necesario evitar el calentamiento de la muestra al hacer el corte ya que esto puede alterar el estado de la superficie, que más tarde deberá pulirse y atacarse con ácido. Casi siempre es conveniente realizar los cortes, utilizando un medio refrigerante o hacerlo lentamente, a fin de que el calor generado en la pieza no altere su estructura.



Figura 1.- Cortadora de disco abrasivo

MONTAJE.- Si la probeta que va a examinarse es lo suficientemente grande para que pueda sujetarse bien con la mano, no es necesario montarla. No obstante, la mayoría de las veces la probeta es demasiado pequeña para que pueda sostenerse en forma (por ejemplo, un tramo de varilla, alambre o lámina) mientras se lija o pule, por lo que será necesario montarla en algún material plástico.

DESBASTE. - Este proceso se efectúa usando lijas de grano cada vez más fino. La lija se sostiene sobre una superficie plana y dura, que puede ser acero o vidrio y la muestra se lija sin seguir un movimiento oscilatorio, sobre la lija. Cuando se termina de lijar, en cada etapa, las marcas deben estar todas en la misma dirección, como se muestra en la figura 1. Antes de continuar con la siguiente lija más fina, deben lavarse y secarse con cuidado las manos y la muestra. Ahora, la probeta debe desplazarse en tal forma que las rayas hechas por las distintas lijas formen ángulos rectos con las del inmediatamente anterior. Así puede verse con claridad si se han eliminado las rayas más gruesas que se hicieron en la operación anterior, como se ve en la figura 1.

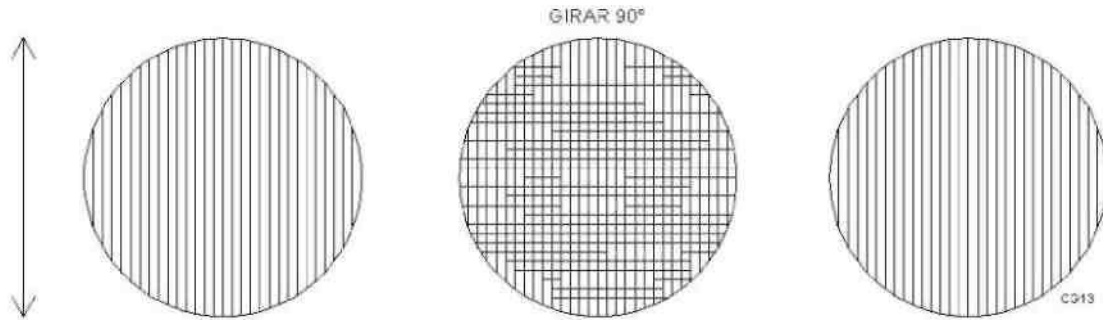


Figura 2.- Desbaste a 90° en diferentes pasos.

PULIDO.- Este procedimiento se basa en el uso de una rueda cubierta con un paño, cargado con una suspensión de alúmina. Periódicamente se debe aplicar agua, para mejorar la acción pulidora y la limpieza. Al principio, la muestra se sostiene en una posición sobre la rueda, sin hacerla girar, hasta que se hayan eliminado la mayoría de las marcas anteriores. Luego puede girarse con lentitud en sentido contrario al de rotación de la rueda hasta que solo puedan verse las marcas dejadas por la alúmina. La rotación de la muestra reduce a un mínimo el peligro de formación de ranuras, por las que se extraen del metal partículas precipitadas.

Se procede a hacer el pulido final después de lavar las manos y la muestra, a fin de evitar cualquier contaminación de la rueda de pulido. A esta rueda cubierta de tela se le aplica una suspensión de alúmina. La muestra se hace girar con lentitud en sentido contrario al de la rotación de la rueda y se pule hasta que desaparecen las marcas dejadas por la alúmina anterior. Los resultados del pulido pueden mejorar si la última etapa de pulido se efectúa en una rueda de baja velocidad.



Figura 3.- Pulidora doble



ATAQUE QUÍMICO. - Un reactivo común para atacar el acero es el nital, que consiste de 2 por ciento de ácido nítrico disuelto en alcohol etílico. El nital se vierte en un recipiente y la muestra, lavada y secada previamente, se sumerge, agitándola suavemente durante un tiempo que oscila entre 5 y 20 segundos. Inmediatamente después, se lava la muestra con agua corriente, se enjuaga con alcohol y se seca.

Para otros metales y aleaciones se usan diferentes reactivos. Se recomienda la técnica de frotación para ciertos metales y aleaciones en lugar de la técnica de inmersión.

EQUIPO

- . Cortadora de disco, con refrigerante
- . Microscopio metalográfico
- . Equipo

MATERIALES

- . Barra de acero serie ASI
- . Lijas de diferentes grosores
- . Algodón

REACTIVOS

- . Alúmina
- . Nital al 2 %
- . Alcohol

INSTRUCCIONES PARA PREPARAR UNA MUESTRA METALGRÁFICA

Corte

Cortar un tramo de 2 a 2.5 cm de una barra, de acero.

Desbaste

- 1- Apoyar sobre la mesa de trabajo la lija de grano más grueso.
- 2- Lijar la cara elegida longitudinalmente en un sólo sentido cuidando de conservar la cara desbastada perfectamente plana.
- 3- Lavar la probeta y la lija en un chorro de agua frecuentemente.
- 4- Repetir la operación de desbaste descrita con la lija del número siguiente, con la probeta girada 90° respecto a la dirección anterior.
- 5- Lavar como se dijo en la primera etapa. El lijado deberá hacerse hasta la desaparición completa



de las rayas dejadas por la lija anterior.

- 6- Repetir esta secuencia de operaciones hasta llegar a la lija más fina.

Pulido

1. Agregar la suspensión acuosa de alúmina sobre el "pañó del disco y prender la pulidora.
2. Tomar firmemente la muestra y apoyar la cara lijada sobre el paño cuidando de que toda la cara pulida toque el disco, con el objeto de evitar que la probeta se escape de la mano o que los bordes se redondeen.
3. Durante la operación de pulido la probeta deberá desplazarse en dirección radial desde el centro hasta el borde del disco.
4. La presión ejercida deberá ser ligeramente inferior a la aplicada durante la operación de desbaste para hacer desaparecer en unos pocos minutos las rayas de la última lija, cuidando de no inclinarla probeta por el peligro del desgarramiento del paño.
5. Lavar la probeta en un chorro de agua y secarla.

Ataque Químico

1. Desengrasar con alcohol la cara de la probeta previamente pulida y secarla.
2. Tomar la probeta y sumergirla, con la cara pulida hacia abajo en el reactivo de ataque contenido en el cristalizador. Mantener la probeta sumergida durante el tiempo que establezca el profesor. Extraerla, lavarla, secarla y observar al microscopio.
3. Observar la microestructura a distintos aumentos,
4. Cuando se sobreataque o le falte ataque, repulir y repetir la operación descrita anteriormente,

Examen Microscópico

La muestra se coloca en la platina de un microscopio metalográfico de modo que su superficie esté perpendicular al eje óptico. Puede observarse con ampliaciones diferentes, pero si se examina a 400x deben aparecer claramente las laminillas de la perlita en una muestra de acero recocido. Si por el contrario, el ataque con ácido ha sido excesivo, la perlita será muy negra y las laminillas individuales aparecerán indistintamente. A veces un repulido muy ligero, durante cinco o diez segundos, seguido de otro ataque químico, mejora la claridad de la imagen. Con frecuencia esto no es necesario si el ataque se produce por frotación y no por inmersión.

