

trucciones ligeras (aviones, etc.), aleado con manganeso (2%) es resistente a la corrosión. En forma de polvo y mezclado con agentes oxidantes se emplea en fotografía (flash), en pirotécnica y en el proceso de la termita.

**ALEACIONES DE MAGNESIO.**- Aleaciones ligeras, de propiedades mecánicas inferiores a las aleaciones de aluminio, resistentes a la corrosión. Su densidad varía de 1.76 a 1.86, presentan problemas de moldeado en frío y en caliente, sobre todo éste último debe hacerse a baja velocidad de deformación, en prensas hidráulicas. No deben moldearse en frío, sino calentadas a 225°C o más. Están formadas por cristales de paquete hexagonal, que no permiten un cambio rápido de forma, tal como el producido por martinets. Contienen un máximo de 10% de otros elementos, sobre todo Aluminio (4 a 8%). Algunas hasta 3% de Zinc y de 0.2 a 0.3% de Manganeso, el cual mejora la resistencia contra la corrosión. La aleación forjada de más alta resistencia contiene 8½% Al. 0.5% Zn y 0.15% Mn.

La adición de Aluminio disminuye la conductividad térmica, formando aleaciones conocidas como metales Dow; con 8.5% y 0.4% de Zn se emplean para vaciados en arena y para trabajos de prensa. Con 9% de una solución sólida ( $\delta$ ), de mayor resistencia y ductilidad que el Magnesio, con 9 a 11% de Al produce aleaciones para vaciados que requieren gran fluidez (vaciado en matriz a presión). Mas de 12% de Al produce fragilidad para ciertos usos, aunque aumenta la resistencia. Algunas aleaciones de Magnesio son mejoradas por tratamientos térmicos.

#### T I T A N I O

**MINERALES.**- Es un elemento relativamente abundante, ocupa el noveno lugar. Se halla en forma de óxido (rutilo), Titanato de hierro (Ilmenita) y óxido ferroso-férrico o Magnetita, en Florida y Virginia en Estados Unidos, La India, Ontario, Canada, etc.

**OBTENCION.**- Se obtiene por el método Kroll que consiste en calentar el cloruro de Titanio con magnesio en atmósfera inerte, en un recipiente de hierro. El Titanio resultante queda en forma esponjosa, puede ser purificado, calentandolo al vacío en atmósfera inerte, con yodo. El tetrayoduro formado se disocia con un filamento caliente, depositandose el titanio con 99% de pureza. Si no se quiere puro se funde la esponja. El cloruro se prepara tratando el mineral con ácido clorhídrico.

**PROPIEDADES.**- Metal de gran ligereza, densidad 4.54, P. de fusión 1,723°C. Tiene gran resistencia a la corrosión por oxígeno, agua de mar (cloruros) y álcalis diluidos y una resistencia a la tensión variable de 4,500 a 7,700 Kgs/cm<sup>2</sup> para hojas y placas y de 10,000 Kgs/cm<sup>2</sup> para alambre, cuando ambos están recozidos, también varía considerablemente para pequeñas diferencias en su proceso de manufactura, con un alargamiento de 25%. En aleaciones tratadas térmicamente sus propiedades mecánicas son comparables a las del acero. Tiene gran afinidad para absorber gases a temperaturas altas (300°C o más), sobre todo hidrógeno, oxígeno y Nitrógeno, disminuyendo su ductilidad.

**USOS.**- Hasta hace poco se usaba solo como desoxidante para el acero, pero modernamente se ha comprobado que tiene excelentes propiedades para estabilizar el carbón en los aceros austeníticos y en los aceros al cromo, para evitar el rápido endurecimiento con el enfriamiento al aire, estas aplicaciones se están extendiendo a otras aleaciones de acero, en proporción de más de 0.025%. Su principal uso actualmente es en la construcción de aviones, para las alas y fuselaje, se usa también para la industria química.

#### C A P I T U L O VI

#### MATERIALES FERROSOS.

**GENERALIDADES.**- El hierro presenta la notable propiedad de alearse con el carbón formando varias aleaciones cuyas propiedades cambian notablemente para pequeñas diferencias de composición. Se consideran en la práctica dos grupos importantes de aleaciones ferrosas - según su constitución, llamadas impropriadamente metales ferrosos: I.- Hierro vaciado o colado y II.- Hierros maleables. Ambos son obtenidos a partir del hierro impuro o hierro bruto de fundición, que resulta de la reducción de sus minerales y del cual trataremos a continuación.

