

PROCESOS DE TOSTACIÓN DE SULFUROS METÁLICOS

1. Concepto general

El proceso de tostación comprende el calentamiento de los sulfuros metálicos en una atmósfera oxidante (es decir en presencia del oxígeno del aire), con el objeto de convertirlos en óxidos metálicos. La tostación tiene lugar a temperaturas por debajo de los puntos de fusión de los sulfuros y óxidos, por lo general entre 500°C y 1000 °C.

La tostación produce además transformaciones químicas en los componentes de la alimentación que los hacen más susceptibles a los tratamientos posteriores y eficiente recuperación del metal a extraer. La tostación tiene importancia para la preparación de la carga para una adecuada y eficiente extracción del metal. Generalmente se usa para la eliminación del azufre de los sulfuros, como dióxido de azufre en estado gaseoso. Por ejemplo:



Dicho gas puede ser usado con posterioridad para la fabricación del ácido sulfúrico, evitando así la contaminación del medio ambiente, ya que es uno de los gases causantes de la lluvia ácida.

Durante este proceso, ocurren también fenómenos de secado (eliminación de agua por evaporación en las primeras etapas) y descomposiciones térmicas (transformaciones de FeS₂ a FeS y CuS a Cu₂S con eliminación de azufre, en las últimas etapas).

Las menas más comunes sometidas a tostación son las de sulfuros de cobre; plomo, cinc y níquel.

2. Tipos de Tostación y Objetivos Finales

Según las condiciones del proceso la tostación puede ser: *total*, *parcial* y *clorurante*.

Tostación total

La tostación será *total* cuando los sulfuros metálicos se transformen en *óxidos*. Para el caso de concentrados de menas de cinc (Zn) y de plomo (Pb), que han de ser reducidas con CO (monóxido de carbono)

Tostación parcial

La tostación será *parcial* cuando los sulfuros metálicos se transformen en *sulfatos*. Se pueden presentar en los siguientes casos:

- a) En el caso de menas de cobre (Cu), cinc (Zn) o Cobalto (Co), que han de ser lixiviadas, para lo cual es necesaria la formación de la mayor cantidad posible de sulfatos solubles en agua.
- b) En el caso de menas de cobre (Cu) y Cobalto (Co), que han de ser lixiviadas, para separar el cobre del Cobalto.

Tostación Clorurante

La tostación *clorurante* es usada para convertir algunos metales a sus cloruros solubles en agua o ácidos (volátiles), tanto bajo condiciones reductoras como oxidantes.

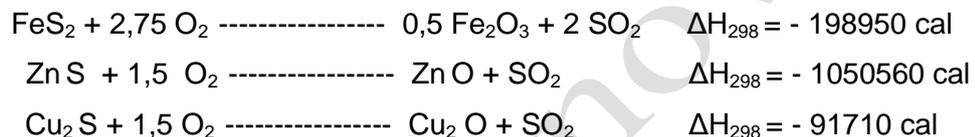
Los metales (Me) que se desean separar pasan a formar cloruros fácilmente solubles en agua o en un ácido, como se observa en la siguiente reacción genérica:



Es decir consiste en la tostación de una mena sulfurosa, la cual se ha mezclado previamente con aproximadamente 10% de Na Cl.

La tostación *clorurante* es muy utilizada en el tratamiento de las sales de telurio para extraer el oro. También ha sido ampliamente utilizada en el tratamiento de los minerales del uranio y del vanadio.

En todos los casos, el proceso de tostación es altamente exotérmico, por ejemplo:



3. Procesos y Reactores Industriales de Tostación

La elección del proceso de tostación depende de la clase de proceso de fusión al que han de someterse los calcinados después de la tostación.

La tostación que se hace en hornos de hogar múltiple y de lecho fluido requiere de material de alimentación fino y proporciona calcinados finos que se tratan posteriormente en hornos de reverbero, en hornos de cuba o en hornos eléctricos.

Los reactores y equipos más importantes para la tostación de menas sulfurosas son:

- a) Horno de hogar múltiple o de solera múltiple
- b) Reactor tipo centellante o flash
- c) Reactor de lecho fluidizado
- d) Máquina de sinterizado

a) Tostación en Horno de Hogar Múltiple

La mejor aplicación de un horno de hogar múltiple es para los minerales que requieren un amplio tiempo de tostación y se pueden procesar en un solo tostador de hogar múltiple (*Fig. N°1*).