CUESTIONARIO

1. ¿Por qué es necesario lijar bajo la presencia de un flujo constante de agua?
2. ¿Por qué es conveniente desplazar en dirección radial la probeta durante el pulido con alúmina?
3. ¿Qué diferencias se observan entre una probeta de superficie distorsionada y otra sin distorsión?
4. ¿Qué efecto tiene un ataque químico deficiente y un sobreataque?
5. Explicar por qué después del ataque químico se ven los límites de grano.
6. ¿Qué materiales plásticos se utilizan para el montaje de las muestras metalográficas?
7. ¿Por qué mejora el aspecto de algunas microestructuras al repulirlas y volverlas a atacar?



8. ¿Cuál es la composición del reactivo de ataque para el latón?
9. Se recomienda agregar alcohol etílico a las probetas para secarlas en la última etapa del pulido.
¿Por qué?
10. ¿Cuál es la composición del reactivo de ataque para aluminio?

Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).



Guía de práctica N° 2

Reconocimiento de los constituyentes del acero al carbono

Sección :

Docente :

Apellidos :

Nombres :

Fecha :/...../ Duración:

Tipo de práctica: Individual () Grupal ()

OBJETIVOS

1. Distinguir los constituyentes y las fases de los aceros al carbono.
2. Evaluar la dureza, la resistencia y la ductilidad de un acero al carbono de acuerdo al contenido de ferrita y perlita.

INTRODUCCIÓN

Estrictamente hablando, los aceros al carbono son aleaciones formadas únicamente por hierro y carbono. Sin embargo, en la práctica un acero al carbono contiene un porcentaje muy pequeño de otros elementos, los cuales podemos considerar que están presentes como impurezas, ya que no es costeable tratar de eliminarlos durante el proceso de obtención del acero. Dentro de estos elementos podemos mencionar al silicio, manganeso, fósforo y azufre.

En el hierro puro hay tres fases sólidas: alfa (**α**), gama (γ) y delta (δ). Estas tres fases se conservan para las aleaciones Hierro-Carbono (ver diagrama de fases), en las cuales la fase alfa recibe el nombre de ferrita y la fase gama recibe el nombre de austenita. Podemos encontrar así mismo los constituyentes perlita y cementita.

Cabe mencionar que las fases anteriores estarán presentes en un acero al carbono, cuando las condiciones de enfriamiento del acero desde el estado líquido se llevan a cabo en condiciones de equilibrio.

Dependiendo del contenido de carbono, las propiedades mecánicas del acero al carbono varían. Entre las propiedades más importantes podemos mencionar:

- . Resistencia a la fluencia o cedencia.
- . Resistencia máxima a la tensión.
- . Ductilidad.
- . Dureza.
- . Tenacidad.



- . Módulo de elasticidad

Es importante tener presente que para un acero el contenido de carbono y la dureza guardan una relación estrecha.

Aquí obtendremos la relación entre el contenido de carbono y la dureza.

EQUIPO

- . Cortadora de disco, con refrigerante
- . Microscopio metalográfico
- . Equipo de montaje para briquetas

MATERIALES

- . Probetas de acero ASI 1020, 1080, 4140
- . Lijas de diferentes grosores
- . Algodón

REACTIVOS

- . Alúmina
- . Nital al 2 %
- . Alcohol

INSTRUCCIONES

- Observar al microscopio e identificar los constituyentes: para cada una de las muestras proporcionadas.
- Dibujar el campo o estructura observada en ellas.
- Con base en las observaciones hechas determinar aproximadamente la cantidad de carbono y a partir de esto evaluar las propiedades de cada uno de estos aceros.



CUESTIONARIO

1. Diga qué porcentaje aproximado de perlita tiene cada una de las muestras determinando la cantidad del área que ocupa en el campo observado.
2. Determine la cantidad de carbono (%C) aproximadamente de cada una de las muestras. Para ello haga uso del diagrama Fe-C y de la regla de la palanca.
3. ¿Qué relación puede obtener usted entre el contenido de carbono (%C) y la dureza a partir de los datos anteriores.
4. Diga como varía la ductilidad de un acero con el contenido de carbono (%C).
5. Diga como varía la resistencia máxima a la tensión con el contenido de carbono (%C).
6. De acuerdo a la pregunta anterior ¿Cuál de las probetas debe ser la más resistente?
7. ¿Qué es una reacción eutectoide?
8. Diga qué cantidad de fase proeutectoide tiene cada una de las muestras.
9. El hierro es alotrópico. ¿Qué significa esto?
10. Explicar qué es un acero 41xx, de acuerdo con las normas SAE-AISI.

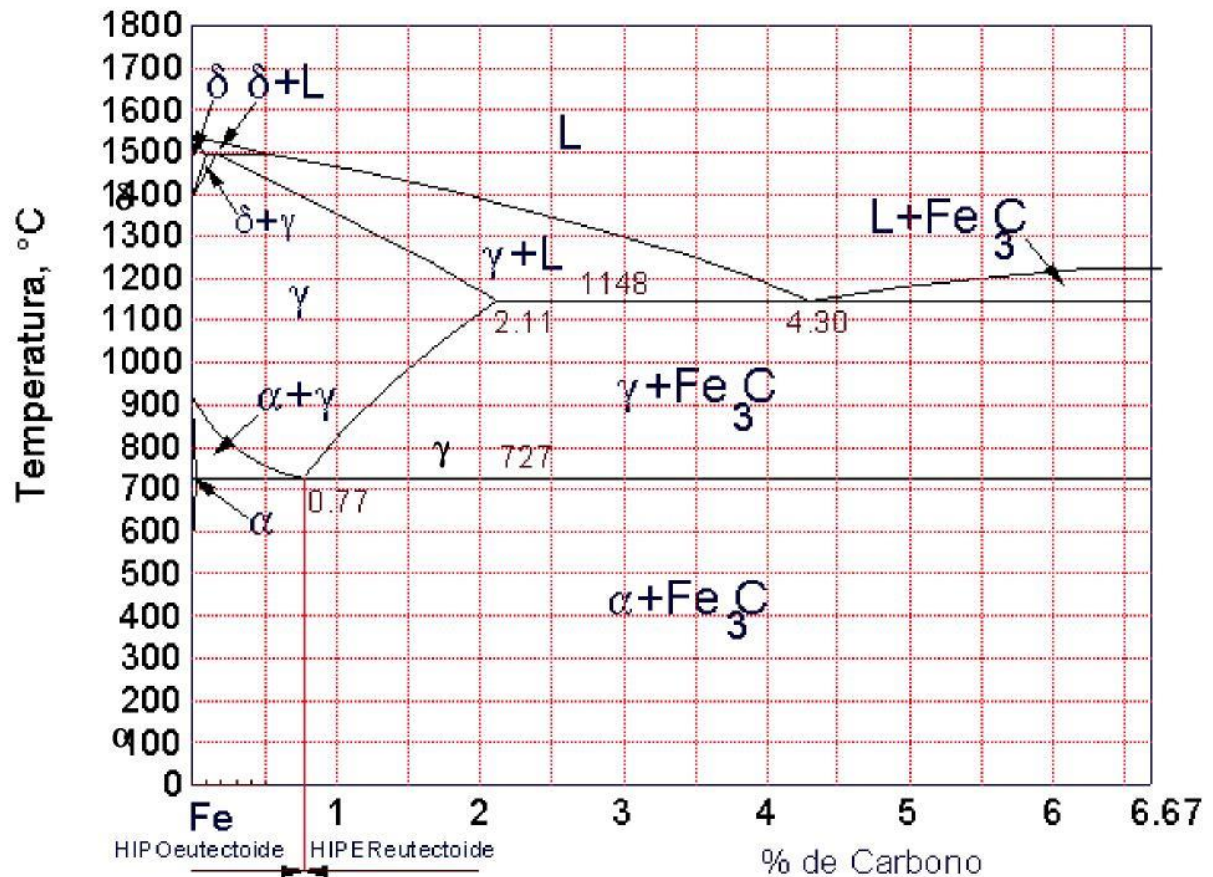


Figura 1. Diagrama de fases Fe-Fe₃C

Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).