#### HIERRO BRUTO DE FUNDICION.

**MINERALES.**- El mineral de hierro de mayor importancia es la Hematita Roja u Oligisto (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido férrico anhídrico de color café o rojo, le siguen: Las Hematitas pardas o limonitas, óxidos hidratados de color amarillo, con diferentes grados de hidratación. La Magnetita u óxido ferroso férrico (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), de color gris negro, fuertemente magnético, por lo que se le llama piedra imán, de elevado punto de fusión, por contener óxido de titanio. La Siderita o Carbonato y las Piritas o sulfuros, estos últimos de importancia casi nula. Otro mineral de importancia en Norte América es la taconita, una cuarcita con 20 a 30 % de Hierro.

**OBTENCION.**- Se lleva a cabo aplicando el proceso pirometalúrgico en un Alto Horno, o sea por la reducción de sus óxidos con el carbón de Coke, en presencia de caliza como fundente.

**Descripción del Alto Horno.**- Es un horno de Cuba de 20 a 30 mts. de altura, formado por dos conos truncados unidos por su base mayor (Fig. 29), está construido de lámina de palastro y revestido interiormente de ladrillo refractario, tiene una capacidad promedio de 700 toneladas diarias; los de mayor capacidad producen hasta 1,600 toneladas al día. Consta de cuatro partes a saber: El crisol (C), cilindro de palastro o acero vaciado, revestido por cerca de 90 cms. de refractario provisto de dos orificios para la salida de la escoria y del fierro fundido. La obra o zona de fusión (F), en donde se insertan de 8 a 16 toberas de cobre (T) de dobles paredes, enfriadas por agua y formadas por varias secciones cónicas, cuyo diámetro va aumentando hasta conectar a un gran tubo que rodea al horno como un anillo y el cual conduce el aire necesario para la operación. En esta zona el calentamiento es sumamente intenso, por lo cual está hecha de 60 a 90 cms. de ladrillo refractario recubierto exteriormente por una serie de chaquetas (CH) de dobles paredes, por las que circula agua de enfriamiento, para proteger el refractario de su rápida destrucción. El Vientre (V), la zona de mayor diámetro, donde los materiales alcanzan su máxima dilatación antes de empezar a fundirse y finalmente, El Etalaje o Cuba (E), parte superior del horno, sostenida por 8 a 12 columnas (S), con 20 a 22 Mts. de altura y terminando en el Tragadero, boca o --

cargadero, provisto de dos campanas cónicas (B) que funcionan alternadamente, para no permitir que los gases se escapen mientras se carga. Los gases salen por dos orificios situados a los lados del horno, a tubos que se juntan en un conducto común para llevarlos a un sistema de tratamiento, para quitarles los materiales en suspensión y utilizarlos como combustibles en las estufas o calderas, por su gran contenido de CO (20%).

Operación.- Para iniciar la operación se llena el horno con leña y carbón de Coke, los cuales se queman para el secado del horno, al empezar a bajar se van a gregando capas alternadas de mineral (60%), Coke (25%) y Caliza (15%) (fundente), mediante unos carros de

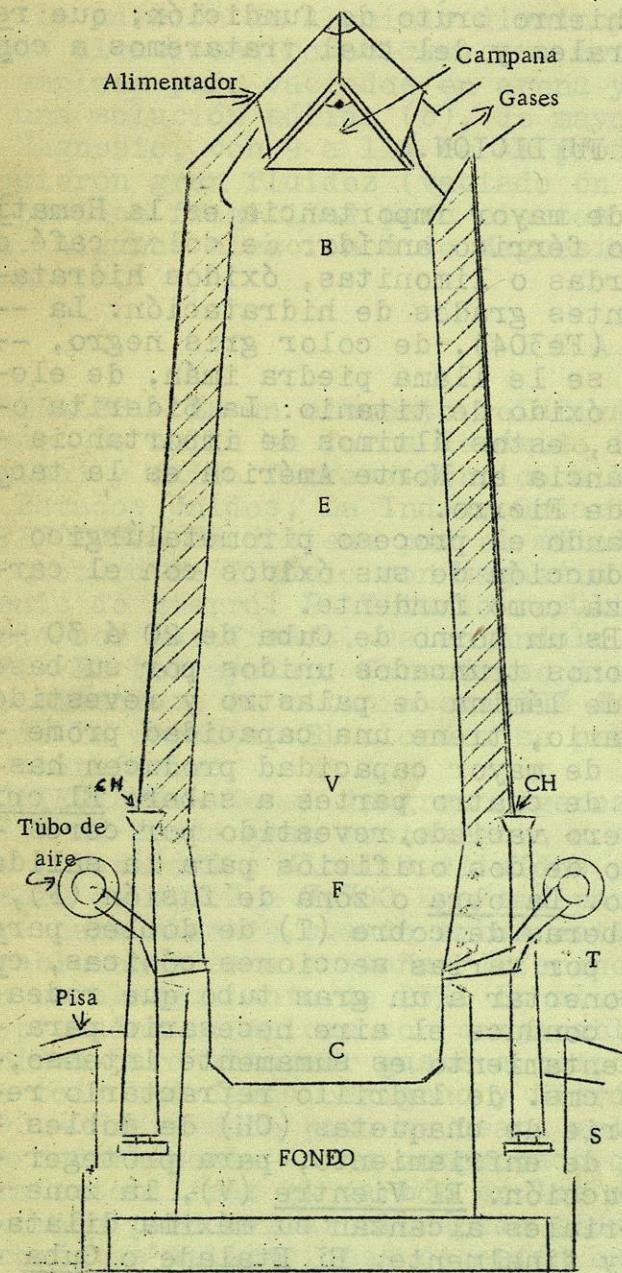
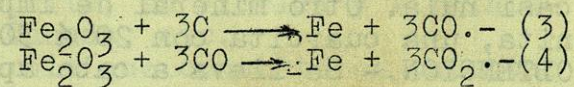


