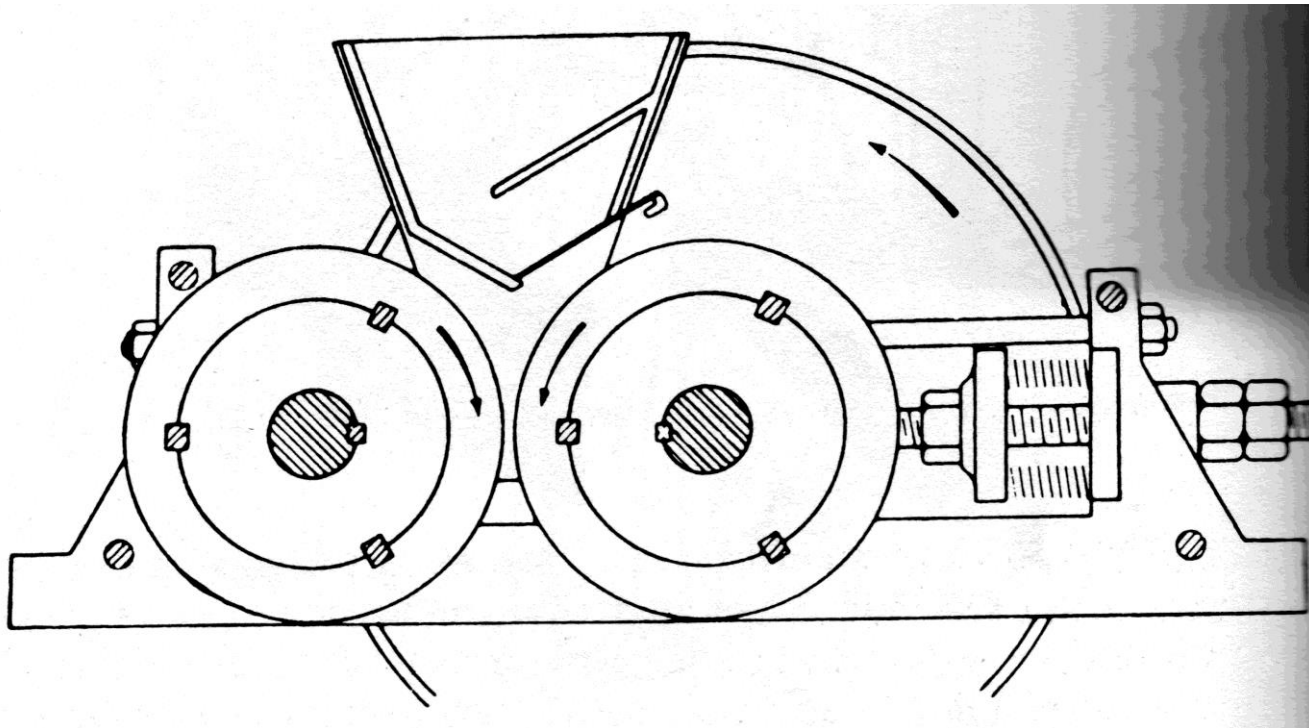
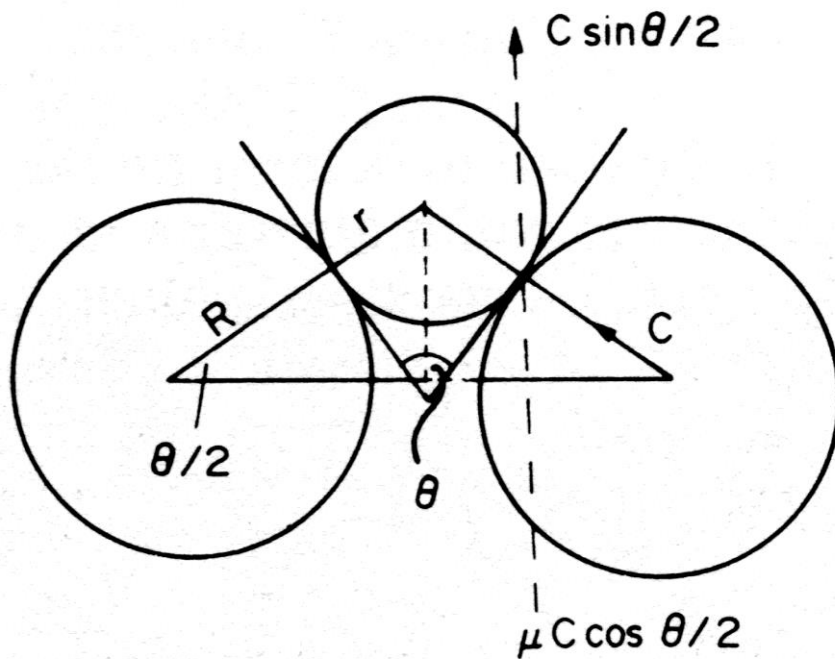


Sesión 4

Diseño de equipo de trituración





$$C \sin \frac{\theta}{2} = \mu C \cos \frac{\theta}{2}$$

Entonces

$$\mu = \tan \frac{\theta}{2}$$

C es la fuerza compresiva ejercida por los rodillos y μ es el coeficiente de fricción entre los rodillos y la partícula (oscila en valores entre 0.2 y 0.3 para el acero y casi todos los minerales).

