

10. SISTEMA PRECALENTADOR - HORNO - ENFRIADOR

A continuación se muestra un diagrama de un sistema precalentador – horno – enfriador (ver figura 23).

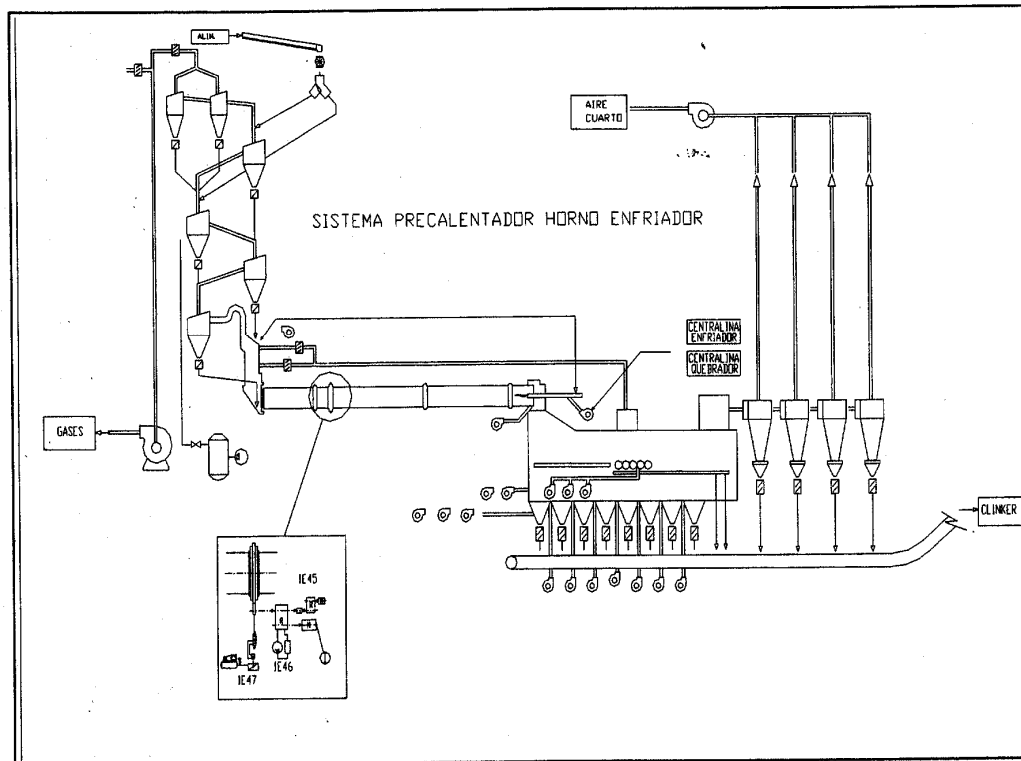


Figura 23. Sistema precalentador – horno – enfriador.

10.1 Precalentador de ciclones.

El intercambio de calor se consigue mediante cuatro procesos sucesivos de corrientes paralelas que en conjunto, constituyen un proceso de contra-corriente en el que se seca la harina cruda y se calienta hasta una temperatura de 820°C calcinándose parcialmente, mientras que los gases calientes en ascenso se enfrían desde una temperatura de 1000°C hasta alrededor de 340°C.

El mantener un perfil de temperaturas constantes nos dará por resultado:

- Una correcta decarbonatación.
- La factibilidad de obtener mayor producción.
- Mejor balance en el sistema.

A continuación se describe un precalentador que cuenta con cinco etapas de ciclones (ver figura 24), los cuales cumplen fundamentalmente dos funciones que son:

1. Calentamiento de la harina cruda en corriente del gas, formándose dos efectos de suma importancia dentro del mismo:
 - a) Intercambio de calor en flujo paralelo
 - b) Intercambio de calor en flujo contra corriente.
2. Separación de la harina cruda y gas caliente en los ciclones y descarga hacia las diferentes etapas. La harina cruda se transporta entre los ciclones por gravedad pasando el material descargado a unas compuertas pendulares que tienen la función de extraer el material de una corriente estando cerrada a la vez contra la entrada de gases calientes que vienen en sentido contrario. El brazo de la compuerta se abre cuando el peso del material acumulado sobre esta es mayor que el de los contrapesos, estos deben estar ajustados de tal forma que permitan una corriente de material continua.