Fig. # 29 ALTO HORNO....

de carga que se mueven alternadamente por carriles situados en un plano inclinado operado mecánicamente. El horno se mantiene lleno y la operación es continua, introduciendo cerca del fondo aire precalentado a 500 - 600°C en estufas apropiadas y comprimido a una presión de 1 Kg/cm<sup>2</sup>. La carga desciende lentamente, produciéndose primeramente un secado y un precalentamiento con los gases de salida y al ir bajando reaccionan los óxidos con el monóxido de carbono (CO) de los gases y algo con el carbón, dando hierro libre.



El hierro obtenido queda en forma esponjosa, licuándose al llegar a la zona de fusión, y pasando al crisol, disolviendo a su paso varias impurezas: azufre, manganeso, fósforo, silicio y carbón. Mientras tanto, la ganga se combina con la cal para formar la escoria (2) y después de 10 á 15 horas de iniciado el soplo puede hacerse la primera eliminación de ésta, continuando después cada 2 horas. La Escoria se lleva por canales a tinajas de fondo cónico, transportándola a un patio en donde se vacía para dar una masa obscura que se usa quebrada como material de relleno. En ocasiones se lleva a pilas, en donde se pone en contacto con una lluvia de agua a presión para provocar su rápido enfriamiento, formándose así un producto granulado de color blanque-

ciño ó grisáceo, que se emplea para la fabricación del cemento ó de ladrillos de escoria. A las 20 ó 30 horas de iniciado el soplo, se hace la primera picada del hierro y después cada 4 ó 5 horas, para lo cual se quita el tapón de arcilla y de tierra que cierra el orificio y después se funde el tapón interior de hierro mediante tubos con oxígeno. El líquido restante se vacía en tinajas cónicas para su transporte, ya sea a un mezclador, a los hornos de aceración o bien para ser vaciado en lingoteras o moldes, montados en una cadena sin fin y recubiertos con lechada de cal, para producir lingotes sólidos de 35 á 50 Kgs.

PROPIEDADES Y USOS.- El Hierro bruto de fundición se llama también Arrabio o lingote de 1<sup>a</sup> fusión al estado sólido. Es un hierro impuro que contiene de 2.5 á 4.5 % de carbón, 1 á 5 % de silicio, 0.1 a 1 % de Fósforo, 0.04 a 1 % de Azufre y 0.2 a 1.5 % de Manganeso. Según su aplicación y el contenido de impurezas, recibe distintos nombres, como; De Bajo y De Alto fósforo, De bajo y De alto silicio Hierro de grado Bessemer, Lingote o Hierro básico, etc., Sus propiedades varían con su composición, siendo en general semejantes a las del hierro vaciado. Se usa como materia prima para la obtención de los demás tipos de hierro y ocasionalmente para vaciado directo de piezas, sobre todo lingoteras para vaciado de acero, en forma de hierro de fundición gris.