Guía de práctica N° 3

Reconocimiento de los microconstituyentes de las fundiciones de hierro

Sección :
Docente :

Apellidos :	
Nombres :	
Fecha :/...../	Duración:
Tipo de práctica: Individual () Grupal ()	

OBJETIVO

El alumno identificará los constituyentes principales de los diferentes tipos de hierro fundido.

INTRODUCCIÓN

La industria de la producción de hierro fundido es una de las principales a nivel internacional. Anualmente son producidas piezas que son ensambladas y empleadas como componentes de equipos y maquinarias. La producción de hierro fundido es el triple al resto de las producciones de metales ferrosos y no ferrosos juntos, superado solo por la producción de acero laminado según datos obtenidos.

Los hierros fundidos, como los aceros, son básicamente aleaciones de hierro y carbono.

Con relación al diagrama Fe-Fe₃C (figura 1), los hierros fundidos contienen más carbono que el necesario para saturar la austenita a la temperatura eutéctica, por tanto, contienen entre 2 y 6.7 % de carbono. Como el alto contenido de este elemento tiende a hacer muy frágil al hierro fundido, la mayoría de los tipos manufacturados están en el intervalo de 2.5 a 5 % de carbono, además, contienen silicio del 2 al 4%, manganeso hasta 1%, bajo azufre y bajo fósforo

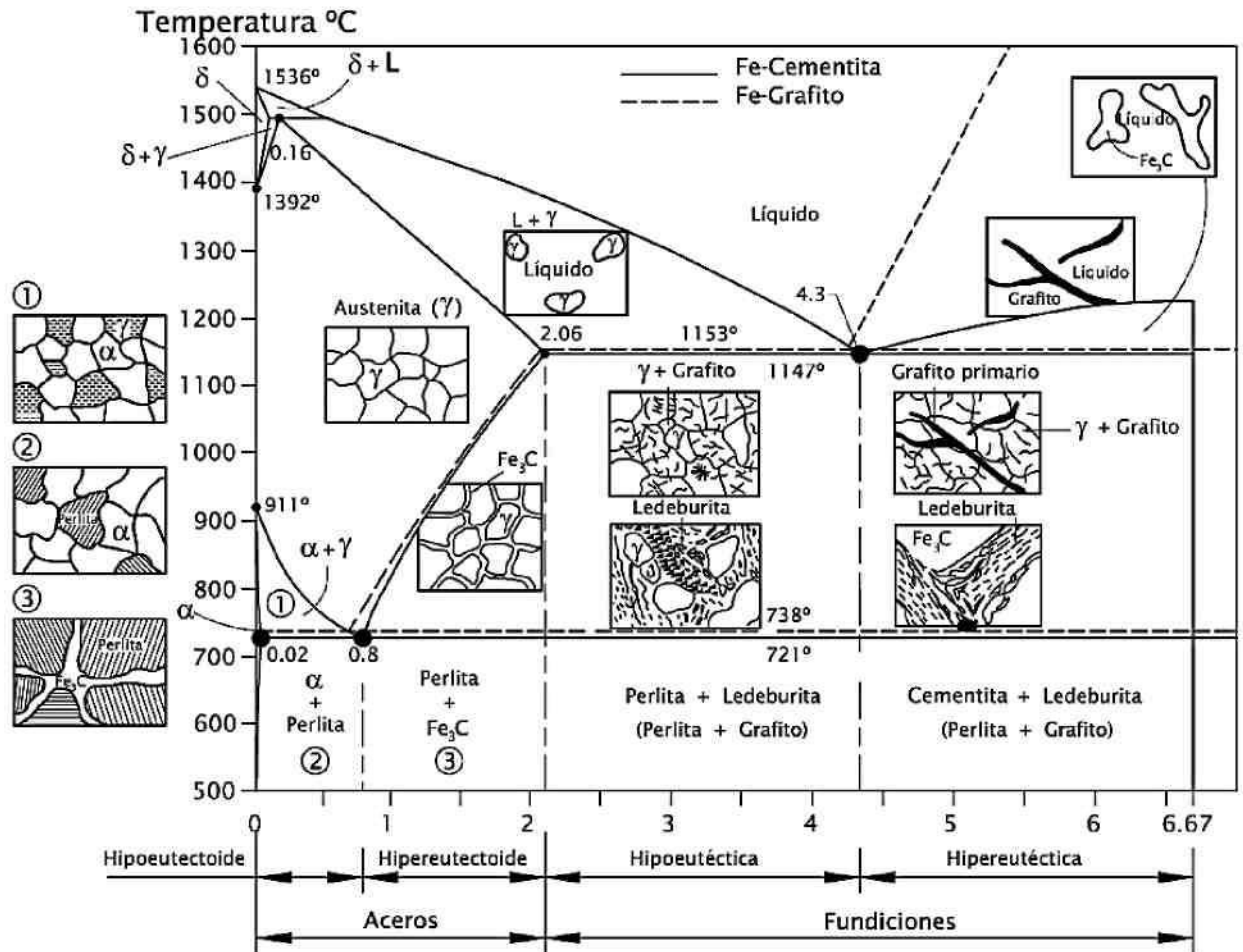


Figura 1. Diagrama de fases

La ductilidad del hierro fundido es muy baja y no puede laminarse, estirarse o trabajarse en frío o en caliente. Se pueden obtener piezas de diferente tamaño y complejidad siendo poco soldables pero sí maquinables, siendo relativamente duras y resistentes a la corrosión y al desgaste. Como la fundición de piezas es el único proceso aplicable a estas aleaciones se conocen como hierros fundidos, fundiciones de hierro o, hierros colados.

Aunque los hierros fundidos son frágiles y tienen menores propiedades de resistencia que la mayoría de los aceros, son baratos y pueden fundirse más fácilmente mostrando también las ventajas siguientes:

- Son más fáciles de maquinar que los aceros.
- Se pueden fabricar piezas de diferente tamaño y complejidad.
- En su fabricación no se necesitan equipos ni hornos muy costosos.
- Absorben las vibraciones mecánicas y actúan como autolubricantes.
- Son resistentes al choque térmico, a la corrosión y de buena resistencia al desgaste

Además, mediante una aleación adecuada, buen control de la fundición y un tratamiento térmico adecuado, las propiedades de un hierro fundido pueden modificarse ampliamente. Los significativos progresos desarrollados en el control de la fundición



han dado lugar a la producción de grandes toneladas de hierros fundidos, cuyas propiedades suelen ser muy consistentes.

El mejor método para clasificar el hierro fundido es de acuerdo con su estructura metalográfica, así, las variables a considerar y que dan lugar a los diferentes tipos de hierros fundido son:

- El contenido de carbono
- El contenido de elementos aleantes e impurezas
- La rapidez de enfriamiento, durante y después de la solidificación y
- El tratamiento térmico posterior

Estas variables controlan la fundición, o sea la condición del carbono y también su forma física. El carbono puede estar combinado en forma de carburo de hierro (Fe_3C) o existir como carbono libre en forma de grafito. La forma y distribución de las partículas de carbono sin combinar influye en forma determinante sobre las propiedades mecánicas del hierro fundido. Estas aleaciones se clasifican por lo tanto, según el estado en que se encuentra el carbono en la microestructura, así como por la microestructura de la matriz, siendo los principales tipos los siguientes

a) Hierro fundido blanco. El carbono se encuentra en porcentaje, formando una red de Fe_3C	+ matriz de acero (ferrita, perlita Martensita , etc)
b) Hierro fundido gris. El carbono se encuentra libre en la forma de hojuelas de grafito	
c) Hierro dúctil o nodular. El carbono se encuentra libre en forma de nódulos o esferas	
d) Hierro maleable. El grafito se encuentra en forma de nódulos informes (carbono recocido)	
e) Hierros fundidos aleados.	