10.2 El horno rotatorio.

El Horno consiste en un tubo cilíndrico de hasta 1 pulgada de espesor, revestido de ladrillo refractario de diferentes composiciones para soportar las altas temperaturas y el ataque químico.

Hay tres zonas importantes a considerar en el interior del horno:

- a) Zona de transición. La temperatura promedio es de 1200°C ., en esta zona comienza a producirse la fase líquida, con presencia de $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$ y $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$, como medios para que la cal que esta en exceso reaccione a los 1350°C con el $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$ hasta alcanzar formaciones de cristales de $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$ a su máximo nivel de temperatura de $1450\text{-}1500^{\circ}\text{C}$.
- b) Zona de clínquerización. Su temperatura promedio es 1500°C . en esta fase, se logró alcanzar la máxima combinabilidad entre la cal libre o en exceso con el $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$ para lograr la mayor cantidad de cristales de $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$.
- c) Zona de enfriamiento. Con una temperatura promedio de 1200°C , el clínquer que se ha formado tiene un proceso de enfriamiento conforme avanza hacia la descarga del horno, aunque todavía se encuentra bajo la radiación de la flama y bajo la acción de la turbulencia que origina la entrada de aire secundario, esto también facilita la formación de grandes cristales o nódulos de clínquer.

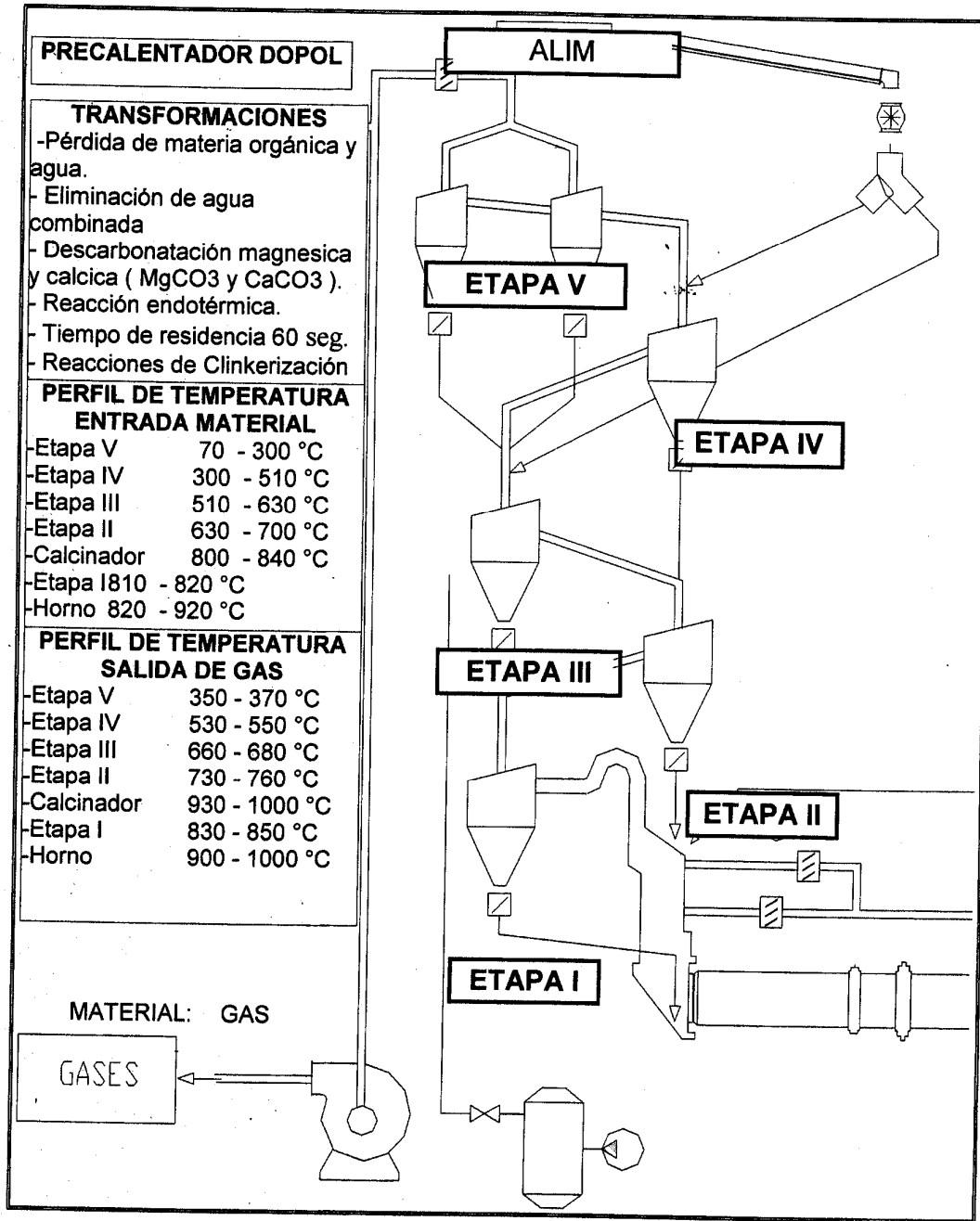


Figura 24. Diagrama de un precalentador de ciclones DOPOL.

Aquí en el horno se produce la completa reacción química de los materiales alimentados, preparados y dosificados en las etapas anteriormente descritas, se debe tener especial cuidado para mantener un control en el sistema que asegure la obtención de un producto de buena calidad. Hay parámetros en la operación del horno que son básicos para lograr una correcta estabilidad:

- ❖ Alimentación constante.
- ❖ Perfil temperatura.
- ❖ Velocidad del Horno.
- ❖ Flujo de combustible constante.

Tipos de horno rotatorio.-

Hay los siguientes tipos principales de cilindros para horno rotatorio:

- a) Horno rotatorio con diámetro unitario.
- b) Horno rotario de sinterización ensanchada.
