

EL ACERO, RECURSO ESTRATEGICO PARA EL DESARROLLO

Gustavo Vela Prado ()*

INTRODUCCIÓN

El Perú en sus cuatro regiones naturales: mar, costa, andes y la amazonía, cuentan con grandiosos recursos de minerales: carbón, minerales metálicos, minerales no metálicos y es uno de los países más ricos del mundo en: yacimientos de cobre, hierro, plomo, zinc, bismuto, fosfatos, manganeso de alta calidad; además de oro, plata, campos petroleros, gas natural y un potencial hidroeléctrico entre otros recursos naturales como para abastecer las necesidades de energía de todo el continente sudamericano.

El acero es considerado como el material o recurso más importante para diversas industrias: automotriz, aeronáutica, construcción naval (buques), construcción civil (aeropuertos, puentes, etc), maquinarias en general, herramientas de todo tipo, equipos hospitalarios, etc.

Según el Ministerio de Energía y Minas, el Perú posee grandes yacimientos de hierro, materia prima para la elaboración de todo tipo de acero. En Marcona se estima la existencia de 10 millones de toneladas de hierro, en Apurímac 20 millones entre otros depósitos. Como podemos apreciar, el potencial de nuestro país es increíble en lo que respecta a la fabricación de acero, porque contamos también, con yacimientos de carbón de coque y piedra caliza (CO_3Ca) que son la materia o elementos básicos usados para la fabricación de acero.

El acero existente en el mercado mundial se agrupa como sigue:

- a) Aceros al Carbono
- b) Aceros de aleación de alta Resistencia

c) Aceros de Cementación, Nitruración y Carbonitruración

d) Llámese Aceros al carbono a las aleaciones de Hierro con Carbono en porcentajes que varían del 0.05 a 2.00% de Carbono y el resto de Hierro. Conforme aumenta el contenido de Carbono en los aceros aumenta la Dureza, la Resistencia a la Tracción, Templabilidad a la vez que disminuye la Tenacidad, Ductibilidad del acero, la variación de estas propiedades es una de las consecuencias de la variaciones de las fases o componentes estructurales. Estos aceros al Carbono que son de uso general en todos los equipos e instalaciones contienen además pequeños porcentajes de Manganeso, Silicio, Azufre y Fósforo, elementos que unas veces se agregan adrede para mejorar las propiedades mecánicas del acero, otras veces el elemento se encuentra en la materia prima y es costoso eliminarlo en el proceso de fabricación y forma parte del producto final. El carbono en el acero está presente como Carburo de Hierro (Fe_3C).

e) Llámese Aceros de aleación de alta resistencia a los aceros que además de los 5 elementos, Carbono, Manganeso, Silicio, Azufre y Fósforo, contienen cantidades relativamente importantes de los metales Cromo, Níquel, Molibdeno, Vanadio, Tungsteno, Cobalto y Titanio. Estos elementos se agregan para mejorar las propiedades de Resistencia, Tenacidad, Dureza a altas y bajas temperaturas que de ninguna manera se consigue con los simples aceros al Carbono, con el inconveniente de que el precio del acero se eleva y solo se justifica para usos especiales tal es el caso de los aceros Inoxidables, aceros Maraging, aceros al Manganeso.

f) Los aceros de Carburización, Nitruración y Carbonitruración, son aceros especiales.

(*) Ingeniero Químico y Metalúrgico. Profesor Principal Departamento de Metalúrgia Facultad de Geografía, Minas, Metalúrgia y Geología. UNMSM. Profesor Emérito de la UNMSM.

Con estos 3 grupos de aceros si están bien elegidos, estamos en capacidad de resolver dentro de límites digamos aceptables los problemas que se plantean en los Proyectos de Construcción Mecánica donde la Resistencia y Ductilidad sin lugar a dudas son las propiedades fundamentales.