Hierros fundidos blancos

Se les da este nombre por la apariencia que tiene el material fracturarse. Se forma al enfriar rápidamente la fundición de hierro desde el estado líquido, siguiendo el diagrama hierro-cementita metaestable; durante el enfriamiento, la austenita solidifica a partir de la aleación fundida en forma de dendritas. A los 1148 °C el líquido alcanza la composición eutéctica (4.3%C) y se solidifica como un eutéctico de austenita y cementita llamado ledeburita. Este eutéctico aparece en su mayor parte como cementita blanca que rodea las dendritas de forma de helecho.



Hierros fundidos grises

El hierro gris es uno de los materiales ferrosos más empleados es un excelente material para hacer piezas resistentes y fácilmente moldeables, se utiliza en muchas piezas para maquinaria en todas la ramas de la industria, su resistencia y duración es excelente. Su nombre se debe a la apariencia de su superficie al romperse. Esta aleación ferrosa contiene en general más de 2% de carbono y más de 1% de silicio, además de manganeso, fósforo y azufre.

Una característica distintiva de la fundición de hierro gris es que el carbono se encuentra en general como grafito, adoptando formas irregulares descritas como "hojuelas". Este grafito es el que da la coloración gris a las superficies de ruptura de las piezas elaboradas con este material.

Hierros fundidos nodulares

El hierro dúctil o nodular se obtiene mediante la introducción controlada de magnesio o cerio en el hierro fundido, y bajas proporciones de azufre y fósforo.

Se obtiene de este modo una extraordinaria modificación en la micro-estructura del metal, ya que el carbono se deposita en la matriz ferrítica en forma de esferas y así la continuidad de la matriz se interrumpe mucho menos que cuando se encuentra en forma laminar, esto da lugar a una resistencia a la tracción y tenacidad mayores que en la fundición gris ordinaria, en la que el carbono toma la forma de láminas.

El resultado de este cambio de estructura, es un aumento sustancial en las propiedades siguientes:

- Resistencia a la compresión.
- Resistencia a la abrasión.
- Aptitud al moldeo.
- Resistencia a la fatiga.
- Maquinabilidad.

Hierros fundidos maleables

La materia prima para poder producir éste tipo de hierro fundido, es el hierro fundido blanco, en donde el carbono se encuentra en forma de carburo (Fe_3C). Aprovechando que el carburo de hierro es una fase metaestable y que su descomposición en $\text{Fe} + \text{C}$ se ve favorecida por las altas temperaturas se lleva a cabo lo que se conoce como proceso de maleabilización

Las características de estos hierros fundidos se pueden considerar intermedias entre los hierros grises y los hierros fundidos nodulares, siendo los hierros maleables con matriz perlítica los más resistentes, pero un poco menos dúctiles. Poseen buena resistencia al desgaste, al impacto térmico, excelente maquinabilidad y poca capacidad de ser soldados especialmente los de matriz perlítica.



- . Cortadora de disco, con refrigerante
- . Microscopio metalográfico
- . Equipo de montaje para briquetas

MATERIALES

- . Probetas de diferentes tipos de fundiciones
- . Lijas de diferentes grosores
- . Algodón

REACTIVOS

- . Alúmina
- . Nital al 2 %
- . Alcohol

PROCEDIMIENTO

1. Desbastar las probetas proporcionadas de manera sucesiva con papeles abrasivos de No. 240, 400, 600, 800 y 1000.
- 2.- Pulir las probetas con ayuda de un paño de lana y alúmina hasta que hayan desaparecido todas las marcas dejadas por los papeles abrasivos.
- 3.- Observar la estructura con ayuda del microscopio metalográfico a 100 y 400X
4. Dibujar o fotografiar las estructuras observadas
5. Atacar las probetas con nital durante 5 segundos
6. Volver a observar al microscopio a 100 y 400X
7. Volver a dibujar o fotografiar las estructuras observadas

CUESTIONARIO

1. ¿A qué se le llama arrabio?
2. ¿Por qué el arrabio a veces también se le da el nombre de fundición blanca?
3. Describir los métodos avanzados de producción de hierro fundido.
4. ¿En qué estado se encuentra el carbono en los diferentes tipos de fundiciones?
5. ¿Cuáles son las diferencias básicas entre los aceros y los hierros fundidos?



6. De qué modo influyen el silicio y el manganeso sobre el estado del carbono en el hierro fundido.
7. Indicar las composiciones típicas de las fundiciones gris y blanca
8. ¿Según las normas ASTM cómo se designan los diferentes tipos de fundiciones?
9. ¿Cómo influyen el magnesio y el cerio en los hierros fundidos nodulares?
10. ¿Por qué son más económicos las fundiciones de hierro?

Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).



Guía de práctica N° 4

Tratamiento térmico recocido

Sección :
Docente :

Apellidos :
Nombres :
Fecha :/...../ Duración:
Tipo de práctica: Individual () Grupal ()

OBJETIVOS

1. Efectuar un recocido total a un acero tratado anteriormente
2. Comprobar que el acero recupera sus constituyentes y propiedades originales

INTRODUCCIÓN

El recocido de los aceros es un tratamiento térmico que consiste en calentar el metal hasta una determinada temperatura y, posterior enfriamiento lento.

Como resultado del enfriamiento lento, el acero se acerca al equilibrio estructural y de fase. Por lo que, el fin del recocido es la obtención de la estructura equilibrada, la eliminación de los esfuerzos internos y, en relación con esto, el incremento de la ductilidad y tenacidad del acero necesarias para etapas posteriores en su uso.

Por lo tanto, después del recocido se obtienen las estructuras indicadas en el diagrama Fe-Fe₃C: ferrita más perlita en los aceros hipoeutectoides; perlita en los aceros eutectoides y, perlita más cementita en los aceros hipereutectoides.

El recocido total se aplica comúnmente a los aceros hipoeutectoides y consiste en el calentamiento a una temperatura de 30-50 °C por arriba de la línea A₃, permaneciendo a esta temperatura una cuarta parte del tiempo de calentamiento y un posterior enfriamiento lento dentro del horno hasta una temperatura de 500-400 °C y por último enfriándose al aire.

EQUIPO

- . Cortadora de disco, con refrigerante
- . Microscopio metalográfico
- . Equipo de montaje para briquetas
- . Mufla
- . Durómetro



- Pinzas de sujeción
- Guantes de asbesto

MATERIALES

- Probetas de acero tratadas anteriormente mediante el temple.
- Lijas de diferentes grosores
- Algodón

REACTIVOS

- Alúmina
- Nital al 2 %
- Alcohol

PROCEDIMIENTO

1. Colocar las probetas en el horno y calentar lentamente hasta alcanzar la temperatura derecocido (austenitización).
2. Mantener esa temperatura durante 30 minutos (dependiendo del tamaño de la pieza, el tiempo puede variar).
3. Después, enfriar lentamente a 500 °C dentro del horno y a continuación al aire,
4. Una vez enfriadas las probetas, pulirlas atacarlas y observarlas al microscopio a 400x. Dibujar lo observado.
5. Efectuar la prueba de dureza y comparar los valores obtenidos con los originales.



CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es el propósito del recocido?
2. ¿Recuperó el acero sus constituyentes y propiedades originales? ¿Por qué?
3. ¿Qué relación hay entre el recocido y la resistencia a la corrosión?
- 4.- Explicar las diferentes variantes que existen del tratamiento térmico de recocido.

Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).



Guía de práctica N° 5

Tratamiento térmico normalizado

Sección :

Docente :

Apellidos :

Nombres :

Fecha :/...../ Duración:

Tipo de práctica: Individual () Grupal ()

OBJETIVO

Comprobar que en el acero tratado se obtiene perlita fina, con mayor dureza que en el recocido.

