

## CLASIFICACIÓN DE LOS HIERROS FUNDIDOS.

Dr. C. Eduardo Torres Alpizar<sup>1</sup>, Ing. Lermith Abraham Marín Brizuela<sup>2</sup>, Ing. José Augusto Suárez Torrelles<sup>2</sup>, Ing. José Eduardo Llovera Seijas<sup>2</sup>, Ing. Manuel Antonio Muñoz Benaventa<sup>2</sup>

*1. Universidad de Matanzas, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*

*2. Universidad Politécnica Territorial del Alto Apure “Pedro Camejo”, Antiguo Hato Modelo, Carretera Nacional Vía el Samán.*

## Resumen.

Las fundiciones de hierro de acuerdo a (Castro, 2009) son aleaciones de hierro carbono del 2 al 5%, cantidades de silicio del 2 al 4%, del manganeso hasta 1%, bajo azufre y bajo fósforo. Se caracterizan por que se pueden vaciar del horno cubilote para obtener piezas de muy diferente tamaño y complejidad pero no pueden ser sometidas a deformación plástica, no son dúctiles ni maleables y poco soldables pero sí maquinables, relativamente duras y resistentes a la corrosión y al desgaste. Las fundiciones tienen innumerables usos y sus ventajas más importantes son: 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. De acuerdo con la apariencia de su fractura, las fundiciones pueden ser grises, blancas, atruchadas, aunque también existen las fundiciones maleables, nodulares y especiales o aleadas. La presente monografía constituye un resumen acerca de los principales criterios de clasificación de los hierros fundidos.

*Palabras claves: Hierro Fundido, Ingeniería Mecánica, Tecnología, Soldadura, Clasificación*

---

### Clasificación de los hierros fundidos.

Según (Heyer, 1949) se han encontrado en Japón y en China hierros fundidos pertenecientes a los primeros siglos de la era cristiana. También existen evidencias ciertas de obras escultóricas romanas de la misma época fabricadas de hierro fundido. En 1939 se publicaron datos de composición química y fotografías de la microestructura de una fundición china hecha en el período entre los años 500-1100 de nuestra era. Esta pertenecía a un panel existente en una pagoda próxima a Nanking la cual se piensa fue edificada en el año de 1093. La estructura observada era la típica de un hierro fundido blanco hipoeutectoide. La fotografía de esa estructura se reproduce en la figura 86 del libro antes mencionado.

Esas primeras fundiciones fueron hechas probablemente reduciendo el hierro a través de carbón vegetal en pequeños hornos de crisol o de pozo. Este tipo de horno comenzó a asumir su forma actual en Europa en el siglo XIV. Los cañones y las balas de cañón fueron los primeros productos elaborados de hierro fundido. Ya en el siglo XVI en Inglaterra se manufacturaron una considerable cantidad de piezas de artillería pesada.

El hierro fundido se volvió provechoso para los propósitos ingenieriles y domésticos después del desarrollo del horno de cubilote entre los siglos XVIII y XIX. Según la referencia (Roshental et al, 1995), el primer horno de cubilote fue patentado en el año 1794. En la misma publicación se plantea

que en Estados Unidos de Norteamérica el primer cubilote comenzó a funcionar en el año 1820. En el libro “Welding for engineers” (Udim et al, 1954), se señala al año 1947 como el año de desarrollo del hierro nodular.

Casi todos los autores consultados para la realización del trabajo definen a los hierros fundidos como aleaciones de hierro carbono en los cuales el contenido de carbono varía teóricamente entre (2.1 a 6.7%); aunque en la práctica estos tantos porcentos se limitan en la mayoría de los casos entre 2.7 y 3.7%. Algunos autores difieren de este criterio generalizado como son los casos de Sidney Avner (Avner, 1970), que sitúa el contenido de carbono para los hierros fundidos comerciales entre 2.5 y 4 %. Por otra parte en (Southwell et al, 1990) se establece que los hierros comerciales se encuentran entre un 2 y un 4%.