OBTENCION DEL ACERO

Los procedimientos de obtención del acero en los países industrializados desde hace más de 200 años son los Procesos Bessemer Acido y Básico, Proceso Thomas Básico, Procesos de Hogar abierto Siemens-Martín Acido y Básico, Proceso Horno Eléctrico.- En Noviembre de 1952 se realizó en Linz (Austria), la primera colada de acero usando oxígeno puro; en Mayo de 1953 se puso operativo la segunda acería usando también oxígeno puro en Donawitz (Austria). El proceso que se llama LD en reconocimiento a las ciudades Austríacas de Linz y Donawitz emplea un horno llamado Convertidor en forma de pera, revestido con recubrimiento básico con el fondo cerrado, puede girar 360° y con capacidad de 30 a 300 ton.; y con una lanza Vertical refrigerada con agua que se introduce por la boca del convertidor se inyecta Oxígeno puro a una presión de 10-14 atmósferas, sobre el metal, constituido por arrabio líquido iniciándose las reacciones de oxidación.- La temperatura del metal se elevará rápidamente llegando a los 1500°-3000°C quemándose el Carbono en forma de CO y CO₂ que escapa con los humos.- La fase del soplado dura de 12 a 15 min., al final se añaden los elementos aleatorios, se espera unos minutos para que se produzca la homogenización y se vuelca el metal sobre un crisol con una ligera capa de escoria para evitar la oxidación del metal líquido por el aire.

En general las ventajas de procedimiento LD son:

- a) Acero de mejor calidad que el Bessemer y Thomas y de la misma calidad de los aceros Siemens-Martín compitiendo con los aceros elaborados en Horno Eléctrico.
- b) El costo del acero es inferior al Horno Siemens-Martín o Eléctricos.
- c) La duración de una colada en un convertidor LD de 150 ton. es de 40-55 min., comparado con las 5-6 horas que dura una colada en el Siemens- Martín y 2-4 horas en un Horno Eléctrico.

- d) La desoxidación del acero se hace con menor adición de desoxidantes.

La gran capacidad de producción del proceso LD no lo hace rentable para aceros aleados de tonelaje limitado.

El éxito de la fabricación de acero con oxígeno puro fue tan grande que el procedimiento se divulgó con rapidez a todos los países industrializados. El gran desarrollo alcanzado por el proceso fue también posible en gran parte por el progreso en la obtención de oxígeno puro a partir del aire.

Se han desarrollado una serie de variantes del proceso LD y como información citaremos sólo las siguientes:

AOD Inyección de gas Oxígeno y gas inerte por el fondo del convertidor a través de toberas

LD—OB Inyección de Oxígeno por la boca del convertidor con lanza y soplado de oxígeno por el fondo con toberas.

Q—BOP Soplado por el fondo de Oxígeno y Propano.

LBE Combinación de Oxígeno con Argón con la lanza a través de ladrillos porosos.

KMS Soplado por el fondo de oxígeno, hidrocarburos, polvo de cal y carbón a través de toberas.

Otro procedimiento importante en la fabricación de aceros es el Eléctrico de arco.- En este método se usa chatarra de acero que se funde por corriente eléctrica y afino posterior del baño fundido. Se emplean dos tipos de Hornos:

a) Hornos de arco.- Estos hornos están equipados con 3 electrodos verticales y la carga de hierro y acero y el calor generado por el arco funde la carga.- Los electrodos son hechos de grafito de hasta 70 cms. de diámetro que se introducen por orificios practicados en la bóveda del horno y se regula la distancia a la carga a medida que se vayan consumiendo, la corriente se suministra mediante un transformador.

b) Hornos de inducción.- En estos hornos la carga de hierro y acero se coloca en un crisol rodeado de una bobina por donde se hace pasar la corriente que funde la carga.

CLASIFICACION DE LOS ACEROS

De las varias clasificaciones de acero las más usadas y difundidas son:

- a) Por su composición química
- b) Por su utilización

10xx Acero al Carbono	{ 11xx, aceros al carbono altos en azufre y bajas en fósforo. 12xx, aceros al carbono altos en azufre y fósforo. 13xx, acero al manganeso; manganeso 1.60-1.90 % }
20xx Aceros al Níquel	{ 23xx, Aceros al Níquel que contiene 3.50% de Níquel 25xx, Aceros al Níquel que contiene 5.00% de Níquel }
30xx Aceros al cromo Níquel	{ 31xx, Níquel 1.25 %, Cromo 0.60% 32xx, Níquel 1.75 %, Cromo 1.00% 33xx, Níquel 3.50 %, Cromo 1.50% }
40xx Aceros al Molibdeno	{ 41xx, Cromo 1.0%, Molibdeno 0.20% 46xx, Cromo 1.80%, Molibdeno 0.25% 48xx, Cromo 3.50%, Molibdeno 0.25% }
50xx Aceros al Cromo	{ 51xx, Cromo 0.80% 52xx, Cromo 1.50% }