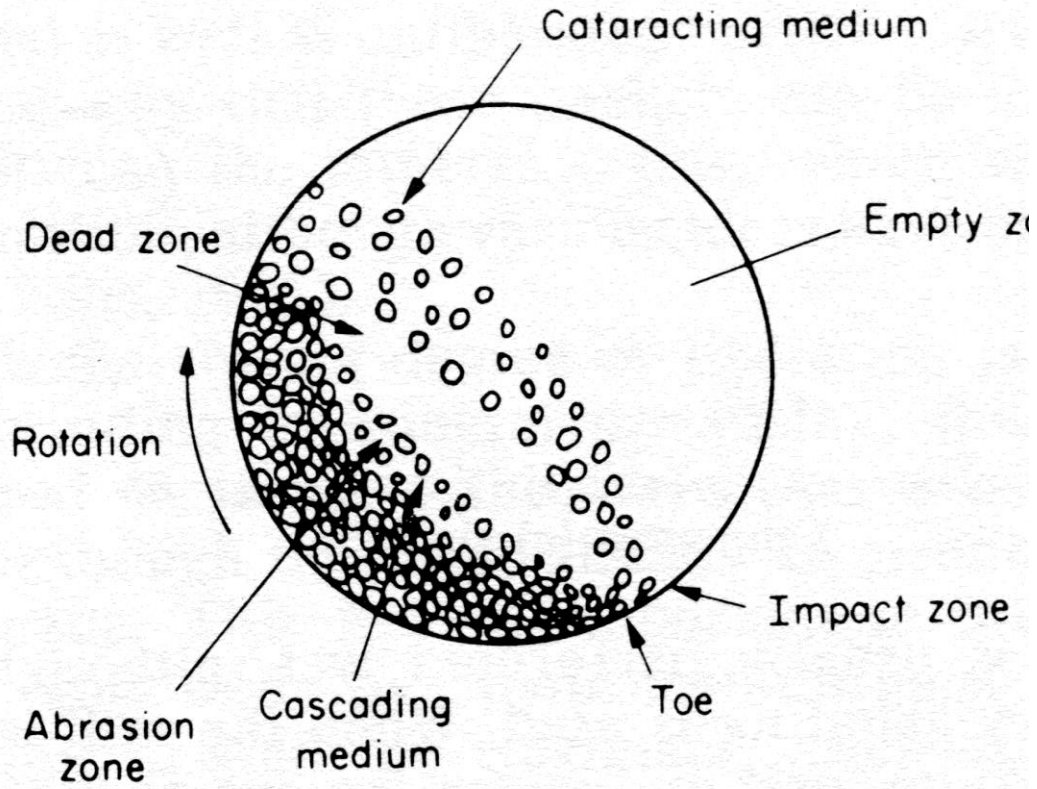
Así el valor de θ no deberá exceder de 30° o la partícula resbalará por en medio

- El valor del coeficiente de fricción entre una partícula y los rodillos girando se calcula con

$$\mu_k = \left(\frac{1 + 1.2V}{1 + 6V} \right) \mu$$

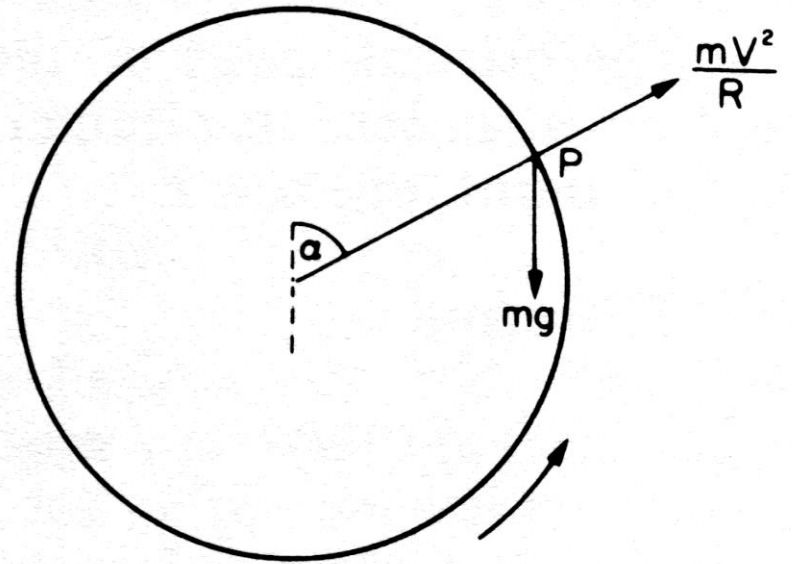
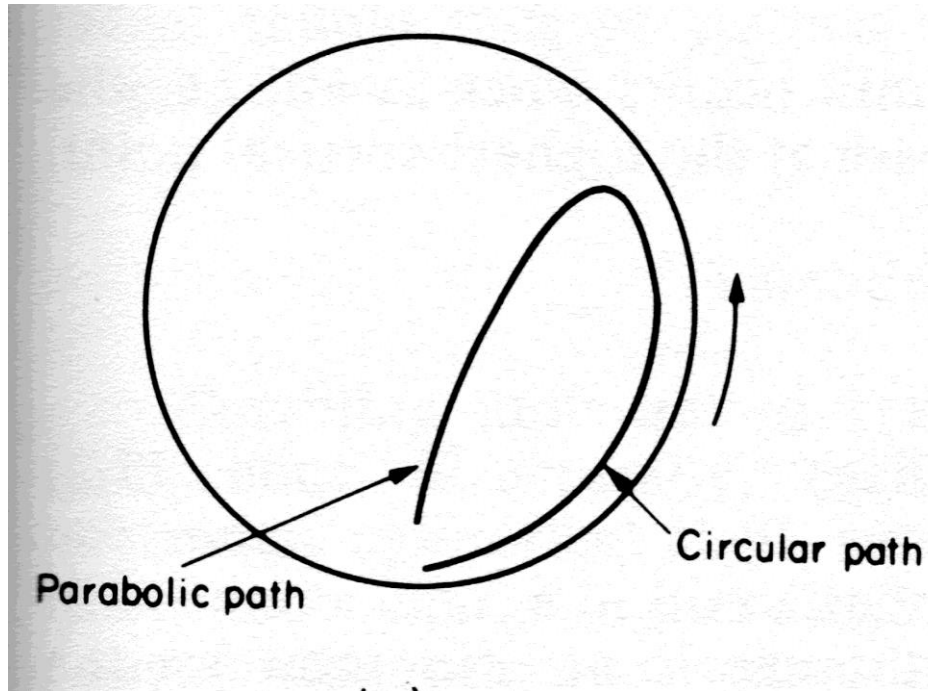
- Donde μ_k es el coeficiente de fricción cinético y V es la velocidad de giro de los rodillos en m/s