- c) Horno rotatorio con zona de calcinación ensanchada.
- d) Horno rotatorio con zonas de sinterización y calcinación ensanchadas.
- e) Horno rotatorio con zonas de desecación, calcinación y sinterización ensanchadas (vía húmeda).
- f) Horno rotatorio con zona de desecación o precalentamiento ensanchadas (horno largo vía seca o vía húmeda).

La ampliación de las zonas tiene por objeto prolongar el tiempo de permanencia, con el correspondiente descenso de velocidad de los gases y así mejorar la transmisión del calor al material. Sin embargo, por esas zonas se producen diferentes tiempos de paso del material a lo largo del horno, que generan desplazamientos irregulares de aquel que influyen desfavorablemente en la explotación del horno. En la transición de las secciones ampliadas a las que no lo han sido se producen retenciones de material, que ocasionan rozamientos y producen polvo. La realización de las piezas de transición es más cara que la de las virolas cilíndricas. El vestido de material refractario de las zonas de transición es complicado, costoso en trabajo humano y exige configuraciones especiales para los ladrillos. Una forma especialmente desfavorable y usual, es un estrechamiento de la zona de salida del horno. Tal solución únicamente conduce a un enfriamiento parcial del clínquer en el horno y a la rápida inutilización del revestimiento refractario en esa sección.

Tanto la experiencia práctica como las consideraciones teóricas han llevado a la conclusión de que la forma más favorable para el horno es aquella en que se han suprimido las ampliaciones o los estrechamientos de la sección. Los hornos rotatorios dotados con intercambiadores de calor muestran ya, en todas partes, sección unitaria.

Grado de llenado del horno.-

El material ocupa un segmento de la sección del horno rotatorio. A la relación del área de este segmento a la de la sección total del horno, expresada en porcentaje, se le llama grado de llenado del horno (Ver figura 25).

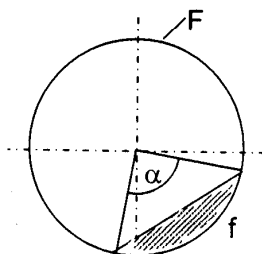


Figura 25. Representación esquemática del grado de llenado del horno.

Los grados de llenado fluctúan entre los límites del 5-17 %. Independientemente del diámetro del horno el grado de llenado, expresado en función del ángulo central, α , del segmento ocupado por el material se indica a continuación.