60xx Acero al Cromo Vanadio
70xx Acero al Tungsteno
80xx Aceros al Cromo-Níquel-Molibdeno
90xx Aceros al Silicio Manganeso

a) Por su composición química.- Las más empleadas son las que proponen la AISI (American Iron Steel Institute) y SAE (Society Automotive Engineers), ambas organizaciones de EE.UU. En estos métodos de clasificación el contenido aproximado de los elementos de aleación viene indicado por un sistema numérico de 4 cifras, en la siguiente forma:

50xx Aceros al Cromo	{ Manganeso 0.80% Silicio 2.80% }
----------------------	--------------------------------------

La segunda cifra del sistema numérico indica usualmente el porcentaje del elemento predominante, el acero 23xx es un acero al Níquel que contienen 3.5% de Níquel, el acero 25xx es una acero al Níquel que contiene 5.0 de Níquel.- Las dos cifras finales designan generalmente el contenido de carbono, por Ejm. el acero 2515 es un acero al Níquel que contiene 5.0% de Níquel y 0.15% de Carbono.

También las organizaciones AISI y SAE han clasificado los aceros al carbono en la siguiente forma:

MS1— SAE	% CARBONO	% MANGANESO	%FOSFORO(max.) %AZUFRE(max.)	
C 1005	0.05-0.08	0.30-0.60	0.04	0.05
C 1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04	0.05
C 1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.04	0.05
C 1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.04	0.05
C 1025	0.22-0.26	0.30-0.60	0.04	0.05

C 1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.04	0.05
C 1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1085	0.80-0.93	0.70-1.00	0.04	0.05
C 1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.04	0.05
C 10100	0.98-1.10	0.30-0,50	0.04	0.05

b) Por su utilización se clasifican en:

Aceros para construcción de máquinas.

- Aceros de herramientas.
- Aceros indeformables. Aceros Inoxidables.
- Aceros resistentes al desgaste. Aceros Rápidos.
- Aceros para Resortes.
- Aceros para Imanes.

Aceros para cementación, Nitruración, Carbonitruración y Cianuración.

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO - CARBONO

Este diagrama representa las relaciones entre temperatura, composición y estructuras que pueden ser formadas por el Hierro y Carbono (aceros) bajo condiciones de equilibrio con enfriamiento muy lento. Sin embargo, el diagrama Hierro-Carbono será considerado solamente como una guía debido a que la mayoría de aceros contiene elementos aleatorios que modifican las posiciones de las fases limitantes. En la fig. 1 tenemos el diagrama Hierro-Carbono. La línea ABCD es la línea líquida, por encima de esta línea todas las aleaciones del sistema se encuentran al estado líquido, por debajo de ella las aleaciones están parcial o totalmente sólidas. La línea sólida es AHJECF, debajo de ella todas las aleaciones están totalmente sólidas. El área ABJ N muestra una reacción peritectica cuya representación en el calentamiento es: Sólido1 → Sólido2 + Líquido, y en el enfriamiento: Sólido2 + Líquido → Sólido1.

En el punto C (4.3% Carbono y 1130°C) tenemos una reacción Eutectica. En el enfriamiento: Líquido → Sólido1 + Sólido2. En el punto S (0.80% Carbono y 723°C) tenemos una reacción Eutectoide; en el enfriamiento: Sólido1 → Sólido2 + Sólido3. En el área GPO encontramos el componente estructural llamado Ferrita o Hierro puro con estructura BCC, la Ferrita a temperaturas inferiores a 910°C disuelve pequeñas cantidades de carbono, siendo lo máximo que disuelve 0.025% de carbono, a 723°C, a temperatura ambiente disuelve 0.008% de Carbono. A temperaturas superiores a 910°C el Hierro se encuentra en forma de Hierro Gamma (Fe_γ) llamado Austenita de estructura FCC que puede disolver hasta 2.00% de Carbono a 1130°C.