$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{R + a}{R + r}$$



- Considérese una bola o rodillo, el cual es levantado por la coraza de un molino de radio R metros, girando a N rev/min. La bola abandona su trayectoria circular por una parábola en el punto P cuando el peso de la bola esta justamente balanceado por el efecto de centrífuga cuando:

$$\frac{mV^2}{R} = mg \cos \alpha$$



$$V = \frac{2\pi RN}{60}$$

$$\cos \alpha = \frac{4\pi^2 N^2 R}{60^2 g}$$

$$= 0.0011 N^2 R$$

Cuando el diámetro de la bola o rodillo se toma en cuenta el radio de la trayectoria externa es $(D - d)/2$, donde D es el diámetro del molino y d es el diámetro de la bola en metros. Así:

$$\cos \alpha = 0.0011 \frac{N^2 (D - d)}{2}$$

La velocidad crítica del molino ocurre cuando $\alpha=0$, por lo que :

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{(D - d)}} \text{ min } rev^{-1}$$

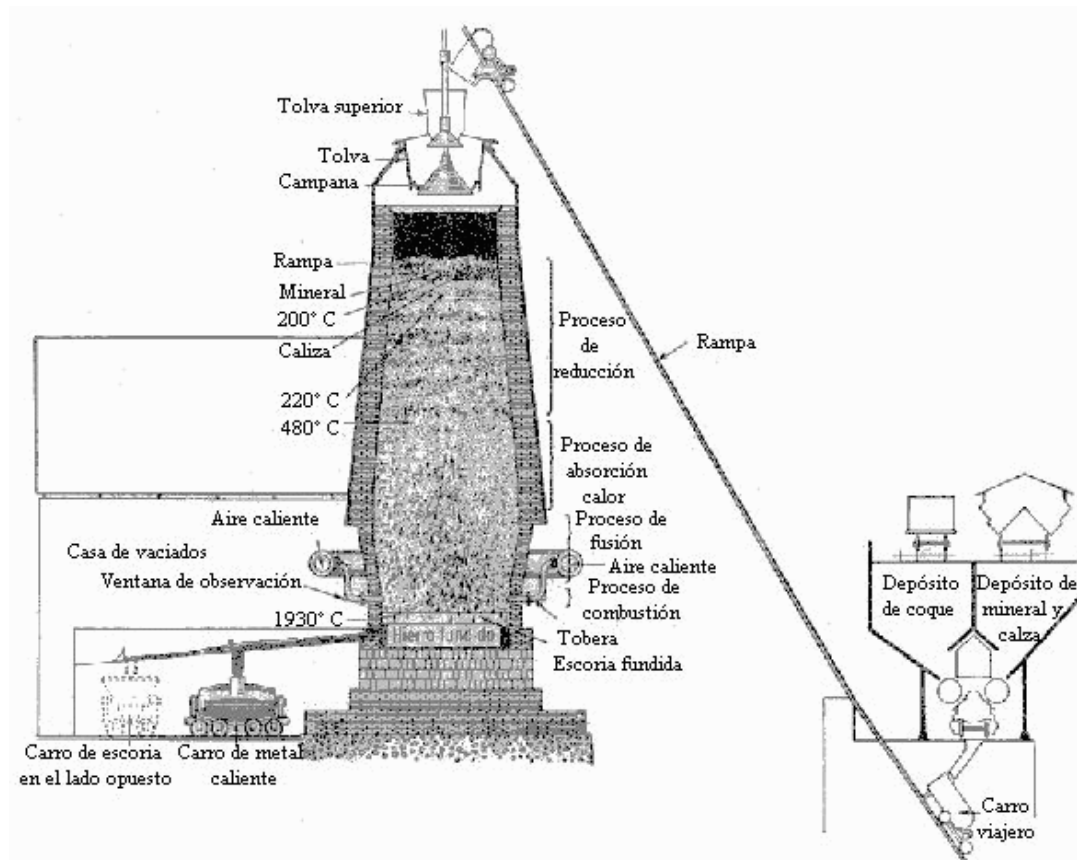
- **Clasificación de los aceros**

- Con el fin de estandarizar la composición de los diferentes tipos de aceros que hay en el mercado la Society of Automotive Engineers (SAE) y el American Iron and Steel Institute (AISI) han establecido métodos para identificar los diferentes tipos de acero que se fabrican. Ambos sistemas son similares para la clasificación.
- En ambos sistemas se utilizan cuatro o cinco dígitos para designar al tipo de acero. En el sistema AISI también se indica el proceso de producción con una letra antes del número.
- Primer dígito. Es un número con el que se indica el elemento predominante de aleación. 1= carbón, 2= níquel, 3=níquel cromo, 4=molibdeno, 5=cromo, 6=cromo vanadio, 8=triple aleación, 9 silicio magnesio.
- El segundo dígito. Es un número que indica el porcentaje aproximado en peso del elemento de aleación, señalado en el primer dígito. Por ejemplo un acero 2540, indica que tiene aleación de níquel y que esta es del 5%.
- Los dígitos 3 y 4. Indican el contenido promedio de carbono en centésimas, así en el ejemplo anterior se tendría que un acero 2540 es un acero con 5% de níquel y .4% de carbón.