Los elementos que siempre se encuentran presentes en los hierros fundidos son carbono, manganeso, silicio, fósforo y azufre; aunque en algunos casos podemos encontrarnos: níquel, cobre, cromo.

Los hierros fundidos difieren de los aceros en:

1. Mayor contenido de carbono.
2. En su estructura pueden aparecer ledeburita, grafito, perlita, ferrita.
3. Menor punto de fusión lo que provoca mayor fluidez.
4. Poca capacidad de deformación plástica.
5. Mayor contenido de silicio, manganeso, fósforo, azufre.

Según el método de obtención de los hierros fundidos y atendiendo al estado o forma del grafito se clasifican según (Guliaev, 1978), (Hardbroken, 1966), (Iron Casting Society, 1981), en:

a) Fundiciones blancas: Se caracterizan porque en ellas todo el carbono se va a encontrar combinado con el hierro. Las estructuras que presentan son de perlita, cementita y ledeburita. En ellas la zona fracturada presenta un color blanquecino caracterizándose además por:

- Elevada dureza.
- Elevada fragilidad.
- Baja maquinabilidad.
- Elevada resistencia al desgaste.

b) Fundiciones grises: Se caracterizan porque la mayor parte del carbono se encuentra en estado libre de grafito laminar. Presenta las siguientes propiedades:

- Buena maquinabilidad.
- Elevada resistencia al desgaste.

- Buenas propiedades de fundición.

Por su forma son capaces de amortiguar vibraciones. Atendiendo a su estructura las fundiciones grises se dividen en:

- Fundición gris perlítica.
- Fundición gris ferrito-perlítica.
- Fundición gris ferrítica.

c) Fundiciones de alta resistencia (nodulares): Se caracterizan porque todo el carbono se encuentra en forma de grafito nodular. Esta fundición se obtiene añadiendo magnesio o cerio a la carga de metal fundido durante el proceso de fundición. Presenta las siguientes propiedades:

- Mayor ductilidad.
- Mayor resistencia al fuego.
- Mejor resistencia al desgaste.

d) Fundiciones maleables: Se caracterizan por presentar el carbono libre en forma de grafito, el cual se encuentra en forma de roseta y se obtiene a partir de someter a la fundición blanca a un recocido de grafitización (existen otros métodos como la cementación continuada de aceros de alto carbono). Presenta las siguientes características:

Alta resistencia a la tracción.

- Elevada plasticidad.
- Elevada viscosidad al impacto.

e) Fundiciones aleadas: Se caracterizan por presentar elementos maleantes como el cromo, níquel, manganeso, silicio, aluminio, cobre, titanio, molibdeno, vanadio los cuales influyen en la microestructura y propiedades de las mismas. Sus propiedades fundamentales son:

- Resistencia a la formación de cascarilla.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia a algunos ácidos.
- Termorresistencia.

Algunos autores como (Avner, 1970) y (Lajtin, 1973) agregan a las fundiciones anteriormente señaladas un nuevo grupo, que el primero llama “fundición en coquilla” y el segundo “fundición templada”, haciendo en ambos casos los dos autores referencia al mismo tipo de fundición. Estas fundiciones se obtienen al verter el metal fundido durante la colada en cosquillas o moldes metálicos. De esta forma al existir mayor velocidad de enfriamiento en la superficie, se origina, al dificultarse el proceso de grafitización una estructura de fundición blanca y en el centro de la pieza, al existir una

velocidad que favorece la descomposición de la cementita, se forma una estructura de fundición gris. Entre la superficie y el centro de la pieza existirá una zona de fundición atruchada o intermedia.

## **Composición química de los hierros fundidos.**

La composición química ejerce una influencia determinante sobre la estructura y propiedades de los hierros fundidos, pues la presencia de elementos tales como: carbono, silicio, níquel, etc., favorecen la grafitización mientras que el manganeso y el cromo dan lugar a la formación de cementita. La fundición gris objeto de nuestro estudio presenta las mismas impurezas pero en mayor grado.