En el Hierro puro la transformación a Hierro Gamma ocurre a 910°C, si se incrementa la cantidad de Carbono disuelto en el Hierro Gamma desde 0.00 hasta 0.80% la temperatura

a la cual se forma la Ferrita a partir del Hierro Gamma disminuye desde 910°C hasta 723°C, la línea GS muestra esta curva que indica la solubilidad de la Ferrita en Austenita y que se llama curva de Solubilidad de la Ferrita.

A la temperatura de 1130°C conocida como la temperatura Eutectica, la Austenita puede retener hasta 2.00% de Carbono en solución sólida. Si la Austenita de esta composición se enfría lentamente precipitará Cementita (Fe₃C) de la solución sólida bajando el contenido del Carbono de la Austenita remanente bajando también la temperatura a la cual precipita la Cementita.

El enfriamiento lento del acero está acompañado por una precipitación constante de la Cementita a lo largo de la línea ES hasta que se alcanza la temperatura de 723°C, temperatura a la cual la Austenita remanente contiene 0.80% de Carbono, recristaliza y forma una mezcla de Ferrita y Cementita llamada Perlita, este punto conocido como Eutectoide se representa en el diagrama por el punto S que viene a ser la intersección de la curva de solubilidad de la Ferrita GS con la curva ES conocida como la curva de Solubilidad de la Cementita.

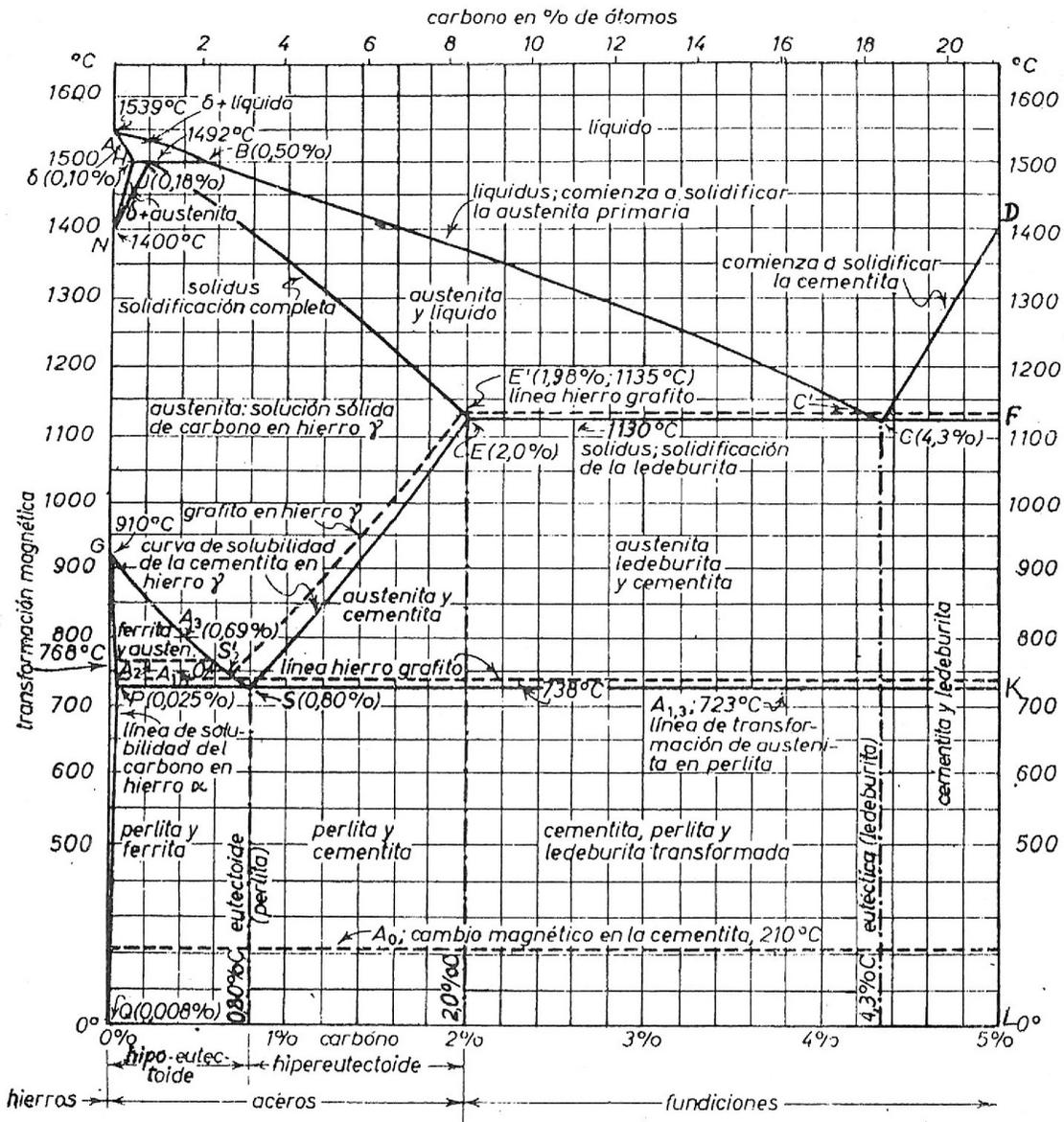
En la composición 4.3% de Carbono y 1130°C se forma el Eutectico llamado Ledeburita que está formado por Austenita y Cementita, esta reacción se realiza en aquellas aleaciones que contiene más de 2.00% de Carbono.