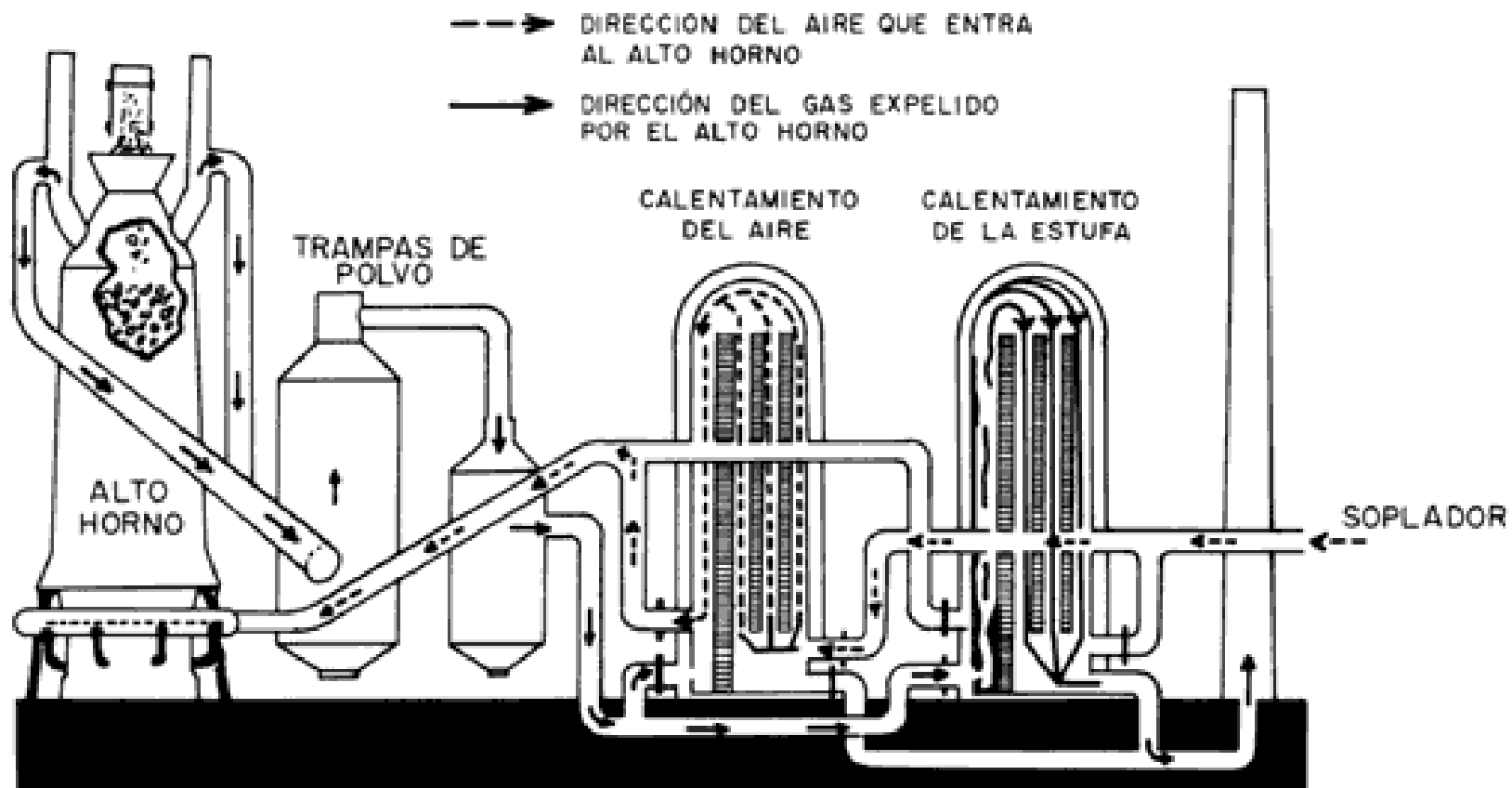
- Cuando en las clasificaciones se tiene una letra al principio esta indica el proceso que se utilizó para elaborar el acero, siendo los prefijo los siguientes:
- A = Acero básico de hogar abierto
- B = Acero ácido de Bessemer al carbono
- C= Acero básico de convertidos de oxígeno
- D = Acero ácido al carbono de hogar abierto
- E = Acero de horno eléctrico
- A10XXX
- A= Proceso de fabricación
- 10 = Tipo de acero
- X = % de la aleación del tipo de acero
- X X= % de contenido de carbono en centésimas.

El alto horno

- En general los altos hornos tienen un diámetro mayor a 8 m y llegan a tener una altura superior de los 60 m. Están revestidos de refractario de alta calidad.
- Los altos hornos pueden producir entre 800 y 1600 toneladas de arrabio cada 24 h. La caliza, el coque y el mineral de hierro se introducen por la parte superior del horno por medio de vagones que son volteados en una tolva. Para producir 1000 toneladas de arrabio, se necesitan 2000 toneladas de mineral de hierro, 800 toneladas de coque, 500 toneladas de piedra caliza y 4000 toneladas de aire caliente.
- Con la inyección de aire caliente a 550°C , se reduce el consumo de coque en un 70%. Los sangrados del horno se hacen cada 5 o 6 horas, y por cada tonelada de hierro se produce 1/2 de escoria.