INTRODUCCIÓN

El normalizado es una variedad de recocido en el cual se enfría el material en aire tranquilo, con lo que se consigue un enfriamiento algo más rápido que en el recocido ordinario. El recocido y el normalizado son por lo regular, las operaciones iniciales del tratamiento térmico, tienen por objeto subsanar algunos defectos de procesos anteriores (colada, forjado, etc.). Sin embargo, suele ser con mucha frecuencia el tratamiento térmico final.

La designación de la normalización es distinta en dependencia de la composición del acero. Para los aceros con bajo contenido de carbono, la normalización se emplea en lugar del recocido. Para los aceros con 0.3% de carbono aproximadamente, la normalización se emplea en lugar del temple y del revenido a alta temperatura.

EQUIPO

- . Cortadora de disco, con refrigerante
- . Microscopio metalográfico
- . Equipo de montaje para briquetas
- . Mufla
- . Durómetro
- . Pinzas de sujeción
- . Guantes de asbesto

MATERIALES

- . Probetas de acero tratadas anteriormente.
- . Lijas de diferentes grosores



. Algodón

REACTIVOS

- . Alúmina
- . Nital al 2 %
- . Alcohol

PROCEDIMIENTO

Tomar una probeta tratada anteriormente y normalizarla.

1. Colocar la probeta en el horno y calentar lentamente hasta alcanzar la temperatura de normalizado.
2. Mantener esa temperatura durante unos 30 minutos.
3. Después enfriar la probeta al aire.
4. Una vez enfriadas las probetas al aire, pulirlas, atacarlas y observarlas al microscopio con 400x. Dibujar lo observado.
5. Realizar la prueba de dureza y anotar los resultados obtenidos.
6. Comparar los resultados del normalizado y del recocido.

CUESTIONARIO

- 1.- ¿Qué es el normalizado y que tipo de estructura produce?
- 2.- ¿Qué diferencia existe entre el normalizado y el recocido?
- 3.- ¿Qué ventajas ofrece el enfriamiento al aire?
- 4.- ¿Por qué se dice que tanto el normalizado como el recocido son tratamientos térmicos iniciales y, sin embargo, muchas ocasiones se utilizan como tratamiento térmico final?

Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).



Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).



Guía de práctica N° 6

Tratamiento térmico de temple

Sección :
Docente :

Apellidos :
Nombres :
Fecha :/...../ Duración:
Tipo de práctica: Individual () Grupal ()

OBJETIVO

Determinar las condiciones de temple de un acero cuyas características se desconocen.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento térmico de temple consiste en calentar el acero a una temperatura predeterminada; mantener esta temperatura hasta que el calor haya penetrado hasta el corazón de la pieza y enfriar bruscamente en el medio correspondiente según el tipo de acero.

La temperatura de temple para los aceros de diferente contenido de carbono y elementos aleantes está determinada por la posición de las líneas A_1 y A_3 .

Para los aceros al carbono la temperatura de temple puede determinarse por el diagrama Hierro-Carburo de hierro. Por lo general para el acero hipoeutectoide debe ser 30-50 ° C más alta que A_{c3} y para el hipereutectoide, 30-50° C más alto que A_{c1} .

El calentamiento de temple se realiza en hornos de acción periódica y continua, generalmente en hornos eléctricos o que funcionan a base de combustible gaseoso o líquido. Se emplean ampliamente los hornos de baño, en los cuales la pieza se calienta en sales fundidas.

Es deseable que el medio de enfriamiento para el temple enfríe con rapidez en la zona de temperaturas donde la austenita tiene poca estabilidad (600-500° C) y con lentitud en la zona de temperaturas de la transformación martensítica (300-200° C) para que no se originen esfuerzos muy elevados que puedan deformar o agrietar el material.

Para templar las piezas hechas de acero al carbono, con alta velocidad crítica de temple, se utiliza corrientemente el agua; aunque otro medio de enfriamiento muy común es el aceite. Los mejores resultados se obtienen templando en baños de sal, los cuales tienen muchas ventajas sobre los medios de enfriamiento ya citados.

Cuando la composición del acero se desconoce, será necesaria una experimentación para determinar el rango de temperaturas de temple. El procedimiento a seguir es templar un determinado número de muestras del acero a diferentes temperaturas y medios de temple y observar los resultados mediante pruebas de dureza o al microscopio. La temperatura y medio de temple adecuados serán los que den como resultado el mayor aumento en la dureza y en otras propiedades sin ocasionar fracturas o deformaciones.



EQUIPO

- . Cortadora de disco, con refrigerante
- . Microscopio metalográfico
- . Equipo de montaje para briquetas
- . Recipiente para contener los medios de temple.
- . Mufla
- . Durómetro
- . Pinzas de sujeción
- . Guantes de asbesto

MATERIALES

- . Probetas de acero tratadas anteriormente mediante el temple.
- . Lijas de diferentes grosores
- . Algodón

REACTIVOS

- . Alúmina
- . Nital al 2 %
- . Alcohol

PROCEDIMIENTO

Se utilizarán por lo menos dos probetas de acero de la misma composición de carbono, para visualizar las diferencias de temple en agua y aceite.

1. Corte, desbaste y pulido de las probetas de acero.
2. Ataque de las probetas de acero con el reactivo.
3. Se tomarán dos muestras o probetas iguales y se les denominarán probeta 1 y probeta 2.
4. Observar al microscopio cualquiera de las probetas y dibujar la microestructura observada a 400X.
5. Practicar la prueba de dureza a las probetas.
6. Calentar las dos probetas en la mufla a una temperatura comprendida entre 850 y 900°C durante 20 minutos.
7. Cuando las probetas estén listas para el temple, tomarlas con las pinzas y depositar primero la probeta 1 en el recipiente con agua y agitar en forma de "ocho" dentro del medio de temple. Hacer



lo mismo con la probeta 2, sólo que se templará en aceite.

8. Pulir y atacar con el mismo reactivo a las probetas.
9. Observar en el microscopio las dos probetas y dibujar lo observado a 400X.
10. Practicar la prueba de dureza a las dos probetas.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué es un tratamiento térmico?
2. ¿Qué es el temple y cuál es su objetivo?
3. ¿Qué es un temple completo y qué es el temple incompleto?
4. ¿Cuáles son el medio de enfriamiento que se emplean en el temple, y de qué factores depende la elección de éstos?
5. Para la mayoría de los propósitos donde el acero al carbono debe ser endurecido. ¿Cuál es el rango de contenido de carbono que es utilizado? ¿Por qué?
6. En el templado ¿Qué determina la máxima dureza que puede obtenerse en una pieza de acero?
7. ¿Por qué no debe calentarse el acero demasiado arriba de su temperatura crítica superior antes de ser enfriado?
8. ¿Qué es la velocidad crítica de enfriamiento?
9. ¿Para qué se adicionan elementos aleantes a los aceros?
10. Explique por qué no es deseable la oxidación en un tratamiento térmico.
11. Explique por qué no es deseable la descarburación en un tratamiento térmico.
12. ¿Qué ventajas proporciona un calentamiento previo (precalentamiento) del acero antes de ser templado?
13. ¿Qué ventajas se obtienen al templar en baños de sal nuestras probetas?
14. ¿A qué se deben los cambios dimensionales ocasionados al templar aceros?

Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).



Guía de práctica N° 7

Prueba de templabilidad Jominy

Sección :
Docente :

Apellidos :	
Nombres :	
Fecha :/...../	Duración:
Tipo de práctica: Individual () Grupal ()	

OBJETIVOS

1. Conocer y realizar la prueba Jominy, para determinar la templabilidad de un acero.
2. Determinar y comparar la dureza a lo largo de la probeta de Jominy de acuerdo a diversas velocidades de enfriamiento.

INTRODUCCIÓN

Hace muchos años los productores de acero desarrollaron manuales extensos que mostraban los perfiles de dureza que se podían lograr en diversos aceros con diferentes condiciones de temple para varios espesores.