La cantidad de carbono en forma de grafito o de cementita depende de la velocidad de enfriamiento, la cual está muy relacionada con el espesor de la pieza, mientras mayor sea el espesor menor será la velocidad de enfriamiento y mayor tendencia a la grafitización.

El contenido de silicio en los hierros fundidos se encuentra entre el 1,4 y el 5 % lo que da la posibilidad al material de obtener las siguientes estructuras:

- Fundición intermedia o atruchada.
- Fundición gris perlítica.
- Fundición gris ferrito-perlítica.
- Fundición gris ferrítica.

El manganeso favorece la formación de cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) o el carburo complejo de cementita, el cual es de mayor estabilidad. Este efecto del manganeso se nota para bajos por cientos del mismo, no sobrepasando por lo general el 1% en los hierros fundidos normales.

El azufre favorece la formación de cementita, pero esta influencia es poco notable cuando existen cantidades apreciables de carbono y silicio. Este elemento disminuye la fluidez del hierro fundido, por lo que su máximo contenido se limita a 0.1%. Empeora el costo del metal y sus propiedades mecánicas.

El fósforo es un elemento que se encuentra en valores entre el 0.1 y el 0.5 %. Este se introduce a los hierros fundidos con el objetivo de aumentar la fluidez de estos materiales. Esto se logra a partir de la formación de la eutéctica fosfórica ( $\text{Fe-Fe}_3\text{C-Fe}_3\text{P}$ ), la cual presenta bajo punto de fusión. La influencia de este elemento en la grafitización es nula.

En la obtención del hierro fundido nodular tienen mucha importancia los elementos nodulizantes, como los encargados de suministrar al grafito la forma que conduce a la obtención de este hierro fundido de alta resistencia. Según (Lajtin, 1973) el contenido de Mg a introducir durante la inoculación del hierro fundido nodular sería entre 0.03-0.07 %. Señala además que el mismo eleva la capacidad del hierro al

sobreenfriamiento y por tanto de temple al aire. Para evitar la tendencia de temple al aire se realiza una doble inoculación, agregando magnesio para nodulizar e introduciendo ferrosilicio como grafitizador.

En la referencia bibliográfica (Lakhtin, 1970) se plantea además que la presencia de titanio durante la obtención del hierro fundido nodular, deforma el nódulo de grafito y provoca la aparición de carburos.

En (Smith, 1929) aparecen reflejados los datos de composición química para los hierros fundidos no aleados según la A.I.S.I. en la tabla 9.13. Por su importancia se reproduce a continuación.

Elemento Químico.	Fundición Blanca. %.	Fundición Gris. %.	Fundición Maleable. %.	Fundición Nodular. %.
Carbono.	1.3-3.6.	2.5-4.0.	2.0-2.6.	3.0-4.0.
Silicio.	0.5-1.9.	1.0-3.0.	1.1-1.6.	1.8-2.8.
Manganeso.	0.2-0.8.	0.2-1.0.	0.2-1.0.	0.1-1.0.
Azufre.	0.06-0.02.	0.02-0.2.	0.04-0.1.	0.03 max.
Fósforo.	0.06-0.1	0.05-1.0.	0.18 max.	0.10 max.

Se pueden adicionar otros elementos tales como el níquel, cromo, molibdeno, cobre para producir hierros fundidos aleados.

### **Proceso de formación del grafito en los hierros fundidos grises.**

Según (Guliaev, 1978) la formación de grafito a partir del líquido o de la austenita se efectúa durante el enfriamiento, en el estrecho intervalo de temperaturas que hay entre las líneas de los diagramas estable y metaestable del sistema hierro carbono (1147-11538 °C), es decir, en las condiciones de pequeños subenfriamientos o por consiguiente a pequeñas velocidades de enfriamiento. De aquí llegamos a la conclusión de que la formación de las estructuras de la fundición gris directamente desde el líquido o de la austenita se produce cuando el enfriamiento es lento, mientras que la formación de las estructuras de la fundición blanca, cuando el enfriamiento es más rápido, lo cual ha sido confirmado multitud de veces por la experiencia.