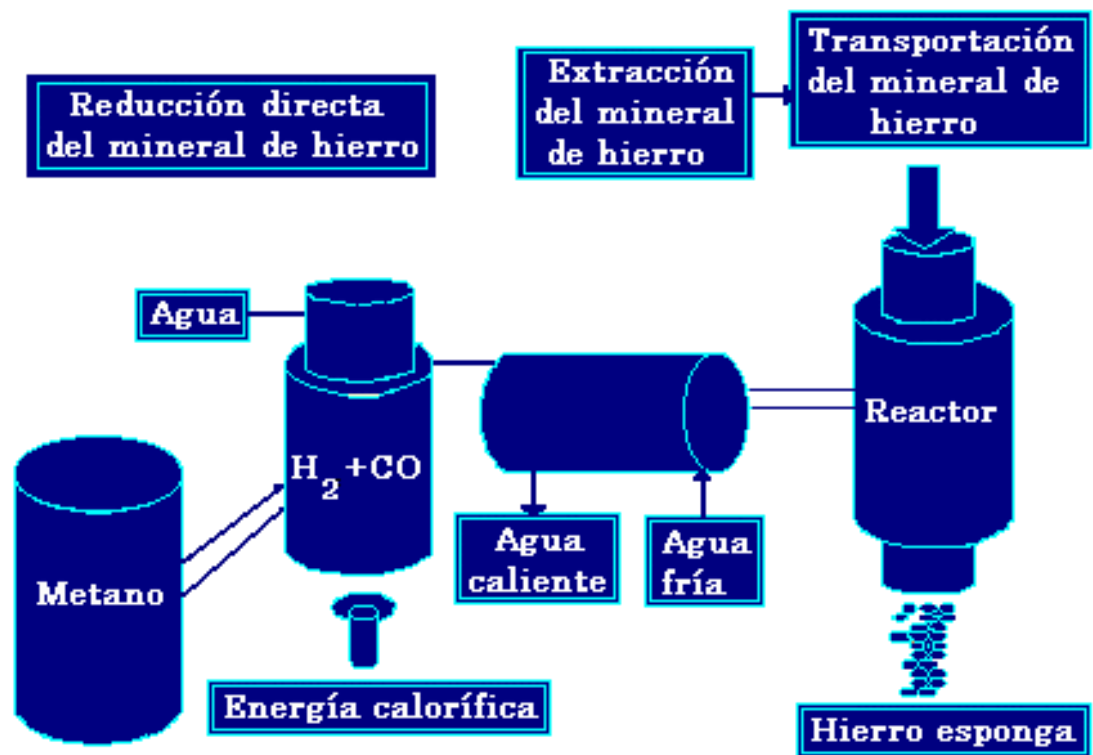


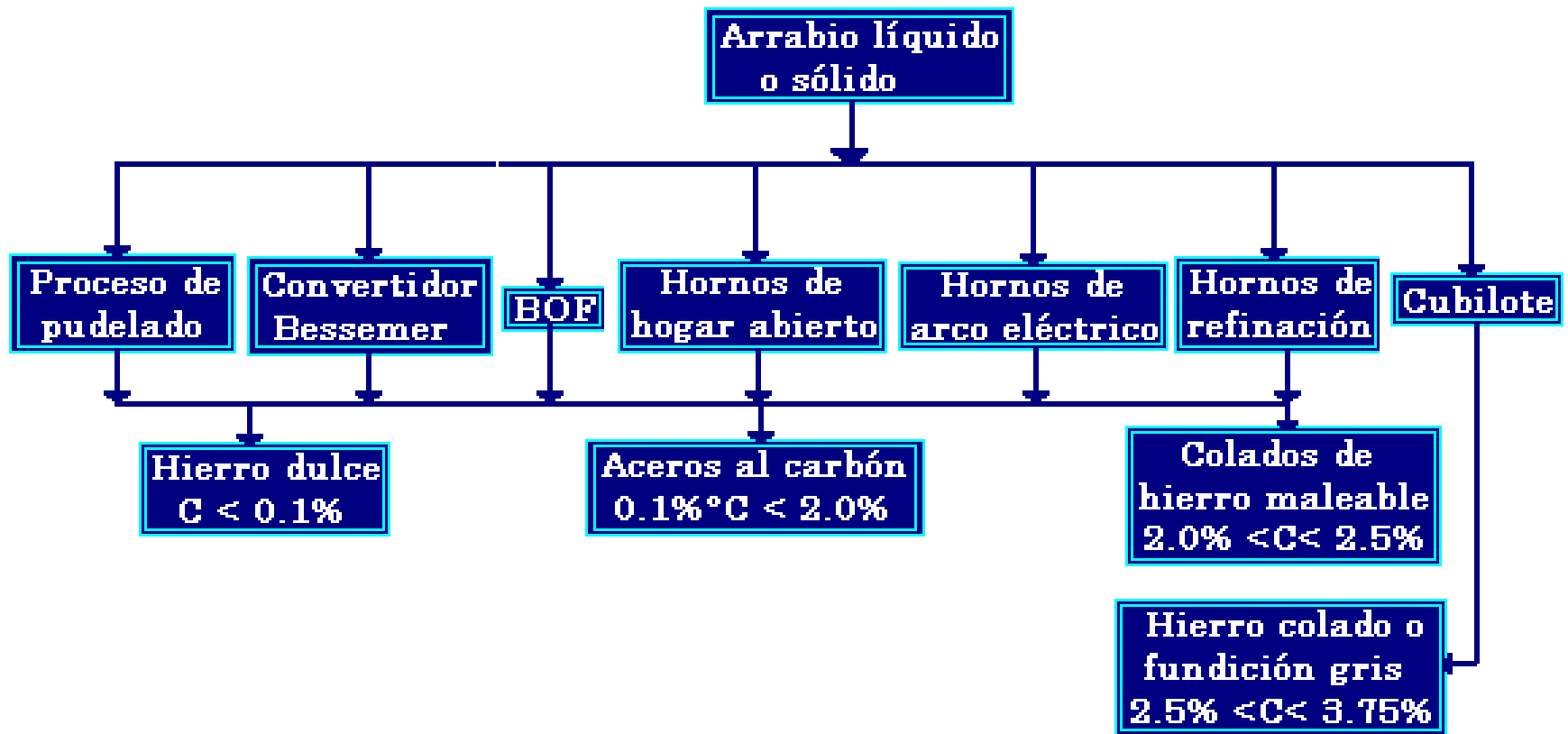
Vista seccional de un alto horno



ALEXANDER Y STREET, 1985

- **Reducción directa del mineral de hierro**
- Para la producción del hierro también se puede utilizar el método de reducción directa, el que emplea agentes reactivos reductores como gas natural, coque, aceite combustible, monóxido de carbono, hidrógeno o grafito.
- El procedimiento consiste en triturar la merma de hierro y pasarla por un reactor con los agentes reductores, con lo que algunos elementos no convenientes para la fusión del hierro son eliminados.
- El producto del sistema de reducción directa es el hierro esponja que consiste en unos pellets de mineral de hierro los que pueden ser utilizados directamente para la producción de hierro con características controladas.