I.- HIERROS VACIADOS

OBTENCION.- Se obtienen por la refusión del hierro bruto de fundición para reducir la cantidad de impurezas, y producir un producto más uniforme, controlando el contenido de las mismas dentro de ciertos límites, según el producto deseado. Para abaratar el hierro se le mezclan diversos porcentajes de chatarra y desperdicios de la fundición, agregando si es necesario los elementos que se crea conveniente en forma de ferro-aleaciones, por ej: Silicio, Fósforo, Manganeso, Cromo, Níquel, etc. Para esta refusión hay dos tipos de hornos de uso general: El Horno de Cúpula o Cubilote (Fig. 30) empleado para la obtención del hierro de fundición gris y el horno de Reverbero o de aire, empleado para grados especiales de hierro gris y para la obtención del hierro de fundición blanca. En algunos casos se emplean para la obtención de grados especiales hornos de Hogar abierto como los usados en el acero. Un proceso reciente es el llamado DUPLEX, que consiste en un tratamiento preliminar en el horno de cúpula, efectuándose el resto en un horno eléctrico, dando así un fierro de calidad superior, pudiéndose sobrecalentar el material para mejorar sus características de vaciado y de composición.

Descripción del Horno de Cubilote.- (Fig. 30).- Consiste en un cilindro de palastro (P), revestido interiormente de ladrillo refractario (L) y provisto en la parte inferior de una cámara anular (C) para la introducción del aire, mediante unos aditamentos de hierro vaciado ó Toberas (T), insertados en la pared del horno. El crisol queda entre la abertura de éstas y el piso del horno, el cual está formado por una puerta de dos hojas (B) sostenidas por unas barras; sobre las que se coloca una capa de arena de moldear de unos 10 ó 15 cms. de grueso, con un ligero declive hacia el ori-

ficio de salida del fierro (F), el cual fluye por un canal al exterior; unos 7 cms. abajo de las toberas y en la parte opuesta de aquel, se halla el orificio desangrado de la escoria (E). Se carga por una puerta (H), situada a mediados de su altura. Funciona como el alto horno, pero a menor presión. Su tamaño es muy variable, pero comunmente tiene alrededor de 1.80 Mts. de diámetro y 6 Mts. de altura, con una capacidad de 20 toneladas/hr. Es de operación intermitente, tumbando las barras que sostienen el piso al terminar el vaciado.

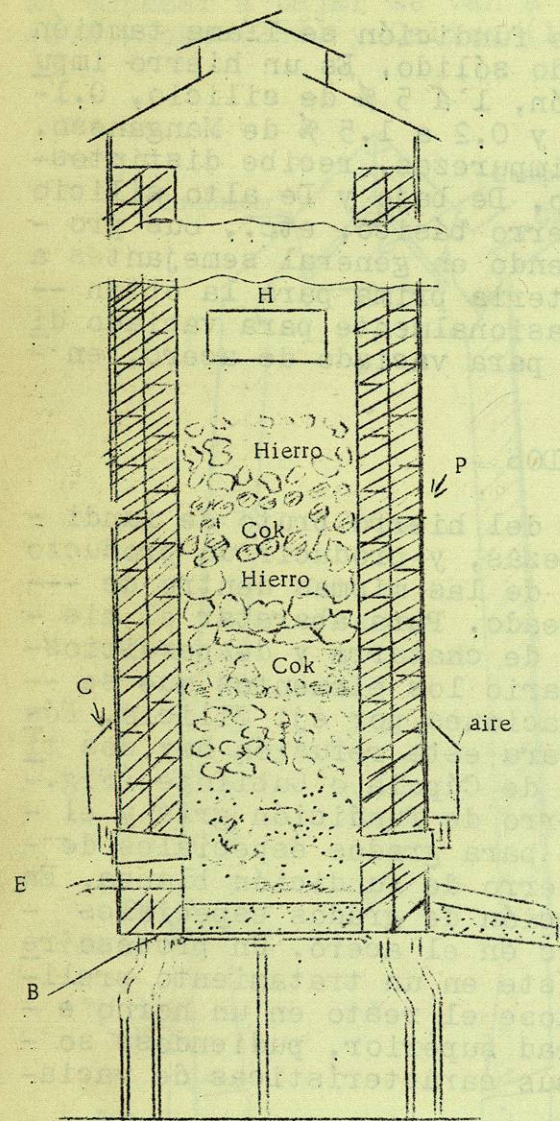


Fig # 30 Horno Cubilote.

Operación.- Consiste en cargar el horno con una cantidad inicial de leña y carbón para formar una cama y una vez encendida ésta ir agregando cargas alternadas de fierro en la forma calculada y carbón Coke con cierta cantidad de fundentes, sobre todo piedra caliza y espatoflour; después de cierto tiempo para precalentarse, se inicia el soplo, empezando a fundir en 10 minutos, una vez lleno el crisol o vaso, se pica para sacar el fierro.