La formación de grafito a partir del líquido o de la austenita es un proceso que transcurre lentamente, ya que el trabajo de formación del germen de grafito es grande y requiere una considerable difusión de los átomos de carbono para la conformación de los cristales de grafito, y una retirada de los átomos de hierro frente a la cristalización del grafito.

En las aleaciones hierro carbono puras, la formación directa de grafito procedente del líquido sería un fenómeno poco frecuente, a no ser por una circunstancia que favorezca su formación. El caso es que el líquido, en las aleaciones con alto contenido de carbono (fundiciones) no es en la práctica completamente puro. Por lo general la fundición una vez fundida, está “turbia” es decir, contiene en estado de suspensión partículas diminutas de inclusiones e impurezas, entre ellas partículas muy pequeñas de grafito. En estas partículas comienza el proceso de cristalización del grafito, ellas son la pared en la cual precipitan los átomos de carbono formando el cristal de grafito. En este caso el trabajo de constitución del germen de grafito puede no ser mayor que el de formación del germen de cementita. Por lo regular, incluso a temperatura inferior a la temperatura de equilibrio (1147 °C) resulta ser cinéticamente posible la formación de cristales de grafito.

El recalentamiento de la fundición hasta una temperatura considerablemente mayor que la de fusión, hace que se disuelvan estas partículas en suspensión, aunque no probablemente en su totalidad, lo que dificulta la formación directa del grafito. La introducción de diversos aditivos en la fundición puede ocasionar la aparición de centros adicionales de cristalización del grafito, lo cual favorece en una serie de casos la formación de este último.

En dependencia de las condiciones de cristalización se obtiene grafito de formas distintas. Aparte del proceso de formación del grafito directamente durante la cristalización, es posible otro proceso de formación de grafito. Al ser la cementita un compuesto químico inestable en determinadas condiciones (a una temperatura dada) se descompone formando austenita y grafito o ferrita y grafito. Para que el proceso se realice, es necesaria la difusión del grafito hacia los centros de cristalización del grafito y la autodifusión del hierro de los puntos en los cuales se segregue grafito.

A la temperatura ambiente este proceso no se desarrolla prácticamente, pero con la elevación de la temperatura se acelera bruscamente. Esta característica permitió desarrollar el recocido de grafitización mediante el cual se obtienen las fundiciones maleables a partir de las fundiciones blancas.

El silicio influye especialmente en la estructura de la fundición intensificando la grafitización. Variando el contenido de silicio pueden obtenerse fundiciones completamente distintas por sus propiedades y estructuras desde blanca, pobre en silicio, hasta ferrítica de alto contenido de silicio (gris con grafito laminar o de alta resistencia con grafito esferoidal) para las mismas condiciones de enfriamiento y manteniendo el resto de la composición química.

## **Propiedades de los hierros fundidos.**

Los hierros fundidos grises están compuestos por una base metálica y grafito. Los valores de las

propiedades mecánicas están dados fundamentalmente por la base metálica, aunque la forma tamaño y distribución del grafito tienen influencia en dichas propiedades. Las láminas de grafito tienen una resistencia cohesiva muy pequeña. Su presencia reduce grandemente la sección transversal efectiva del metal de la fundición.