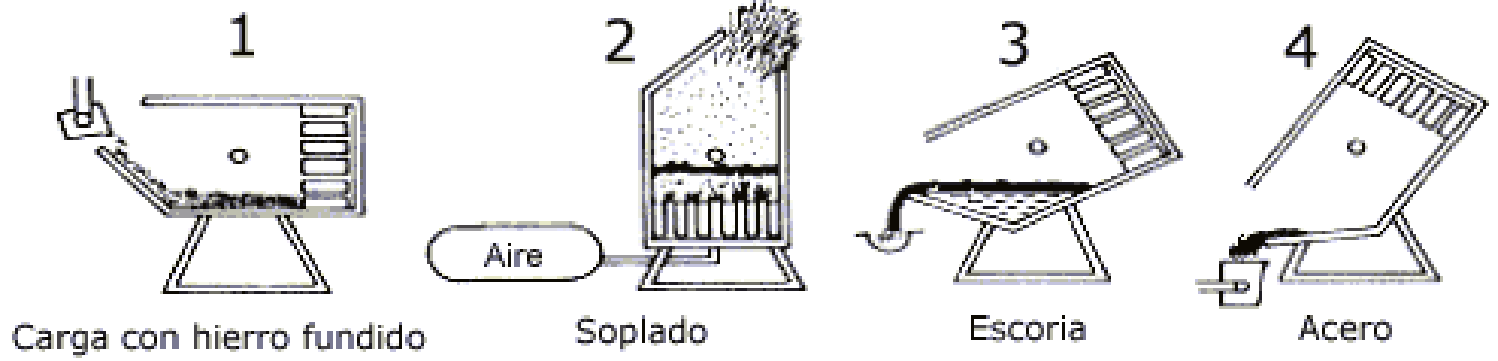
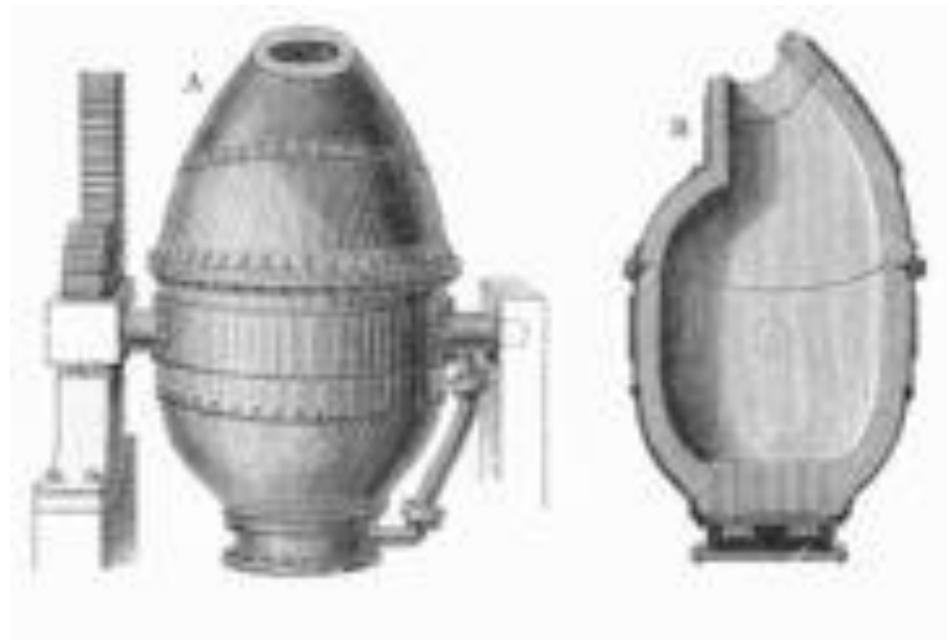


Proceso de pudelado

- El hierro dulce es un metal que contienen menos del 0.01% de carbono y no más de 0.003% de escoria.
- Para su obtención se requiere del proceso conocido como pudelado, el que consiste en fundir arrabio y chatarra en un horno de reverbero de 230 kg, este horno es calentado con carbón, aceite o gas. Se eleva la temperatura lo suficiente para eliminar por oxidación el carbón, el silicio, y el azufre.
- Para eliminar todos los elementos diferentes al hierro, el horno de pudelado debe estar recubierto con refractario de la línea básica (ladrillos refractarios con magnesita y aluminio).
- El material se retira del horno en grandes bolas en estado pastoso y el material producido se utiliza para la fabricación de aleaciones especiales de metales. Existen otros procedimientos modernos como el llamado proceso Aston, en donde en lugar del horno de reverbero se usa un convertidor Bessemer con lo que se obtienen mayor cantidad de material.