Esta unidad consta de un cierto número de hogares refractarios horizontales y circulares, que van sobrepuestos y alojados en un casco de acero; el material de alimentación se descarga sobre el hogar superior y va descendiendo para ser descargado en forma de calcinados tostados por el hogar inferior. Una flecha central de rotación lenta hace girar brazos de arrastres enfriados por el aire o por agua sobre cada hogar. Las aspas giratorias de arrastre pasan en su rotación sobre la carga del tostador

para hacer que el material fresco salga a la superficie para que tenga lugar la tostación, o sea la reacción de oxidación gas-sólido, y también empujan la carga transversalmente al hogar hacia agujeros de caída para que vayan pasando hacia abajo al siguiente hogar (*Fig. N°2*).

Los agujeros de caída o de descarga están situados en tal forma que no quedan uno debajo de otro, sino en la periferia exterior de un hogar y en el centro del hogar que se encuentra abajo. Como consecuencia de esto la carga sigue una trayectoria prolongada en zigzag hacia abajo, a través del tostador, con lo cual se logra el tiempo necesario para que tengan lugar las reacciones de oxidación. Al ir avanzando el material de alimentación hacia abajo en el tostador, lo van calentando los gases calientes que proceden de la reacción exotérmica de tostación que tiene lugar en los hogares inferiores, hasta que finalmente este material de alimentación llega alcanzar la temperatura de reacción, comienza a arder y se oxida con gran rapidez. Esta reacción continuará hasta que los calcinados tostados sean descargados del hogar inferior del tostador y enfriados al aire a una temperatura inferior a la de reacción de tostación.

Normalmente no es necesario el suministro de calor, ya que la oxidación de la mena es suficiente para proveer de energía térmica al sistema. Aunque a veces en los hogares inferiores hay instalados quemadores de gas para asegurarse de que se alcanza la temperatura de reacción si la tostación no es autógena. La corriente de aire que se alimenta al tostador se regula abriendo puertas en los hogares inferiores, y el tiro natural que tiene la instalación succiona aire hacia el interior para aportar el oxígeno necesario para la oxidación.