Las bases metálicas de los hierros fundidos pueden ser: ferríticas, ferrito-perlíticas, perlíticas y atruchadas o intermedias. El grafito puede encontrarse en forma de láminas gruesas o de pequeñas escamas, disminuyendo las propiedades mecánicas debido a que disminuye el área de sección transversal de la pieza, pues el mismo se considera como una cavidad dentro de la matriz metálica, por no presentar resistencia. Constituye además un concentrador de tensiones. El grafito ofrece sin embargo algunas propiedades al hierro fundido en comparación con el acero debido a que facilita la mecanización, haciendo que la viruta sea más frágil y se rompa cuando la herramienta llegue a la inclusión de grafito. Gracias a sus cualidades lubricantes el grafito aumenta las propiedades antifricción del hierro fundido.

La existencia de segregaciones de grafito amortigua rápidamente las vibraciones y las oscilaciones de resonancia. La resistencia a la tracción de los hierros fundidos se encuentra entre 210 y 280 MPa. El límite de fluencia no está bien definido como en otras aleaciones ferrosas, pero para la práctica se considera igual a la resistencia máxima del material, es decir en ellos la deformación plástica es nula. La resistencia a la compresión es de 2.5 a 4.5 veces mayor que la resistencia a la tracción y la viscosidad de impacto es muy baja, sobre todo cuando el contenido de fósforo es muy elevado.

Los hierros fundidos de acuerdo con sus propiedades mecánicas, la forma de obtención de los mismos y la forma en que aparece el grafito según (Iron Casting Society, 1981) y (White, 1948) se pueden clasificar en:

- Hierro fundido gris de baja resistencia.
- Hierro fundido gris de mediana resistencia.
- Hierro fundido gris de alta resistencia.

De acuerdo a (Castro, 2009), la mayor parte del contenido de carbono en el hierro gris se da en forma de escamas o láminas de grafito, las cuales dan al hierro su color y sus propiedades deseables.

El hierro gris es fácil de maquinar, tiene alta capacidad de templeado y buena fluidez para el colado, pero es quebradizo y de baja resistencia a la tracción.





**Microestructura del hierro gris (ferrita, perlita y grafito laminar)  
(Castro, 2009).**

El hierro gris se utiliza bastante en aplicaciones como bases o pedestales para máquinas, herramientas, bastidores para maquinaria pesada, y bloques de cilindros para motores de vehículos, discos de frenos, herramientas agrícolas entre otras.

<b>Clase</b>	<b>Resistencia a la tracción-(psi)</b>	<b>Dureza Brinell</b>	<b>Estructura</b>
20	24000	130-180	F,P
30	34000	170-210	F,P,G
40	44000	210-260	P,G
50	54000	240-280	P,G
60	64000	260-300	B,G

**Clasificación de las fundiciones grises según la norma ASTM A48-41.**

**F: ferrita; P: perlita; G: grafito; B: bainita**

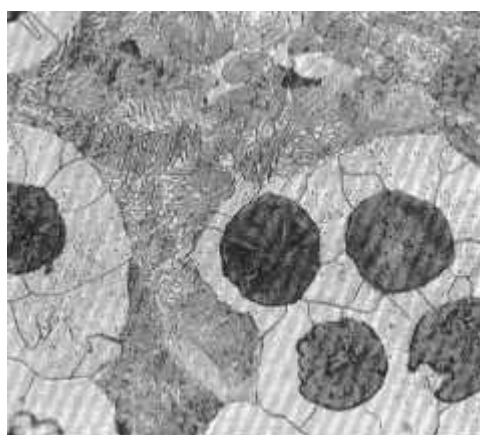
**FUNDICION NODULAR (Castro, 2009)**

La fundición nodular, dúctil o esferoidal se produce en hornos cubilotes, con la fusión de arrabio y

chatarra mezclados con coque y piedra caliza. La mayor parte del contenido de carbono en el hierro nodular, tiene forma de esferoides. Para producir la estructura nodular el hierro fundido que sale del horno se inocula con una pequeña cantidad de materiales como magnesio, cerio, o ambos. Esta microestructura produce propiedades deseables como alta ductilidad, resistencia, buen maquinado, buena fluidez para la colada, buena endurecibilidad y tenacidad. No puede ser tan dura como la fundición blanca, salvo que la sometan a un tratamiento térmico, superficial, especial.