Angulo Central	Llenado del horno en %
110°	15.65
105°	13.75
100°	12.10
95°	10.70
90°	9.09
85°	7.75
80°	6.52
75°	5.40
70°	4.50

Pendiente del horno.-

No hay ninguna regla válida para determinar la pendiente de los hornos rotatorios. Su valor oscila entre 2 - 6%. La mayoría de los hornos están instalados con pendientes entre el 2 - 4% con relación a la horizontal. Inicialmente, los hornos presentaban elevadas pendientes y reducida velocidad angular de unas 0.5 - 0.75 vueltas/min. Las pendientes pequeñas requieren velocidades más altas. Esto ofrece la ventaja de favorecer la mezcla del material y origina un intercambio de calor mas intenso. También si la inclinación es pequeña se alcanza un grado de llenado más alto. Como fruto de la experiencia de explotación de hornos rotatorios se ha obtenido que las pendientes de los hornos que se indican a continuación

Pendiente del horno y grado de llenado.	
Pendiente del horno %	Grado de llenado correspondiente %.
4.5%	9%
4.0%	10%
3.5%	11%
3.0%	12%
2.5%	13%

Además, se sabe que el grado de llenado depende de la relación de la longitud (L) al diámetro (D). Hornos, vía húmeda, con relación de L/D de 40 y aún por encima muestran grados de llenado del 17 %. En todo caso, la inclinación del horno determina de modo principal el grado de llenado, el cual aumenta además con la creciente relación L/D.

En la explotación práctica del horno, el grado de llenado no debe de pasar del 13%, pues valores superiores empeoran la transmisión del calor.

Se han postulado como correctas las siguientes pendientes de hornos:

- ❖ 5 % de pendiente para hornos de hasta 2.8 m de diámetro;
- ❖ 4 % de pendiente para hornos de hasta 3-3.4 m de diámetro;
- ❖ 3 % de pendiente para hornos de más de 3.4 m de diámetro.

Esta recomendación se confirma actualmente, puesto que la mayoría de los hornos con diámetro superior a 3.4 m muestran pendientes del 3-3.5 %.

Descripción del accionamiento del Horno.-

El movimiento del horno lo proporciona la transmisión principal (Motor - reductor) en acoplamiento directo con el piñón, el cual esta engranado con la corona, fija al casco del horno por medio de silletas soldadas. El movimiento producido por la corona se transmite a los anillos de rodadura los cuales giran a la misma velocidad.

Conducción Hidráulica longitudinal del Horno.-

La conducción longitudinal del horno mueve el horno hacia arriba y hacia abajo, el movimiento depende del recorrido y es dirigido por sensores de proximidad. Mediante el movimiento se impide que los aros se introduzcan en los rodillos y la corona dentada en el piñón. (Ver figura 26).

Para el correcto funcionamiento de la conducción Hidráulica longitudinal es importante que todos los rodillos de rodadura estén ajustados paralelamente al eje del horno rotativo.