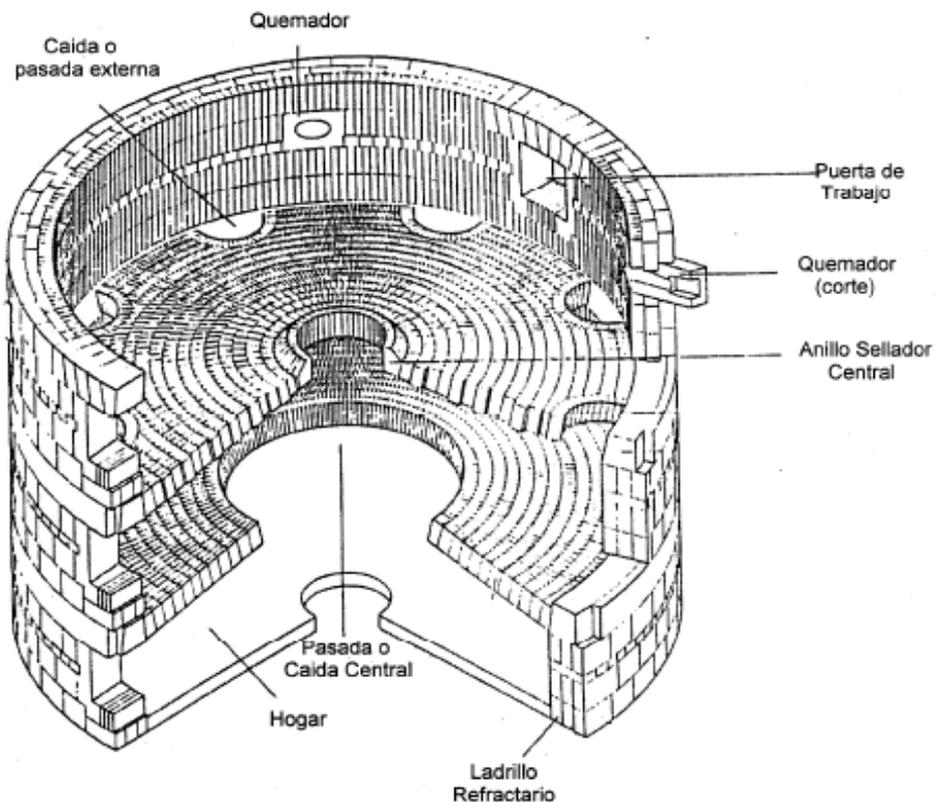


Fig. N°1.- Vista Superior del Horno de Hogares Múltiples

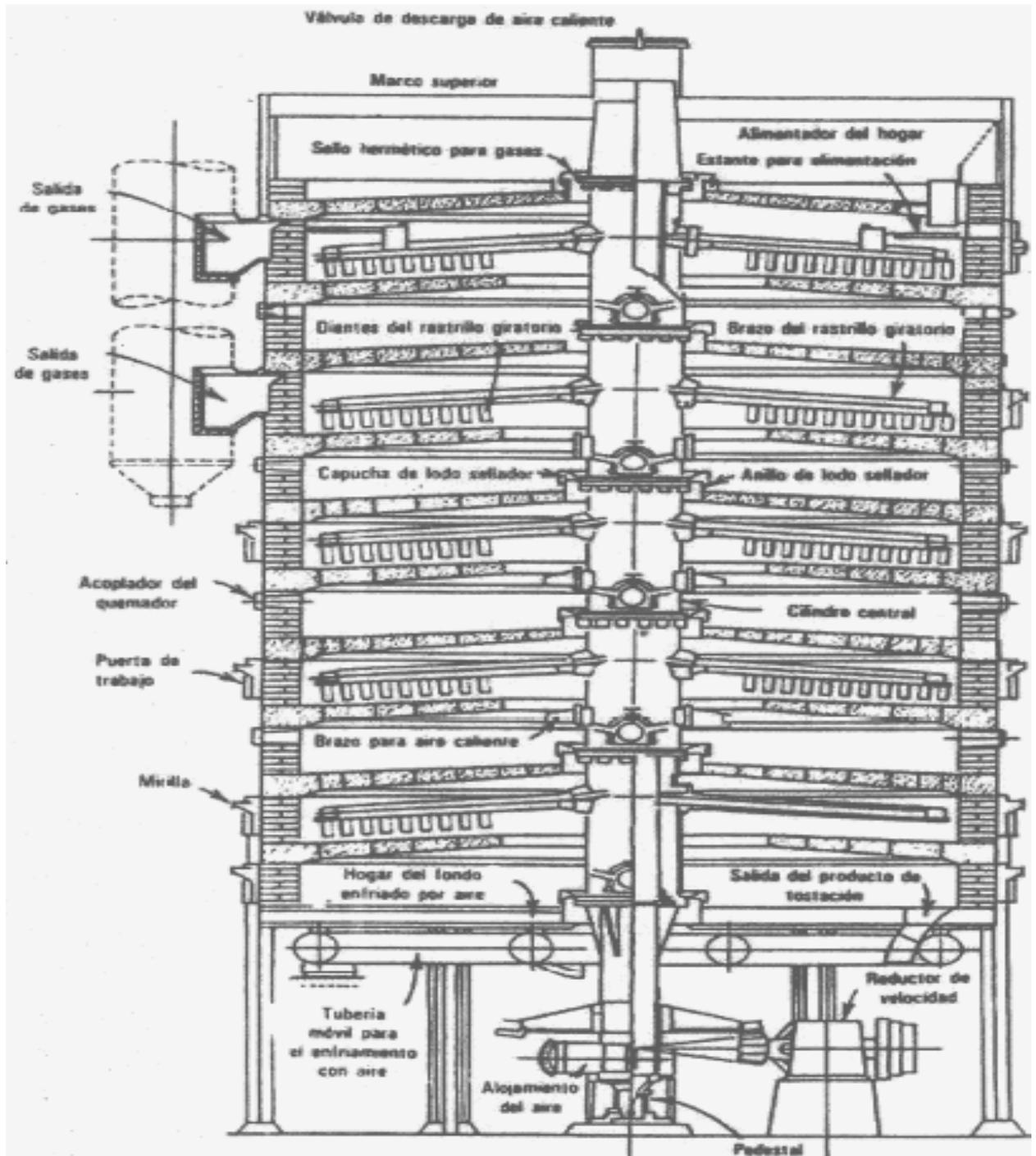


Fig. N°2.- Vista lateral del H. de Hogares Múltiples

b) Tostación en Reactor Tipo Centelleante o Flash

Es una modificación del proceso de tostación en horno de hogar múltiple. La tostación se realiza en un horno similar al de hogar múltiple, al que se le han retirado varios hogares intermedios.