La cantidad de Ferrita y Perlita que presenta el acero al efectuarse el examen metalográfico depende del contenido de Carbono. Si este contenido es menor de 0.02% la estructura solo contiene Ferrita, si el contenido es de 0.80% de Carbono solo encontramos Perlita, si es intermedio entre estos porcentajes estará formado por Perlita y Ferrita, las estructuras con mayor porcentaje de 0.80% de Carbono están formadas por Perlita y Cementita. Las partículas duras y frágiles de Cementita al deformar la red cristalina de la Ferrita dificulta el movimiento de deslizamiento y por lo tanto aumenta la resistencia a la deformación y disminuye la plasticidad.

PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO

Las propiedades mecánicas del acero están determinadas por sus componentes **estructurales**. Los Tratamientos Térmicos al modificar dichos componentes inciden directamente sobre las Propiedades Mecánicas. Los Valores encontrados al

Fig. 1 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO - CARBONO



efectuar las pruebas mecánicas son las que deciden su utilidad y diversidades de aplicación. Las propiedades mecánicas de mayor interés incluyen las siguientes:

Resistencia.- Capacidad del acero a soportar cargas ya sea de Tracción, Compresión, Corte o Doblamiento.

Elasticidad.- Capacidad del acero de deformarse y regresar a su tamaño original después de remover la carga que lo ha deformado.- A este respecto, se considera que el acero es más elástico que el jebe porque

después de remover la fuerza deformante regresa a su condición original con mayor exactitud.

Plasticidad.- Capacidad del acero de deformarse plásticamente sin romperse.- Los aceros en general exhiben un considerable grado de elasticidad, cuando este esfuerzo aumenta más allá del límite proporcional entonces exhiben plasticidad.

Ductilidad.- Es la capacidad del acero de deformarse, una vez que se ha excedido el Límite Elástico.

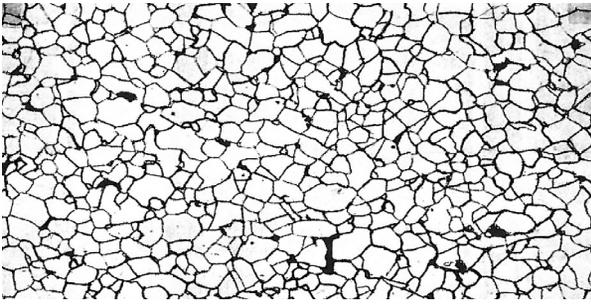


Fig. 1 ACERO AL CARBONO SAE 1005

CARBONO: 0.05%
 TRATAMIENTO TÉRMICO: RECOCIDO
 ESTRUCTURA METALOGRAFICA: FERRITA GRANOS CRISTALINOS
 EQUIXIALES DE FERRITA
 REACTIVO DE ATAQUE: NITAL AL 5%
 TIEMPO DE ATAQUE: 5 SEGUNDOS
 AMPLIACIÓN: 100 X