Candelerero CC : Carrera Corta

Candelerero CL : Carrera Larga

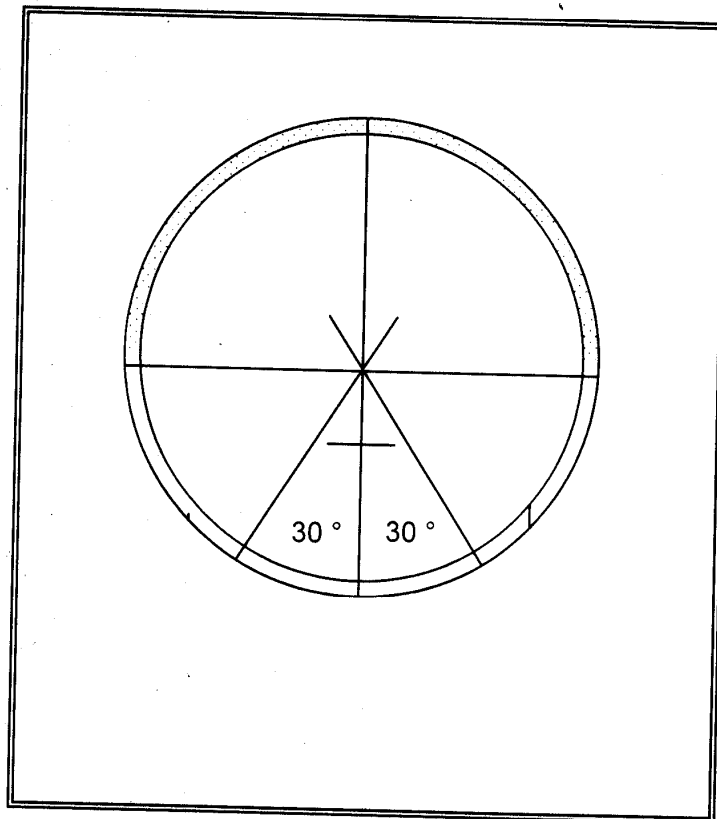


Figura 26. Horno rotatorio y sus apoyos

Los aros de rodadura (llantas) junto con las fijaciones móviles (rodillos) tienen por un lado la función de sostener la camisa del horno rotativo y por otro lado conducir las cargas que se presentan a las estaciones de los rodillos de rodadura o sea a las bases.

10.2.1. Proceso de preparación del material que se ha de cocer en el horno rotatorio.

Se distinguen dos métodos fundamentalmente de preparación del material que se ha de cocer en el horno:

- a) El proceso por vía húmeda, en el que se prepara una pasta de materias primas con contenidos de 18-45% de agua por sedimentación o por molienda, en presencia de agua o por combinación de ambos procesos.

Se adopta la preparación por vía húmeda cuando lo exigen las propiedades físicas de las materias primas (arcilla plástica, cretas con elevada humedad, etc., que no permiten la preparación por vía seca).

- b) La vía seca, en la cual se tratan los componentes del crudo por molienda en seco.

Según las modalidades de preparación a) y b) se diferencian los procesos en el horno que se describe a continuación:

Vía húmeda.-

1. El horno largo, para vía húmeda, el cual cuenta con dispositivos internos para intercambio térmico tales como cadenas, celdas y elevadores del material.
2. El horno corto, para vía húmeda, sin dispositivos internos, pero con pasta intercambiadores de calor externos al horno para secar parcialmente el lodo o pasta de crudo. A estos intercambiadores se les conoce con las denominaciones de "secador de pasta", "concentrador" y "calcinador".
3. El horno, para vía húmeda, de longitud media, dotado de secado parcial, de tipo mecánico, como filtros de aspiración y filtros prensa. Para el desmenuzamiento y secado del resto de humedad de las tortas de crudo con 15-20 % de humedad suministradas por el filtro, el horno dispone de cadenas en un tramo de corta longitud.
4. El horno corto, para vía húmeda, sin dispositivos internos, pero con deshidratadores mecánicos. En este caso las tortas procedentes de los dispositivos de deshidratación preliminar se elaboran para estructurarlas en formas, que pasan a un precalentador de cuba vertical o a un precalentador de parrilla.

Vía seca.-

1. El horno rotatorio largo, para vía seca, sin dispositivos internos.
2. Los hornos largos, para vía seca, con dispositivos internos para el intercambio térmico, tales como cadenas, puentes de cerámica, etc.
3. El horno corto, para vía seca, precedido de intercambiadores de calor, tales como los de suspensión de crudo en los gases o la parrilla Lepol.

4. El horno rotatorio, para vía seca, con calderas de vapor sostenidas en actividad por el calor residual del horno.

10.2.2 Comparación entre los procesos por vía seca y húmeda.

La ventaja básica del proceso por vía seca frente al de vía húmeda, es su reducido consumo específico de calor para la cocción del clínquer.

Si en un proyecto para nueva factoría hay que elegir entre uno u otro, se ha de tener en cuenta que no hay reglas generales válidas y ciertamente no se dispone de un método único para la evaluación comparativa de los métodos de producción. No es posible, por tanto, demostrar inequívocadamente la supremacía de uno sobre el otro.

Para tal fin, los técnicos de la Unión Soviética han desarrollado una fórmula que sirve para predecir los casos en que es más económico el empleo de la vía húmeda o la seca. Sin embargo, los factores utilizados en esa fórmula se basan en cálculos de precios del plan económico socialista y por tanto no son aplicables a la esfera de las economías de libre competencia.