Este tipo de fundición se caracteriza por que en ella el grafito aparece en forma de esferas minúsculas 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. La fundición nodular se diferencia de la fundición maleable en que normalmente se obtiene directamente en bruto de colada sin necesidad de tratamiento térmico posterior.

El contenido total de carbono de la fundición nodular es igual al de la fundición gris. Las partículas esferoidales de grafito se forman durante la solidificación debido a la presencia de pequeñas cantidades de magnesio o cerio, las cuales se adicionan al caldero antes de colar el metal a los moldes, la cantidad de ferrita presente en la matriz depende de la composición y de la velocidad de enfriamiento.



### **Microestructura de la fundición nodular ferrítico perlítica** **(Castro, 2009)**

Las fundiciones nodulares perlíticas presentan mayor resistencia pero menor ductilidad y maquinabilidad que las fundiciones nodulares ferríticas.

<b>Clase</b>	<b>Resistencia (psix1000)</b>	<b>Límite de fluencia (psix1000)</b>	<b>Dureza Brinell</b>	<b>Alargamiento (%)</b>
60-40-18	42000	28000	149-187	18

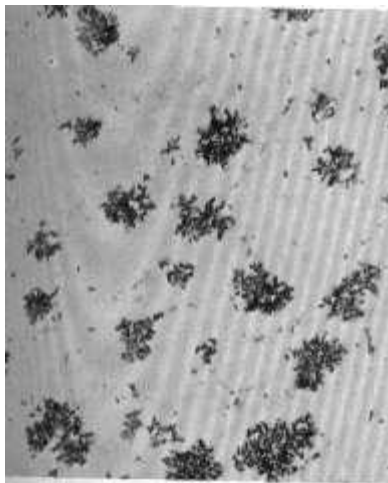
65-45-12	45000	32000	170-207	12
80-55-06	56000	38000	187-255	6
100-70-03	70000	47000	217-267	3
120-70-02	84000	63000	240-300	2

**Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con la norma ASTM A-536.**

Cada día se están sustituyendo muchos elementos de máquinas que tradicionalmente eran de fundición gris o acero por fundición nodular.

**FUNDICION MALEABLE (Castro, 2009)**

Los hierros maleables son tipos especiales de hierros producidos por el tratamiento térmico de la fundición blanca. Estas fundiciones se someten a rígidos controles y dan por resultado una microestructura en la cual la mayoría del carbono está en la forma combinada de cementita, debido a su estructura la fundición blanca es dura, quebradiza y muy difícil de maquinar.

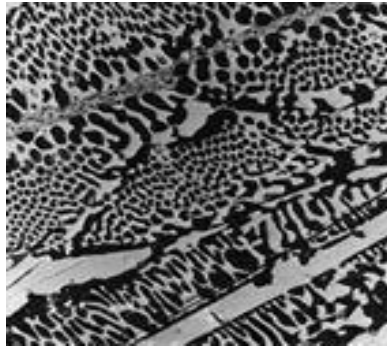


**Microestructura de la fundición maleable ferrítica  
(Castro, 2009).**

La fundición blanca se produce en el horno de cubilote, su composición y rapidez de solidificación separa coladas que se transformarán con tratamiento térmico en hierro maleable. La fundición blanca también se utiliza en aplicaciones donde se necesita buena resistencia al desgaste tal como en las trituradoras y en los molinos de rodillos.

**FUNDICION BLANCA (Castro, 2009)**

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 1130° 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.