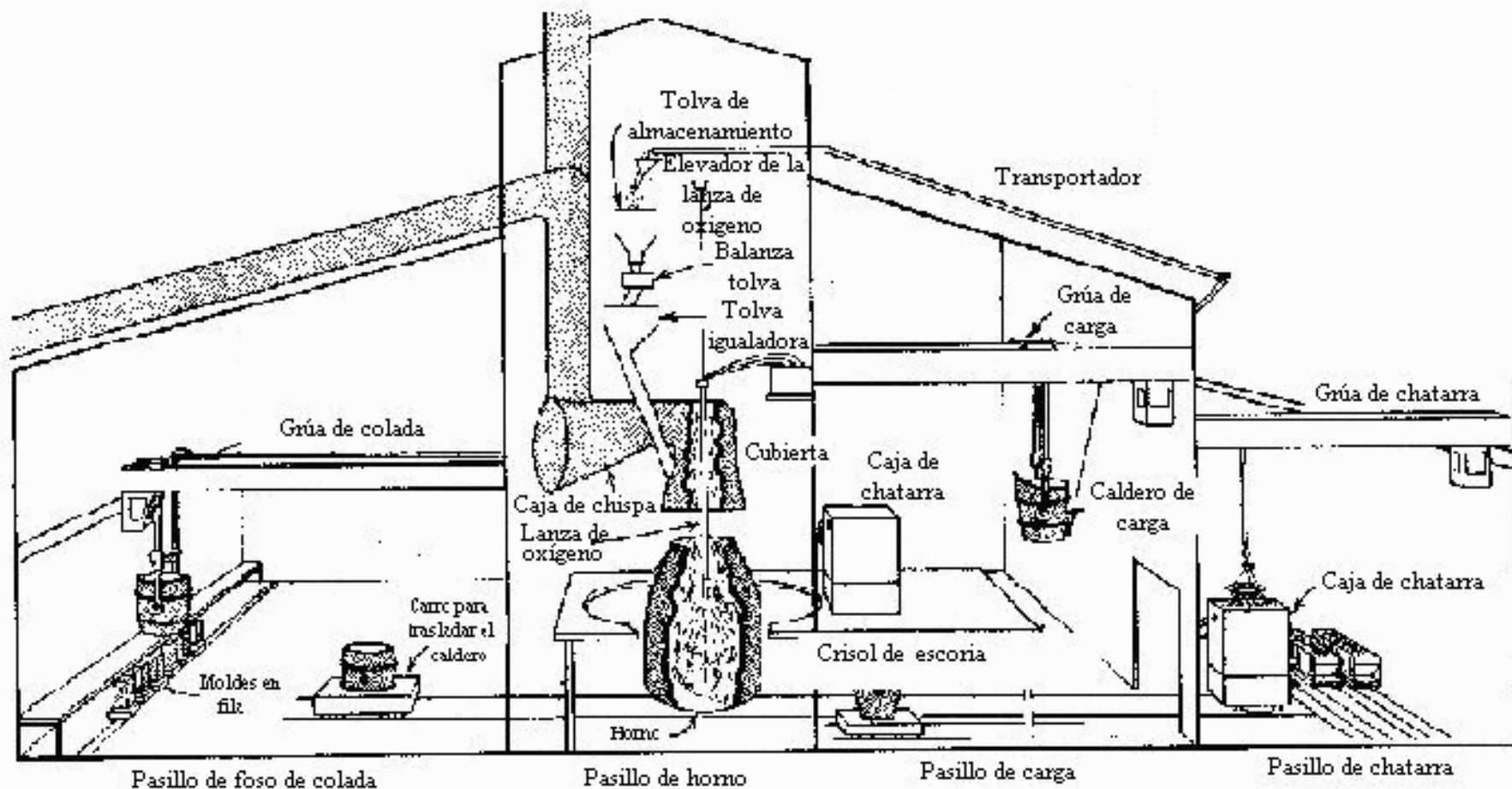
- **Hornos Bessemer**

- Es un horno en forma de pera que está forrado con refractario de línea ácida o básica. El convertidor se carga con chatarra fría y se le vacía arrabio derretido, posteriormente se le inyecta aire a alta presión con lo que se eleva la temperatura por arriba del punto de fusión del hierro, haciendo que este hierva. Con lo anterior las impurezas son eliminadas y se obtiene acero de alta calidad. Este horno ha sido substituido por el BOF.



Horno básico de oxígeno (BOF)

- Es un horno muy parecido al Bessemer con la gran diferencia que a este horno en lugar de inyectar aire a presión se le inyecta oxígeno a presión, con lo que se eleva mucho más la temperatura que en el Bessemer y en un tiempo muy reducido.
- El nombre del horno se debe a que tiene un recubrimiento de refractario de la línea básica y a la inyección del oxígeno.
- La carga del horno está constituida por 75% de arrabio procedente del alto horno y el resto es chatarra y cal. La temperatura de operación del horno es superior a los 1650°C y es considerado como el sistema más eficiente para la producción de acero de alta calidad. Este horno fue inventado por Sir Henry Bessemer a mediados de 1800, sólo que como en esa época la producción del oxígeno era cara se inició con la inyección de aire, con lo que surgió el convertidor Bessemer, el que ya fue descrito.



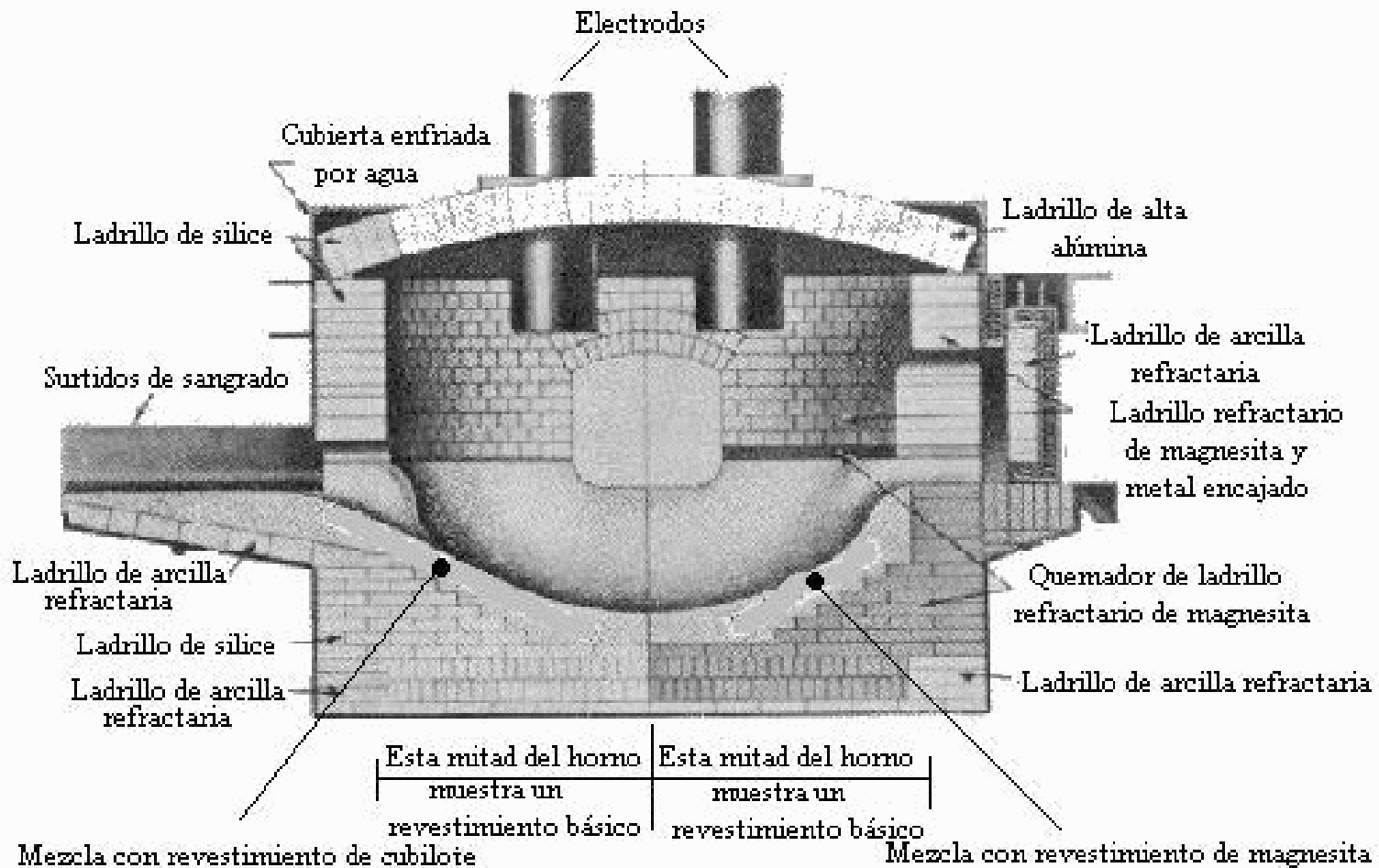
Esquema de una planta de oxígeno para producción de acero