Antes se sostenía el punto de vista de que el clínquer del horno, por vía húmeda, debido a una mejor homogeneización de las materias primas componentes del crudo en forma de pastas, era más regular y poseía mejor calidad. Sin embargo, los métodos y dispositivos actuales, desarrollados para satisfacer las más altas exigencias, hacen posible la fabricación de crudos, por vía seca, con el mismo grado de uniformidad que las pastas elaboradas por vía húmeda. En la calidad de clínquer no existe diferencia.

Sin embargo, los expertos de la URSS afirman que, en la zona de secado de los hornos por vía seca no sólo se evapora el agua, sino que también se produce un debilitamiento de los enlaces en la red cristalina de las materias primas. Esto lleva a que, en el proceso de cocción subsiguiente, se acelere la formación de clínquer. De confirmarse esta opinión podría considerarse como un argumento para afirmar que la calidad del cemento obtenido por vía húmeda supera al fabricado por vía seca.

La dosificación de los componentes del crudo seco es significativamente más fácil que la de los componentes húmedos o plásticos. También se ha comprobado que la molienda por vía húmeda es más barata que por vía seca. Si se muelen las mismas materias primas, a la misma finura, por vía seca, el costo de la energía consumida es, aproximadamente, un 30 % superior a la exigida por vía húmeda. Esta ventaja queda anulada por la circunstancia de que por vía seca el desgaste en cuerpos moledores y en blindajes sólo representa el 30-40% de los correspondientes a la vía húmeda. De ese modo tiende a igualarse el mayor coste por desgaste de la vía húmeda con su menor requerimiento de energía eléctrica para la molienda.

10.3 Enfriador.

El enfriador tradicional consiste en una carcasa fija revestida en sus paredes de ladrillo refractario puede estar constituida por una o dos mesas de parrillas de movimiento recíproco las cuales tiene varias hileras de placas de orificio, unas movibles y otras fijas que descargan el clínquer en compartimientos dispuestos a lo largo del enfriador. Cuenta comúnmente en la descarga con un quebrador de martillos para fragmentar piedras de gran tamaño, el enfriador dispone de varios ventiladores conectados a cada compartimiento para el enfriamiento de las placas y del clínquer.

10.3.1 El enfriador de parrillas de vaivén REPOL.

Se basa en el concepto de escalonamiento, con un cama de clínquer cuyo espesor aumenta en sentido de la dirección del transporte, esta equipado con placas tipo Jet-ring para su distribución en la parrilla. La principal característica de las placas Jet-ring son dos canales anulares de aire, desde los cuales se aporta el aire frío a la cama de clínquer. (Ver figura 27).

La eficiencia esperada del enfriador por sus características de diseño son :

- ❖ Producir una buena calidad de clínquer mediante un rápido enfriamiento inicial.
- ❖ Recuperar en este proceso la mayor cantidad posible de calor.
- ❖ Enfriar el clínquer a una temperatura final adecuada.

El enfriador se divide en tres zonas perfectamente adaptadas cada una de ellas a los diferentes cambios de temperatura y de trabajo.

- a) *Zona de carga del enfriador.* Aquí se trata de uniformizar rápidamente el clínquer procedente del horno y airearlo de forma intensiva, esto se consigue por el comportamiento de transporte de las filas de parrillas que tiene una pendiente de cuatro grados y por las placas Jet-ring ejecutadas con canto grueso de empuje.
- b) *Zona de recuperación.* La finalidad es recuperar el calor para devolverlo al horno como aire secundario. La superficie horizontal de enfriamiento en esta zona de carga esta equipada con placas Jet-ring con cantos finos de empuje.
- c) *Zona de enfriamiento posterior.* El material es enfriado a la temperatura final deseada, determinada por el tiempo de permanencia del clínquer y el caudal total del aire.

Ventajas del enfriador REPOL:

- ❖ Debido a la forma constructiva de la primer parrilla la cama del clínquer aumenta en espesor en la dirección del transporte, esto garantiza un reparto transversal y un enfriamiento inicial rápido del clínquer.
- ❖ La mayor altura del lecho del clínquer mejora la recuperación del calor y hace posible reducir el caudal de aire frío.
- ❖ El caudal de aire de escape sensiblemente inferior al de enfriadores convencionales, reduce los costos de inversión para aportar y depurar el aire.
- ❖ La aireación directa continua y la instalación de una trituradora de rodillos al final de la primer parrilla, contribuye al óptimo enfriamiento posterior y con ello a una menor longitud del enfriador.
- ❖ La seguridad funcional de la mecánica del enfriador precisa de menos mantenimiento.