El concentrado es secado en el primer y segundo hogar superior, descargado del horno y luego, a través de un quemador es soplado horizontalmente junto con el aire de combustión al interior de la cámara de combustión.

A la salida del quemador tiene lugar el encendido espontaneo de las partículas, las que continúan oxidándose durante su caída a través de la cámara de combustión. En caso necesario se recurre a un combustible auxiliar para mantener la temperatura del proceso.

El concentrado se deposita sobre los hogares inferiores, en los cuales se produce la tostación final (Fig. N° 3). La concentración de azufre del concentrado después del descargado, está por debajo del 1%.

En el caso de tostación de menas de cinc o sulfatos se agregan frecuentemente cantidades adicionales de SO_2 (mediante la recirculación de gases de salida del proceso) para el control de la atmosfera en los hogares inferiores.

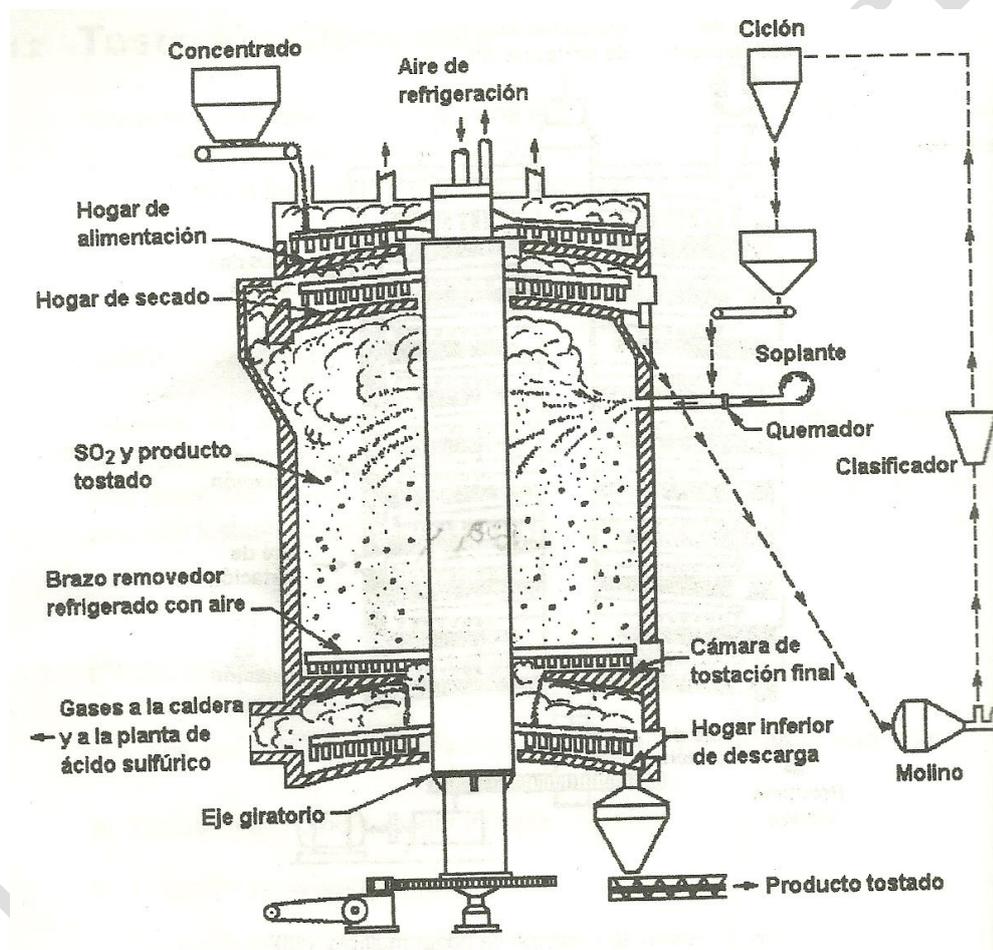


Fig. N° 3.- Vista lateral del Reactor Centellante o flash

c) Tostación en Reactor de Lecho fluidizado

El tostador de lecho fluido se caracteriza por su capacidad excepcionalmente alta; equivalente a ocho veces la de un tostador de hogar múltiple de la misma área de hogar (Fig. N° 4).

Puede aplicarse a minerales o concentrados, el rango de tamaño de alimentación es generalmente de 1 a 3 mm para el mineral para los concentrados de flotación. Minerales más gruesos pueden ser procesados pero se requiere más área de espacio. Otra variable importante del proceso es la velocidad del gas.