- **Horno de hogar abierto**

- Es uno de los hornos más populares en los procesos de producción del acero. Un horno de este tipo puede contener entre 10 y 540 toneladas de metal en su interior. Tiene un fondo poco profundo y la flama da directamente sobre la carga, por lo que es considerado como un horno de reverbero. Su combustible puede ser gas, brea o petróleo, por lo regular estos hornos tienen chimeneas laterales las que además de expulsar los gases sirven para calentar al aire y al combustible, por lo que se consideran como hornos regenerativos.
- Los recubrimientos de los hornos de hogar abierto por lo regular son de línea básica sin embargo existen también los de línea ácida ((ladrillos con sílice y paredes de arcilla). Las ventajas de una línea básica de refractario, sobre una ácida son que con la primera se pueden controlar o eliminar el fósforo, el azufre, el silicio, el magnesio y el carbono y con la línea ácida sólo se puede controlar al carbono. El costo de la línea básica es mayor que el de la ácida.
- Los hornos de hogar abierto son cargados con arrabio en su totalidad o con la combinación de arrabio y chatarra de acero. El arrabio puede estar fundido o en estado sólido. La primera carga del horno tarda 10 h en ser fundida y estar lista para la colada, pero si se agrega oxígeno se logra tener resultados en menos de 7 h, además de que se ahorra el 25% de combustible.

Horno de arco eléctrico

- Por lo regular son hornos que sólo se cargan con chatarra de acero de alta calidad. Son utilizados para la fusión de aceros para herramientas, de alta calidad, de resistencia a la temperatura o inoxidable.
- Existen hornos de arco eléctrico que pueden contener hasta 270 toneladas de material fundido. Para fundir 115 toneladas se requieren aproximadamente tres horas y 50,000 kwh de potencia. También en estos hornos se inyecta oxígeno puro por medio de una lanza.
- Los hornos de arco eléctrico funcionan con tres electrodos de grafito los que pueden llegar a tener 760mm de diámetro y longitud de hasta 12m. La mayoría de los hornos operan a 40v y la corriente eléctrica es de 12,000 A.
- Estos equipos tienen un crisol o cuerpo de placa de acero forrado con refractario y su bóveda es de refractario también sostenida por un cincho de acero, por lo regular enfriado con agua. Para la carga del horno los electrodos y la bóveda se mueven dejando descubierto al crisol, en el que se deposita la carga por medio de una grúa viajera.



Dibujo de corte de un horno eléctrico con revestimientos tipo ácido y básico

- **Clasificación del acero**

- Los diferentes tipos de acero se agrupan en cinco clases principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultra resistentes, aceros inoxidables y aceros de herramientas.

- **Aceros al carbono**

- Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas o pasadores para el pelo.

- **Aceros aleados**

- Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros se emplean, por ejemplo, para fabricar engranajes y ejes de motores, patines o cuchillos de corte.



- **Aceros de baja aleación ultra resistentes**

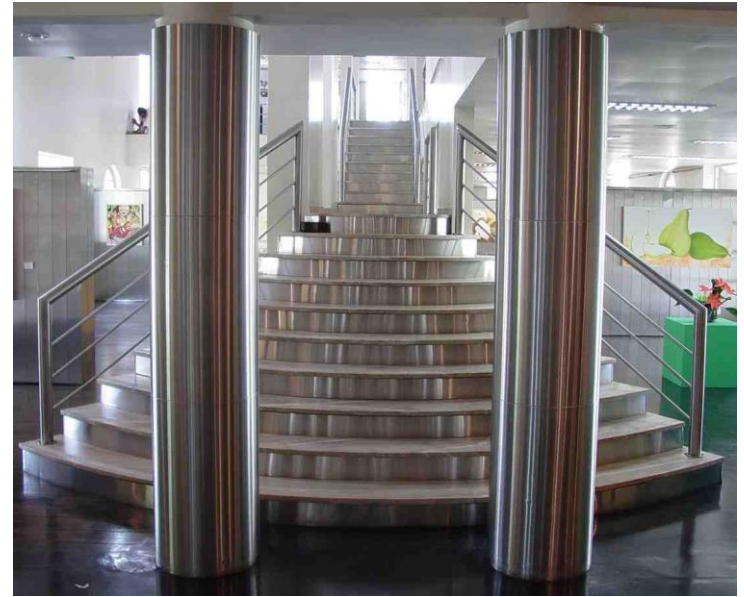
- Esta familia es la más reciente de las cinco grandes clases de acero.
- Los aceros de baja aleación son más baratos que los aceros aleados convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del acero al carbono.
- Por ejemplo, los vagones de mercancías fabricados con aceros de baja aleación pueden transportar cargas más grandes porque sus paredes son más delgadas que lo que sería necesario en caso de emplear acero al carbono. Además, como los vagones de acero de baja aleación pesan menos, las cargas pueden ser más pesadas.
- En la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de aceros de baja aleación. Las vigas pueden ser más delgadas sin disminuir su resistencia, logrando un mayor espacio interior en los edificios.



- **Aceros inoxidables**

- Los aceros inoxidables contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidables son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas. Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura se emplean muchas veces con fines decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías y tanques de refinerías de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones o para cápsulas espaciales. También se usa para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad.

-



- **Aceros de herramientas**

- Estos aceros se utilizan para fabricar muchos tipos de herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas empleadas en diversas operaciones de fabricación. Contienen wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación, que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad.