Horno de Aire.- Es un tipo de horno de reverbero, con capacidad de 5 á 40 toneladas, la carga consiste también de fierro bruto y chatarra, la cual se coloca sobre una cama de arena sílice en el fondo del crisol y si es necesario, se añade caliza como fundente; la escoria formada flota sobre el metal fundido, protegiéndolo contra la oxidación y evitando la absorción de azufre del combustible. Da un control más efectivo que el horno cúpula, con la ventaja de poder regularse la temperatura; tiene la desventaja de necesitar doble cantidad de combustible y ser de construcción más costosa.

PROPIEDADES.- Los Hierros vaciados se consideran técnicamente como "Hierros de Fundición" ó aleaciones eutécticas de hierro con 2.2% á 5% de carbón. Sus propiedades varían no solo con el contenido de carbón, sino también con el contenido de impurezas, sobre todo de silicio y con la velocidad de enfriamiento. Estos factores afectan la forma de presentarse el carbón, lo cual da origen a la formación de varios tipos. Si éste queda principalmente en forma libre (grafito), se obtienen los hierros de Fundición Gris y si lo está en forma combinada o de carburo de hierro da la Fundición Blanca; cuando aparecen las dos formas, se obtiene la llamada Fundición Atruchada o Matizada. Además -

de estos tipos fundamentales pueden existir otras formas o variedades, de las cuales las de mayor importancia son los hierros de Fundición Maleable y los hierros Dúctiles o Nodulares, los primeros obtenidos de la Fundición Blanca y los segundos de la Gris. En general la formación de grafito aumenta con el contenido de carbón y Silicio y la de Cementita con la disminución de éstos, con el aumento de azufre y de Manganeso en exceso sobre las cantidades que se combinan entre sí (MnS) y con el enfriamiento rápido, por lo cual su formación se provoca a menudo colocando en los vaciados formas especiales de hierro o acero llamados Templaderas, para obtener dureza en esa sección, sobre todo si hay formación de Fundición Blanca; la dureza aumenta con la proporción de cementita. Son frágiles, aumentando su fragilidad con la dureza. Su punto de fusión aumenta de 1,075°C á 1,275°C con la disminución del contenido de carbón. La presencia de fósforo aumenta su fluidez, la cual tiene importancia para la fabricación de piezas delgadas, también aumenta la formación del grafito cuando el Silicio es alto, pero cuando es bajo, la disminuye. Para una mejor explicación de las propiedades y usos, veremos a continuación los diversos tipos.

A.- FUNDICION GRIS.- Contiene usualmente de 2.75 a 3.25% de carbón, una gran proporción en forma de grafito, lo que le da fractura gris o negruzca, con puntos brillantes de cristales de hierro. Está formado por placas irregulares de grafito, generalmente alargadas y curvas, en matriz de Ferrita o Cementita. Se emplea para piezas vaciadas, por su fácil fusión y por expansionarse durante el enfriamiento rellenando fácilmente los contornos del molde. Por su tamaño de grano pueden considerarse variedades de grano fino, formadas por cristales muy pequeños con escamas de grafito y de grano grueso, de color obscuro y de cristales grandes. Sus propiedades mecánicas dependen de la cantidad, composición y estructura de la matriz y del tamaño, forma y distribución de las partículas de grafito, pudiendo estos factores ser controlados por la composición, la velocidad de enfriamiento y el tratamiento térmico. Su dureza varía de 150 á 270 Brinell. La resistencia a la tensión de 1,350 á 3,850 Kgs/cm<sup>2</sup>. Resistencia a la compresión de 4,500 á 11,000 Kgs/cm<sup>2</sup>. Resistencia al corte de 1,900 á 4,000 Kgs/cm<sup>2</sup>. Su peso específico disminuye con el contenido de carbón, por la tendencia del grafito de ocupar mayor volumen, varía de 6.8 á 7.2 Kgs/cm<sup>3</sup>. La tenacidad y la resistencia al impacto son mayores en las variedades de grano fino. A menudo las piezas vaciadas se someten a recocido para eliminar los esfuerzos internos y uniformar el grano ó para mejorar sus propiedades de maquinado.

B.- FUNDICION BLANCA.- Contiene prácticamente todo el carbón (2 á 2.5%) en forma combinada, como carburo de hierro (Fe<sub>3</sub>C) o Cementita, lo cual le da su fractura metálica característica de color blanco. Se produce a baja concentración de silicio (menos de 1%) y alta velocidad de enfriamiento, tiene un punto de fusión menor que la gris, presenta menor fluidez al estado líquido y se contrae casi dos veces más. Su densidad es mayor, 7.6 Kgs/cm<sup>3</sup>. Tiene poca importancia en Ingeniería por su dureza y fragilidad y porque es prácticamente intrabajable, utilizándose solamente como producto intermedio para la obtención de los hierros de fundición Maleable.