Este método es muy utilizado para tostar concentrados de sulfuro de hierro, cobre, cobalto y níquel. En un lecho fluidizado convencional, los tiempos de tostación pueden extenderse a partir de varios segundos para los concentrados de la flotación hasta 1 ½ hora para una alimentación más gruesa de mineral. Si un mineral requiere tiempos relativamente largos de tostación (2 a 3 hs.), este horno puede no ser el más adecuado.

El horno está formado por un casco de acero cilíndrico recubierto de ladrillo y cerrado en el fondo por una rejilla. Desde una caja de viento situada abajo de la rejilla se inyecta aire en volumen suficiente y se distribuye uniformemente por la rejilla para mantener en suspensión las partículas sólidas de la alimentación y dar un excelente contacto entre gas y sólido en todas las superficies.

En forma continua se alimenta una pulpa, una suspensión de sólidos en agua, del material que habrá de tostarse, la cual pasa a través de un tubo descendente hasta la capa turbulenta del tostador. Dicha capa turbulenta con sus partículas sólidas en suspensión tiene las características de un fluido. Si el material de alimentación tiene tamaños y densidades mezclados, las partículas más pequeñas y más ligeras ascienden a la parte superior de la capa turbulenta, mientras que las más grandes y pesadas se juntan en la parte inferior.

Parte de los calcinados tostados salen por un tubo de derrame para descarga lateral, y por otra parte es arrastrada por los gases de escape, de los cuales se recupera como polvo de chimenea en un sistema de depuración de gases.

Mediante serpentines de enfriamiento se remueve el exceso de calor de reacción de la capa turbulenta, y en casi todos los casos se aprovecha este calor para la producción de vapor de agua, estando conectado el sistema de enfriamiento del tostador a una caldera de recuperación.

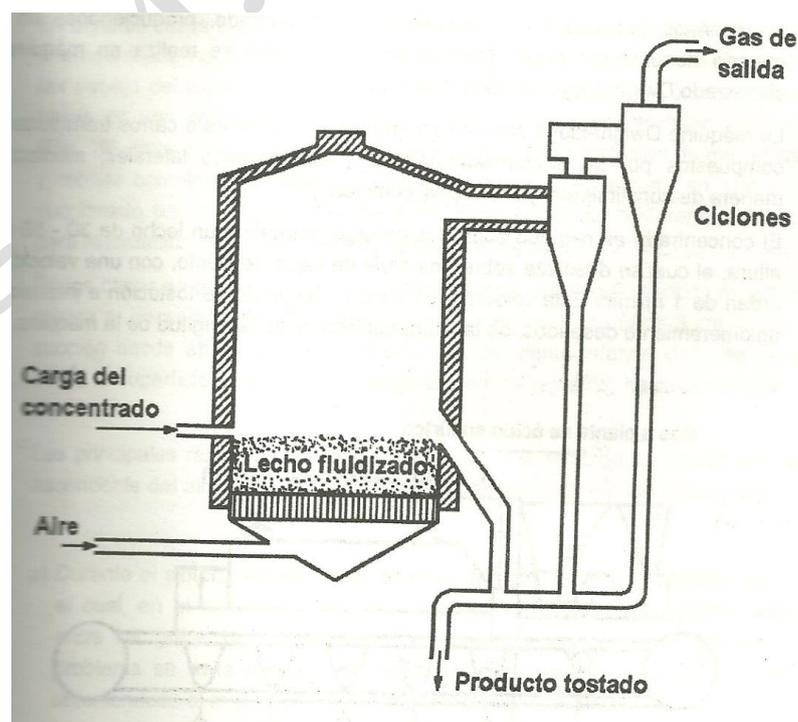


Fig. N°4.- Vista lateral del Reactor de Lecho Fluidizado

d) *Tostación en Máquina de Sinterizado*

El *sinterizado* es el proceso de aglomeración más difundido en la actualidad, constituyendo aproximadamente el 70% de la carga metálica del alto horno. Basado en una mezcla sometida a un proceso térmico, por el cual las partículas quedan adheridas formando un aglomerado esponjoso denominado *sínter*.

Este proceso es principalmente utilizado para la tostación de menas sulfurosas de plomo, de cinc y de óxidos de hierro conteniendo pirita o pirrotina, como así también en algunos casos, de menas sulfurosas de cobre.