**Microestructura de la fundición blanca**  
(Castro, 2009)

Al enfriarse las fundiciones desde 1130° hasta 723 ° el contenido de carbono de la austenita varía de 2 a 0.8%C al precipitarse cementita secundaria que se forma sobre las partículas de cementita ya presentes, a los 723° la austenita se transforma en perlita, el eutectoide de los aceros. La fundición blanca se utiliza en cuerpos molidores por su gran resistencia al desgaste, el enfriamiento rápido evita la grafitización de la cementita pero si se calienta de nuevo la pieza colada a una temperatura de 870° el grafito se forma lentamente adoptando una forma característica conocida como carbono de revenido, resultando la fundición maleable. La matriz de la fundición puede ser ferrítica o perlítica si la aleación se enfría más rápidamente a partir de los 723° al final del tratamiento de maleabilización. Las fundiciones maleables se utilizan en la fabricación de partes de maquinaria agrícola, industrial y de transporte.

#### **FUNDICION ATRUCHADA (Castro,2009)**

Se caracteriza por tener una matriz de fundición blanca combinada parcialmente con fundición gris. El carbono se encuentra libre y combinado, siendo difícilmente maquinable.

#### **FUNDICION ALEADA**

**(Castro, 2009)**

Las fundiciones aleadas son aquellas que contienen Ni, Cr, Mo, Cu, etc., en porcentajes suficientes para mejorar las propiedades mecánicas de las fundiciones ordinarias o para comunicarles alguna otra

propiedad especial, como alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la corrosión, al calor etc.

## **Bibliografía.**

1. AVNER, SIDNEY. Introducción a la metalurgia física. Editorial Ciencia y Técnica. Instituto del libro. La Habana. 1970.
2. A.W.S. Specification for welding rods and covered electrodes, for CAST - IRONS. A.W.S. Specification A.5.15.82. New York. 1992.
3. CASRO, GUILLERMO. Fundiciones. Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A. 2009.
4. HEYER, ROBERT. Engineering Physical Metallurgy. Van Nostrand Company Inc. New York .1949.
5. GULIÁEV, A P. Metalografía. Editorial MIR. Moscú. 1978.
6. HADBROKEN, L; BROWER, J. The ferric Metallographia. Metallographic Atlas of Iron, Steel and Cast Iron. W.B. Saunders Company. Philadelphia. London. 1966.
7. IRON CASTING SOCIETY, Inc. Iron Casting Handbook. Iron Casting Society, Inc. 1981.
8. LAKHTIN, Y. Engineering Physical Metallurgy. Foreign Languages Publishing House. Moscow. 1970.
9. LAJTIN, Y. Metalografía y tratamiento térmico de los metales. Editorial MIR. Moscú. 1973.
10. RODRÍGUEZ PÉREZ, HECTÓR. Metalurgia de la soldadura de la Soldadura. Pueblo y Educación. La Habana. 1983.
11. ROSHENTAL, HEINE. Principles of metals casting. Mac Graw Hill. New York. 1995.
12. SEFERIAN, DANIEL. Metalurgia de la soldadura. Ediciones Revolucionarias. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 1979.
13. SMITH, WILLIAM. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Mac Graw Hill. Madrid. 1992.
14. SOUTHWELL, G; YOUNG, D. Sulfidation Behavior of a Binary Fe-Mn Alloy. Department of Industrial Chemistry, University of New South Wales. Kensington. Australia. Reprinted from Oxidation of Metals. Vol.34. N° 3 and 4. 1990.
15. TORRES ALPIZAR, EDUARDO. Soldabilidad de los hierros fundidos. recomendaciones para su soldadura. CD de Monografías de 2010. Centro de Información Científico Técnico. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. 2010.
16. UCLV. Laboratorio Científico del departamento de Física. Metalografía y tratamiento térmico

de las fundiciones. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. 1983.

17. UDIM, HARRY; FUNK, EDWAR; WULF, JHON. Welding for engineers. N. Jhon Wiley and Sons, Inc. New York. 1954.
18. VISLAVZIL, ZDENEK; FILIP, ANTONIN. Ciencia de los materiales para ramas de metales. Editorial Ciencia y Técnica. La Habana. 1967.
19. WHITE, ALFRED. Engineering Materials. MacGraw Hill Book Company. New York. 1948.