Después de pensar un poco vemos que con las variables de composición el espesor de la sección y el medio de temple, se necesitaría literalmente de miles de curvas para tener en cuenta todas las posibilidades.

Además, surgió la pregunta de cómo se podía comprobar un lote de acero para saber cuál era su capacidad de endurecimiento, dentro de la variación de los análisis químicos de los lingotes comerciales.

Para resolver el problema de evaluar millones de toneladas de acero en la industria automotriz, Walter Jominy y sus asociados desarrollaron la barra para evaluar la templabilidad. El fundamento de este ensayo es producir en una sola barra, una gran cantidad de velocidades de enfriamiento conocidas.

La prueba de Jominy es un procedimiento de laboratorio para medir la templabilidad de un acero. Se prepara una probeta estándar y se austenitiza en la manera normal para el acero dado.

El enfriamiento brusco, sin embargo, se hace sólo en uno de los extremos de la probeta, por medio de un chorro estándar de agua. Así, la intensidad de enfriamiento variará a lo largo de la barra desde un máximo cerca del extremo enfriado hasta un mínimo en el otro extremo.

La medición de la dureza Rockwell C sobre una zona plana rectificada a lo largo de toda la probeta enfriada, da una indicación fidedigna de la estructura.

El diagrama de todos los valores de dureza conforma la curva de Jominy para la muestra de acero que se prueba. Debido a las inevitables variaciones de composición que ocurre durante la producción



industrial de un tipo de acero específico, las curvas de Jominy varían considerablemente de una colada a otra.

La dureza mayor se encuentra en el extremo templado, (donde se tiene contacto con el agua) es en esta zona donde se forma martensita, y la dureza disminuye a medida que las mediciones se alejan de dicho extremo.

Con estos datos de algunas curvas de Jominy, para los aceros más importantes, se puede elegir el acero apropiado para una pieza determinada.

El método más usual de comprar acero se basa en su composición química, lo cual permite una considerable variación en el contenido de carbono y de aleación del acero; por ejemplo: un acero AISI 4340 tiene el intervalo de composición de 0.38 a 0.43% de C, de 0.60 a 0.80 de Mn y de 0.30 de Mo.

EQUIPO

- Mufla.
- Durómetro Rockwell.
- Dispositivo Jominy para llevar acabo la práctica (se encuentra instalado en el laboratorio).
- Pinzas de sujeción
- Guantes de asbesto

MATERIALES

Barra de acero con dos superficies planas, paralelas longitudinalmente a una profundidad de 1/5 de pulgada.

- Lijas de diferentes grosores
- Algodón

REACTIVOS

- Alúmina
- Nital al 2 %
- Alcohol



PROCEDIMIENTO

- 1.- La barra de acero que va a ensayarse tiene 4 pulgadas de longitud y una pulgada de diámetro, cuenta con dos caras planas paralelas a los costados y además tiene un reborde en el extremo superior de la barra, el cual tiene como objetivo sostener la pieza.
- 2.- Se calienta la barra en la mufla hasta alcanzar la temperatura de austenitización y se mantiene así durante 30 min. Aproximadamente.
- 3.-A continuación, se coloca la probeta en el dispositivo.
- 4.- El agua se suelta rápidamente de modo que el chorro golpee sólo el extremo de la barra, el extremo templado se enfría rápidamente y las regiones que quedan lejos del extremo se enfrían a velocidades proporcionales a su distancia de la porción templada.
- 5.- Después de que la barra esté fría, se retira del soporte y se toman medidas de la dureza Rockwell C cada 1/16 de pulgada.
- 6.- Se deberá hacer una gráfica característica con los resultados obtenidos en el durómetro a lo largo de la barra.



CUESTIONARIO

1. ¿La barra que sometimos a la prueba, tenía un tratamiento térmico previo? ¿Sí o No? Y ¿Por qué?
2. ¿Esta prueba es exclusiva de los aceros o también la podemos emplear en otro tipo de materiales, por qué?
3. En un lote de 100 toneladas de acero de producción de acero, ¿Cuántas pruebas sería conveniente hacer?
4. ¿Este tipo de prueba es costosa? ¿Por qué?
5. ¿Cómo podríamos determinar cuándo un acero cuenta con una buena templabilidad después de hacerle la prueba?
6. Cuando hablamos de velocidad de enfriamiento, ¿Qué es lo que entendemos?

Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).



Guía de práctica N° 8

Tratamiento térmico revenido

Sección :

Docente :

Apellidos :

Nombres :

Fecha :/...../2016 Duración:

Tipo de práctica: Individual () Grupal ()

OBJETIVOS

1. Conocer las etapas que se siguen para efectuar un tratamiento térmico de revenido.
2. Comprobar los efectos y conocer las ventajas de practicar un revenido a los aceros, después de que fueron tratados por medio de un temple.

INTRODUCCIÓN

Se sabe que el tratamiento térmico de temple confiere al acero una alta dureza y resistencia mecánica, sin embargo, otras propiedades como la tenacidad y ductilidad se ven seriamente afectadas, por lo que su aplicación dependerá principalmente de poder conseguir un aumento en la tenacidad y en la ductilidad, sin perder por ello la dureza adquirida.

Este compromiso entre las propiedades antes mencionadas puede lograrse con la aplicación de un tratamiento térmico, posterior al temple, conocido como revenido que consta esencialmente de las etapas siguientes:

- 1.- Calentamiento del acero por debajo de la temperatura de transformación.
- 2.- Mantenimiento a ésta temperatura por un tiempo determinado.
- 3.- Enfriamiento del metal a la velocidad más adecuada.

Los efectos principales del tratamiento térmico de revenido son:

- a) Estabilización y afinamiento de la microestructura.
- b) Eliminación de las tensiones internas del metal, ocasionadas por el temple.

Esto trae como consecuencia que el acero adquiera mayor tenacidad y ductilidad viéndose poco afectadas la dureza y la resistencia mecánica.

Aumentando la temperatura de revenido disminuyen la dureza, la resistencia máxima y el límite elástico hasta llegar a las propiedades que tendría el acero en estado normalizado; la ductilidad y la resistencia al impacto aumentan paulatinamente.



El rango de temperaturas para efectuar este tratamiento, deberá seleccionarse de tal manera que las propiedades finales del acero sean las óptimas para una aplicación específica. El rango recomendable para efectuar el revenido de acero al carbono es de 200 a 400 °C, y además se debe considerar que la velocidad de enfriamiento varía las condiciones finales del acero.

EQUIPO

- . Cortadora de disco, con refrigerante
- . Microscopio metalográfico
- . Equipo de montaje para briquetas
- . Mufla
- . Durómetro
- . Pinzas de sujeción
- . Guantes de asbesto

MATERIALES

- . Probetas de acero tratadas anteriormente mediante el temple.
- . Lijas de diferentes grosores
- . Algodón

REACTIVOS

- . Alúmina
- . Nital al 2 %
- . Alcohol

PROCEDIMIENTO

1. Se utilizan las probetas templadas en la práctica anterior.
2. Calentar las probetas de acero dentro de la mufla a una temperatura comprendida entre 200 y 400°C durante una hora.
3. Después del tiempo señalado en el punto anterior, se apaga la mufla y se retira una de las probetas, la que se dejará enfriar al medio ambiente y la otra se dejará enfriar dentro de la mufla.
4. Pulir y atacar las probetas de acero ya enfriadas.
5. Observar al microscopio a 400x y dibujar el campo observado.



6. Medir la dureza de las probetas.

CUESTIONARIO

1. Hacer una tabla que muestre los resultados obtenidos en la práctica.
2. Dibuje las microestructuras observadas y mencione sus constituyentes principales.
3. Explique la diferencia entre éste tratamiento y el temple.
4. ¿Se encontró alguna diferencia entre la probeta que se enfrió al aire y la probeta que se enfrió dentro de la mufla? ¿Sí?, ¿No? y ¿Por qué?
5. ¿Cuál es el constituyente que se obtiene después del revenido?

Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).



Guía de práctica N° 9

Tratamiento termoquímico cementación

Sección :
Docente :

Apellidos :
Nombres :
Fecha :/...../ Duración:
Tipo de práctica: Individual () Grupal ()

OBJETIVOS.

Esta práctica tiene por objeto Incrementar la dureza superficial del material y obtener una resistencia a l desgaste.

INTRODUCCIÓN

Se llama cementación el proceso de saturación con carbono de la capa superficial de las piezas de acero. La cementación tiene por objetivo comunicar alta dureza a la superficie de la pieza, permaneciendo dúctil el núcleo. Este procedimiento hace que se eleven la resistencia al desgaste y el límite, de fatiga.

El proceso de cementación consta de tres etapas:

La de disociación, que consiste en la descomposición de las moléculas del monóxido carbónico y en el surgimiento do átomos activos de carbono; la de adsorción, o sea, los átomos de carbono se concentran en la superficie de una pieza de acero estableciendo enlace químico con los átomos del metal; la de difusión, es decir, la penetración de los átomos de carbono al interior del metal.

El espesor de la capa de difusión depende de la temperatura de calentamiento, de su duración al saturar y concentrar el carbono en la superficie.

Se someten a cementación las piezas fabricadas con acero pobre en carbono (el contenido de carbono no supera el 0,25%) que han de soportar desgaste por contacto y cargas alternativas.

La cementación se produce a temperaturas superiores al punto Ac3 (900 . . . 950 °C). Cuanto menos carbono contiene el acero, tanto más alta debe ser la temperatura de calentamiento para la cementación. Debido al cementado la capa superficial posee un 0,8 ... 1,0% de carbono. Una concentración más alta de carbono hace que la capa cementada sea más frágil.

La capa cementada tiene una concentración de carbono de espesor variable (fig. 53), la cual disminuye desde la superficie hacia el centro. En relación con esto, después de un enfriamiento lento, en la estructura de la capa cementada se suelen distinguir tres zonas: la hipereutectoide, que consta de



perlita y cementita secundaria; la eutectoide, que es de perlita; la hipoeutectoide, formada por perlita y ferrita (fig. 54).

Se suele tomar por profundidad de la capa cementada la suma de las zonas hipereutectoide, eutectoide y de la mitad de la zona hipoeutectoide. Por lo general, el espesor de esta capa, en la mayoría de los aceros, es de 0,8 ... 1,4 mm.

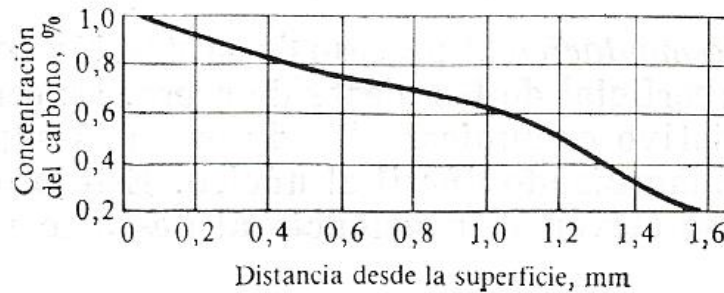


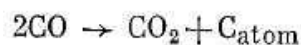
Fig. 53. Variación de la concentración del carbono en la capa cementada

El medio en que se efectúa la cementación, se llama carburizador. En las condiciones de laboratorio es más fácil cementar aplicando el carburizador sólido.

Como carburizador se utiliza el carbón vegetal activado (de roble o de abedul). Para acelerar el proceso, al carbón vegetal se le añaden los activadores —carbonato de bario (BaCO_3), sosa calcinada (Na_2CO_3), etc.— en cantidad de un 10 ... 40% respecto a la masa del carbón.

Por lo general, la mezcla de servicio que se utiliza para la cementación, consta de un 25 ... 35% de carburizador recién preparado y de un 65 ... 75% del ya usado. En este caso el contenido de BaCO_3 en la mezcla es de un 5 ... 7%.

En la caja entre los trocitos de carbón hay aire, cuyo oxígeno interacciona con el carbono del carburizador, produciendo monóxido carbónico CO . Al entrar en contacto con la superficie de las piezas, el monóxido carbónico disocia de acuerdo con la reacción



El carbono elemental desprendido difunde hacia dentro del metal. La adición de carbonatos intensifica el proceso de cementación, ya que en este caso se forma monóxido carbónico.

La duración de calentamiento en el horno a la temperatura de cementación depende del espesor requerido de la capa a cementar y en la práctica se calcula teniendo en cuenta que la capa crece a una velocidad de 0,1 mm/h.



La temperatura de cementación elevada hasta 1000°C . . . 1100 °C permite acelerar el proceso, pero este régimen se puede aplicar sólo para los aceros de grano fino hereditario.

Una vez acabada la cementación, las cajas se suelen enfriar al aire y después, desmontar.

Al acabar la cementación, las piezas se someten a normalizado, para afinar el grano, a temple repetido y revenido a baja temperatura. La capa superficial tratada de este modo adquiere una estructura de martensita de revenido con inclusiones de carburos en exceso cuya dureza es de HRC 60 ... 63.

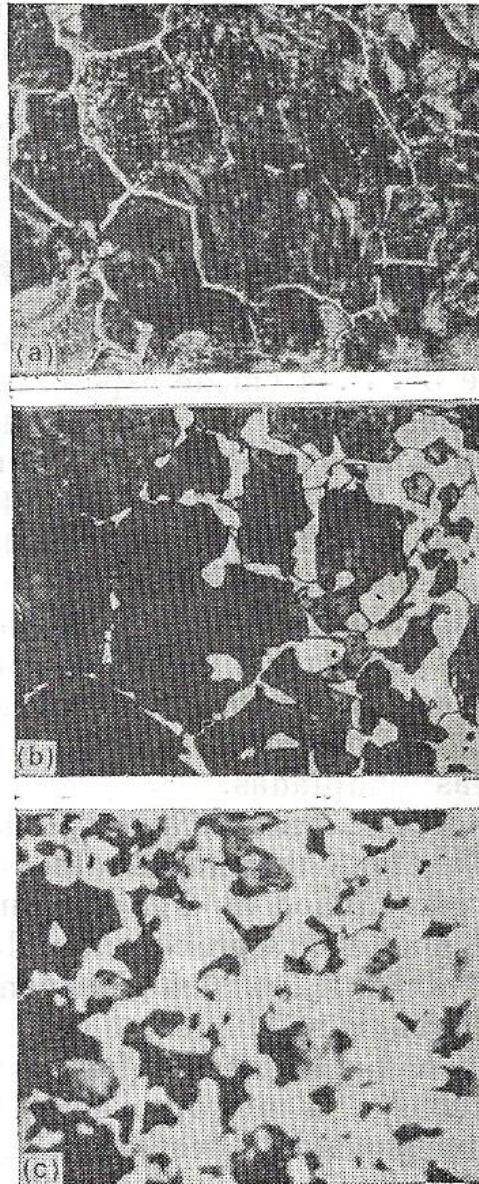


Fig. 54. Microestructura de la capa cementada después del enfriamiento lento, $\times 400$:

a, perlita y cementita secundaria en forma de red; *b*, perlita y red ferrítica; *c*, ferrita y perlita



Estudio de la microestructura, la dureza y la profundidad de la capa cementada

Objetivo del trabajo: enseñar a los alumnos a hacer individualmente el microanálisis de las muestras después de cementado y tratamiento térmico.