Los concentrados de sulfuro que tienen que desulfurarse y aglomerarse se tuestan generalmente en tostadores de soplo o máquinas de sinterización, más que en tostadores de hogar múltiple o de lecho fluido. Normalmente el proceso se realiza en máquinas de sinterizado Dwight-Lloyd, de trabajo continuo.

La sinterización del aglomerado se realiza en instalaciones de cinta (Fig. N° 5). La parte principal de la instalación es la cinta sin fin compuesta de carros (bandejas). La bandeja es una caja sobre rodillos con dos bordes por los costados y el fondo en forma de emparrillado. Las bandejas avanzan por carriles.

El desplazamiento se logra mediante un par de ruedas dentadas conductoras, las cuales enganchan con los dientes la bandeja por abajo, la empujan hacia arriba y la siguen empujando hasta que los dientes de las ruedas quedan engranados con los rodillos de la bandeja. Cada bandeja precedente arrastra la posterior. La velocidad de arrastre es del orden del 3,2 a 8 m/min.

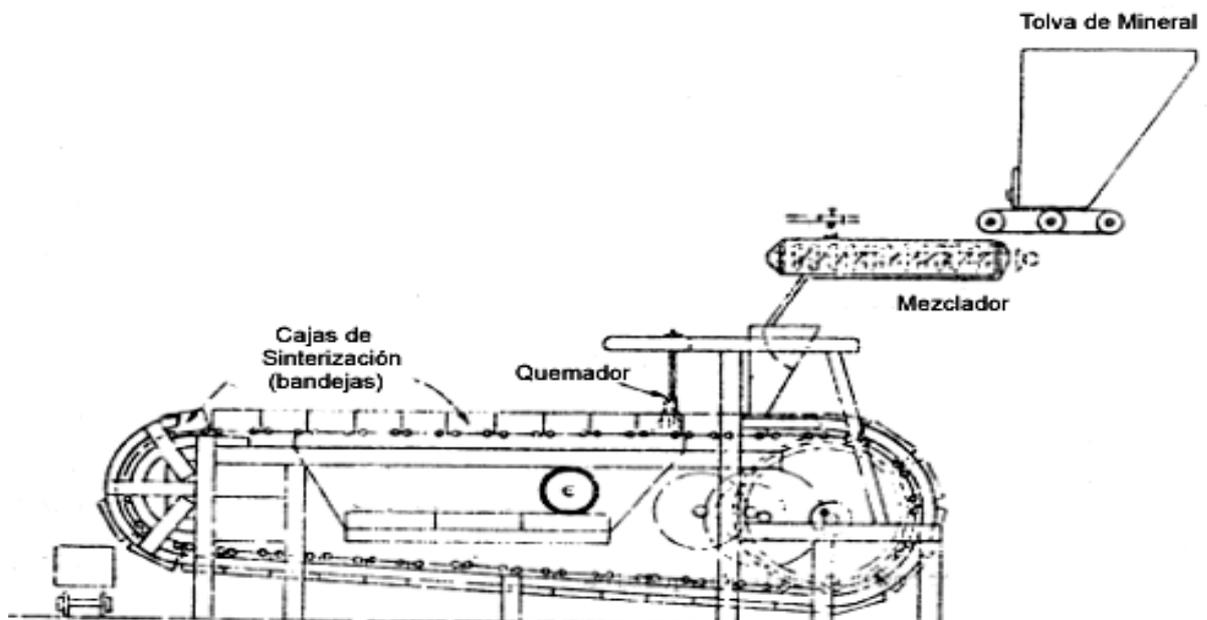


Fig. N°5.- Máquinas de sinterizado Dwight-Lloyd

El movimiento de las ruedas dentadas crea cierta presión de una bandeja sobre la otra, lo que impide la formación de holgueras entre las bandejas. En la parte de descarga de la instalación los rodillos de

la bandeja pasan al carril inferior y el carro rueda hacia las ruedas dentadas bajo la acción de su propio peso.

Bajo el carril superior de la instalación están dispuestas las cajas de la tubería de aire comunicadas con el ventilador. En la instalación hay varias tolvas donde se cargan minerales de diversas calidades el combustible y la caliza. Todas esas materias, si es necesario, se trituran y se criban para conseguir los tamaños adecuados. Luego se mezclan controlando que queden en las proporciones adecuadas y la conveniente humedad.

La alta temperatura de tostación calienta los componentes de la carga a suficiente temperatura (900 a 1200 °C)

Esta variante es preferentemente utilizada para la tostación de menas de cinc de cobre y de hierro.

Ing. M. Ivanovich