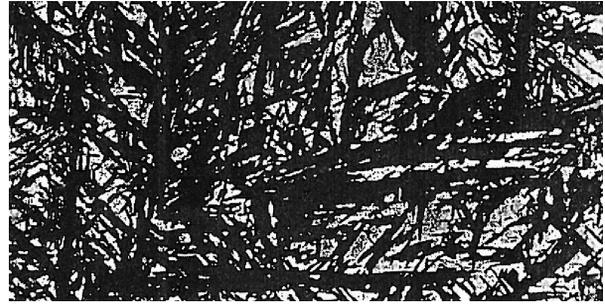


Fig. 4 ACERO AL CARBONO SAE 10100

CARBONO: 1.00%
 TRATAMIENTO TÉRMICO: TEMPLADO
 ESTRUCTURA METALOGRAFICA: MARTENSITA:
 ACICULAS EN ZIG-ZAG. ÁREAS BLANCAS DE AUSTENITA
 REACTIVO DE ATAQUE: NITAL AL 5%
 TIEMPO DE ATAQUE: 5 SEGUNDOS
 AMPLIACIÓN: 500X
 DUREZA: 65 RC

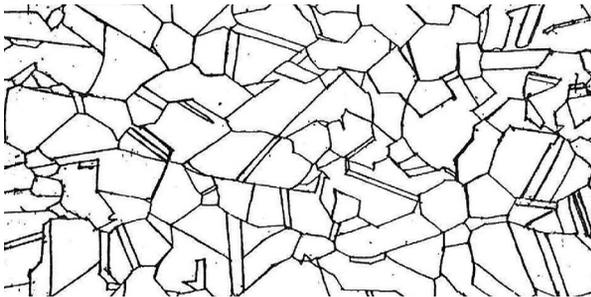


Fig. 2 ACERO INOXIDABLE AISI 304

CROMO:18%; NIQUEL 8%
 ESTRUCTURA METALOGRAFICA: AUSTENITA, LOS GRANOS DE
 AUSTENITA ESTÁN UNIDOS POR BORDES RECTOS QUE FORMAN
 ÁNGULOS AGUDOS
 REACTIVO DE ATAQUE: ÁCIDO CRÓMICO Y ÁCIDO CLORHIDRICO
 TIEMPO DE ATAQUE: 5 MINUTOS
 AMPLIACIÓN: 200X

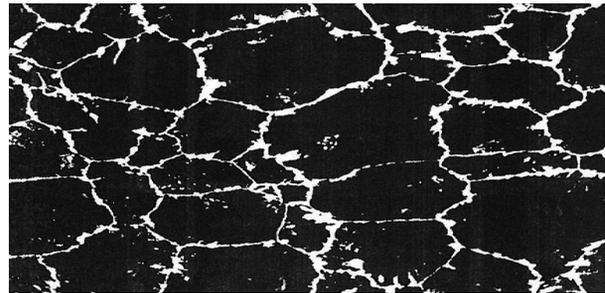


Fig. 5 ACERO AL CARBONO SAE 10100

CARBONO: 1.00%
 TRATAMIENTO TÉRMICO: RECOCIDO
 ESTRUCTURA METALOGRAFICA: RED DE CEMENTITA (BLANCA) QUE
 RODEA LOS GRANOS DE PERLITA (OSCUROS)
 REACTIVO DE ATAQUE: NITAL AL 5%
 TIEMPO DE ATAQUE: 5 SEGUNDOS
 AMPLIACIÓN: 100X



Fig. 3 ACERO AL CARBONO SAE 1080

CARBONO: 0.80%
 TRATAMIENTO TÉRMICO: RECOCIDO
 ESTRUCTURA METALOGRAFICA: PERLITA
 LÁMINAS OSCURAS DE CEMENTITA JUNTO A LÁMINAS BLANCAS DE
 FERRITA
 REACTIVO DE ATAQUE: NITAL AL 5%
 TIEMPO DE ATAQUE: 5 SEGUNDOS
 AMPLIACIÓN: 500X

Dureza.- Se define como la resistencia a la penetración o también como la resistencia a la abrasión o desgaste.