EQUIPO

- . Cortadora de disco, con refrigerante
- . Microscopio metalográfico
- . Una caja metálica
- . Baños de temple con agua o aceite
- . Mufla
- . Durómetro
- . Pinzas de sujeción
- . Guantes de asbesto

MATERIALES

- . Muestras de acero con un 0,10 ó 0,20% de carbono
- . Un carburizador sólido
- . Lijas de diferentes grosores
- . Algodón

REACTIVOS

- . Alúmina
- . Nital al 2 %
- . Alcohol



PROCEDIMIENTO

1. En la caja metálica se echa una capa de carburizador de 3 ... 4 cm de espesor y se ubican tres muestras de dimensiones 10 X 10 X 60 mm. Luego las muestras se cubren con una capa de carburizador y la caja se tapa.
2. La caja se mete en el horno a la temperatura de 1050 . . . 1100 °C, se calienta y permanece a esta temperatura durante 20 min.
3. La caja se saca del horno, se quita la tapa, dos muestras se extraen y enfrían por agua o aceite, mientras que la tercera se enfría junto con la caja.
4. Con el aparato Rockwell se mide la dureza de las muestras templadas.
5. Una muestra templada se corta, se prepara la micro-probeta, y después de atacarla con la solución alcohólica de ácido nítrico al 4% se estudia la microestructura.
6. La otra probeta templada se reviene a 180 . . . 200 °C durante 1 ... 1,5 h y con el aparato se mide la dureza Rockwell.
7. La muestra enfriada junto con la caja se corta para preparar la microprobeta. Después del ataque con la solución alcohólica de ácido nítrico al 4%, se estudia la micro-estructura.
8. Los resultados obtenidos se escriben en la tabla que se da más abajo.

N° de la muestra	Régimen		Dureza HRC	Microestructura		Profundidad de la cementación, mm
	de la cementación	del tratamiento térmico después de la cementación		del núcleo	de la capa cementada	

Al escribir el informe es necesario exponer brevemente la metodología del experimento, dibujar la microestructura, analizar los resultados obtenidos.



Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).



Guía de práctica N° 10

Inspección por líquidos penetrantes

Sección :
Docente :

Apellidos :
Nombres :
Fecha :/...../ Duración:
Tipo de práctica: Individual () Grupal ()

OBJETIVOS.

Esta práctica tiene por objeto regular la inspección por líquidos penetrantes de las soldaduras, metal base y accesorios de tuberías e instalaciones. Según la norma ASME, Sección V, artículo 6. Edic. 95.

FUNDAMENTO TEÓRICO. 1.-

Definiciones.

- Indicación relevante. Se considerarán indicaciones relevantes, aquellas cuya dimensión mayor sea mayor de 1/16".
- Indicación lineal. Aquellas cuya longitud es mayor de 3 veces su anchura.
- Indicación redondeada. Indicación de forma circular o elíptica, cuya longitud es igual o menor de tres veces su anchura.

2.- Criterios de Aceptación/Rechazo.

Se considerarán rechazables las siguientes indicaciones relevantes:

- Cualquier indicación lineal,
- Indicaciones redondeadas mayores de 3/16"
- Cuatro o más indicaciones redondeadas en línea, separadas por 1/16" o menos entre extremos.

La indicación de una imperfección pudiera ser mayor que la imperfección que la causa; sin embargo, el tamaño de la indicación es la base para la evaluación de los criterios de aceptación.



3.- Reparaciones.

Todas las indicaciones inaceptables serán saneadas y sometidas de nuevo a inspección por Líquidos Penetrantes, siguiendo este mismo procedimiento.

3.1.- REPARACIÓN DE DEFECTOS QUE NO REQUIERAN SOLDADURA.

Las soldaduras serán saneadas hasta la eliminación total del defecto, suavizando la cavidad resultante del material que la rodea, sin aristas vivas y además:

- Si es sobre soldadura, no debe suponer una disminución de la soldadura por debajo del metal base adyacente.
- Si es sobre el metal base, la cavidad no tendrá una profundidad mayor de la indicada en la tabla del apartado 1.5 del anexo 5.5 de EV 004.

3.2.- REPARACIÓN DE DEFECTOS POR SOLDADURA.

Cuando se considere que un defecto a sido eliminado, y antes de proceder a su reparación por soldadura, si procede, el área será examinada para comprobar que el defecto ha desaparecido, o bien sido reducido a una imperfección de tamaño aceptable. Posteriormente a la conclusión de la reparación se volverá a inspeccionar toda la zona reparada.

MATERIAL Y PRODUCTOS.

Los materiales utilizados podrán ser los siguientes:

- Para la limpieza previa se utilizará eliminador, acetona o alcohol isopropílico.
- Penetrante líquido rojo ARDROX 996 - P o MAGNAFLUX SKI,-HF-5.
- Eliminador ARDROX 9 PR 5, MAGNAFLUX SKC-NF/W-7, acetona o alcohol.
- Revelador líquido blanco ARDROX 9D6 o MAGNAFLUX SKD-NF/ZP9.

Todos los materiales utilizados serán de la misma marca comercial o grupo, con excepción de la acetona o alcohol isopropílico.



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

1.- Temperatura de aplicación.

La temperatura de la zona a inspeccionar estará comprendida entre 16 °C y 52 °C. Fuera de esta gama de temperaturas se requerirá la homologación del sistema, definiendo los tiempos de penetración aplicables, según T-653, del artículo 6 de ASME V.

2.- Limpieza previa.

El operador observará que la soldadura que va a examinar, así como 25 mm. de ancho a ambos lados de la misma, se encuentra limpia: libre de óxido, partículas metálicas, grasa, aceite, pintura, etc. En caso de ser necesario deberán realizar su limpieza mediante trapos o algodón impregnados en algún producto de los citados en el punto anterior y en caso de ser necesario se emplearán métodos mecánicos como cepillos, espátulas o cincel.

3.- Secado.

Antes de la aplicación del penetrante, la superficie a examinar estará totalmente seca.

4.- Aplicación del penetrante.

Mediante brocha o pulverización se aplicará el penetrante, asegurándose que quede afectada toda la zona a examinar, o sea, la soldadura y una franja de 25 mm. a cada lado de esta.

EL TIEMPO DE PENETRACION SERA ENTRE 10 Y 15 MINUTOS.

5.- Eliminación del penetrante sobrante.

Se realizará con trapos limpios impregnados de eliminador (Ardrox o Magnaflux) o acetona y pasándolos cuidadosamente por la superficie a examinar hasta asegurarse de que todo el penetrante sobrante haya sido eliminado.

Se dejará un tiempo mínimo de 2 minutos y un máximo de 3 minutos antes de aplicar el revelador.

6.- Aplicación del revelador.

Se aplicará el revelador mediante pulverización, colocando el spray a una distancia de 15 a 30 cm. se agitará previamente el spray, asegurándonos de conseguir una capa fina y homogénea.

EL TIEMPO DE REVELADO SERA DE 7 A 30 MINUTOS.

El secado se realizará a temperatura ambiente.



7.- Inspección.

Pasado el tiempo de revelado se procederá a la inspección, debiendo realizarse antes de 30 minutos desde la aplicación del revelador.

8.- Soldaduras rechazadas.

Se identificarán señalando la defectuosa mediante cinta adhesiva o rotulador y se zona anotará en el registro de E.N.D. o informe correspondiente.

9.- Limpieza final.

Una vez acabado el examen, se limpiarán las partes examinadas con trapos limpios, secos o humedecidos con eliminador, o bien por medio de baño de eliminador.

Referencias bibliográficas

- Apraiz Barreiro, J. (1981). *Tratamientos térmicos de los aceros* (8ª ed.). Editorial Dossat.
- Sydney H., A. (1988). *Introducción a la metalurgia física* (2ª ed.). Edición McGraw-Hill.
- American Society for Metals (1977). *Atlas of isothermal transformation and cooling transformation diagrams*.
- Lankford, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F. y McGannon, H.E. (1985). *The making, shaping and treating of steel* (10th ed.). United States Steel: Published by Association of Iron and Steel Engineers.
- American Society for metals. *Metals handbook* (8th ed.). (Vol. 1, 2, 7 y 8).