Tenacidad.- Capacidad del acero de absorber considerable energía antes de fracturarse.

Fragilidad.- Es lo opuesto a la tenacidad, e indica que el material se fractura sin apreciable deformación; como consecuencia los materiales frágiles no exhiben plasticidad.

METALOGRAFIA

Es la rama de la Metalurgia que con la ayuda del Microscopio Metalografico estudia y determina la estructura de los metales.- En el caso del acero la Metalografía proporciona información sobre los componentes

estructurales, el tamaño del grano, la forma, tamaño y distribución de las fases que componen la aleación así como las inclusiones, segregaciones y otra heterogeneidades que podrían presentar.

Con ciertas limitaciones la micro estructura refleja casi la historia completa del tratamiento mecánico y térmico que ha sufrido el material.

Para efectuar la observación microscópica debe prepararse la superficie del acero a examinar, operación que en cuanto a su

fundamento es relativamente sencillo pero su ejecución requiere habilidad manual debiendo repetirse el proceso cuantas veces sea necesario para lograr en el acero una superficie de pulido especular.- A continuación del pulido se procede al ataque químico con reactivos preparados de acuerdo a la composición química del acero.

Se presenta algunos de los componentes estructurales del acero obtenidos en el examen metalográfico.

- Fig.1 Acero AISI-SAE 1005.- Estructura Ferrítica, obtenida con tratamiento térmico de Recocido.
- Fig.2 Acero AISI-SAE 304.- Estructura Austenítica.
- Fig.3 AISI-SAE 1080.- Estructura Perlítica, obtenida con tratamiento Térmico de Recocido.
- Fig.4 Acero AISI-SAE 10100.- Estructura Martensítica, obtenida con Tratamiento Térmico de Templado.
- Fig.5 Acero AISI-SAE 10100.- Estructura de Cementita (blanco) que rodea los granos de perlita (oscuro) obtenido con Tratamiento Térmico de Recocido.
- Fig. 1,2,3,4,5

CONCLUSIONES

La oficina de Proyectos de una Empresa que diseña y fabrica obras estructurales a base de aceros necesita tener toda la información de los materiales que ha considerado en su Proyecto, siendo la composición química, las propiedades mecánicas y la estructura metalográfica de los aceros a usarse la información más importante porque sobre esta base está en condiciones de decir si es necesario o no aplicar Tratamientos Térmicos a los aceros a emplear, recalándose que es la única forma de obtener calidad garantizada en la obra ejecutada.

RECOMENDACIONES

1. La oficina de Control de Calidad de la Empresa a través de su personal especializado debe programar el desarrollo de cursos relacionados con el conocimiento y aplicación de Tratamientos Térmicos al personal involucrado en los trabajos.
2. Como en la ejecución de los trabajos con toda seguridad van a intervenir los procesos de maquinado y soldadura, la Oficina de Control de Calidad debe estar en condiciones de realizar o

solicitar a una empresa los exámenes metalográficos y pruebas no destructivas, principalmente Radiografías, Ultrasonido, Partícula Magnéticas y Tintes, haciéndolas correcciones necesarias cuando se encuentran fallas en los materiales trabajos lo que da seguridad a la obra terminada.

Resumen

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. El Acero, su elección y selección R. Calvo Rodes Madrid: Imprenta de Inta 1956 - Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica Esteban Terradas
2. Introducción a la Metalurgia Física — Sidney H. Avner Mc Graw-Hill Book Company — 1964
3. Fabricación de Hierro, Acero y Fundición.- Jose Apraiz Barreiro Editorial Dosat — Plaza de Santa Ana, 9 Madrid — 1964
4. Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones — Richard A. Flinn, Paul H. Trojan Editorial Mc Graw- Hill Latinoamericana S. A. — 1979
5. Materials Science and metallurgy.- Hernán W. Pollack Reston Publishing Company Inc. Reston Virginia - 1973