La trituradora de rodillo ubicada entre las dos parrillas del enfriador mejora el enfriamiento y se caracteriza por la larga duración de sus herramientas de trituración, esta se compone de varios rodillos accionados en forma individual por motores hidráulicas que en la zona delantera actúan como rodillos cribadores y en la posterior como rodillos de trituración que giran en sentido opuesto.

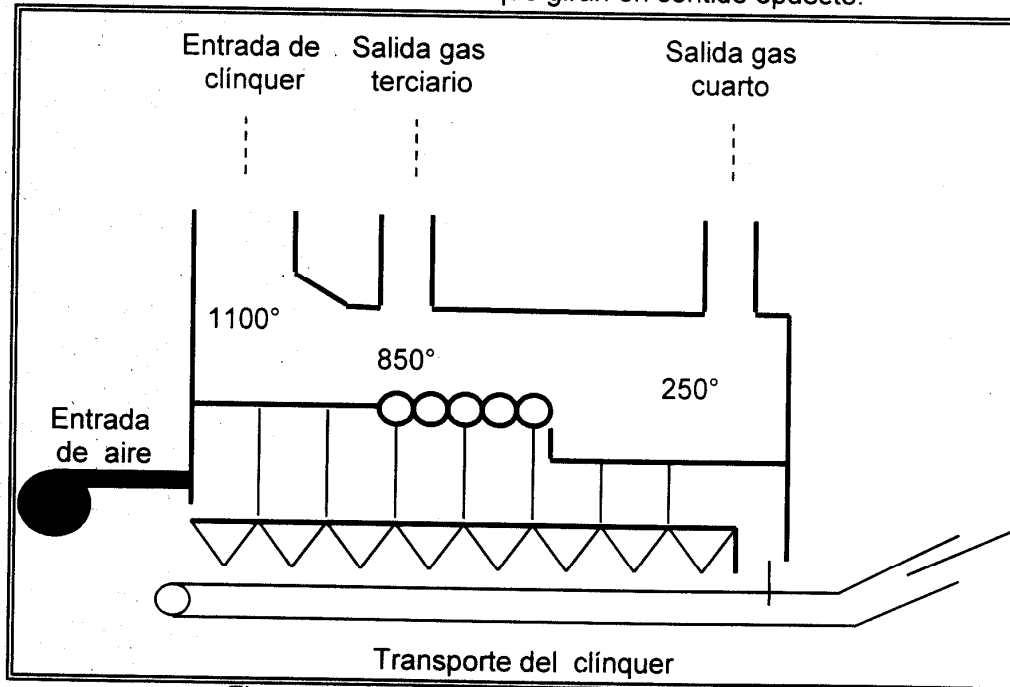


Figura 27. Enfriador de parrillas tipo REPOL.

Características del Enfriador.

- a) Consiste en dos parrillas con movimiento recíproco o de vaivén producido por unidades hidráulicas para su funcionamiento, utilizando placas ciegas tipo Jet- ring fijas y móviles.
- b) Utiliza ventiladores de alta eficiencia para el enfriamiento de las placas, de los cilindros del quebrador de rodillos y para mantener presurizados los compartimientos.
- c) Utiliza una quebradora de rodillos accionados hidráulicamente.

Funciones.

- ❖ Cristalizar el clínquer por medio de un enfriamiento rápido.
- ❖ Recuperar calor, aprovechándolo en la combustión como aire secundario.
- ❖ Recuperar calor, aprovechándolo como aire terciario en el calcinador del precalentador.
- ❖ Ventilar el aire en exceso y aprovecharlo para el secado de la puzolana en el molino de cemento.
- ❖ Reducción de piedras grandes del clínquer para aprovechar su calor latente.

10.4 Proceso posterior a la obtención del clínquer.

Ya obtenido el producto del horno, el clínquer es almacenado para ser posteriormente molido en seco con molinos de bolas u horomill junto con el yeso y puzolana variando las cantidades de estos según el tipo de cemento a producir. La clasificación del producto del molino se hace con aire; las partículas gruesas que no arrastra el aire son transportadas por bandas y elevadores de canchales para ser alimentadas nuevamente al molino.

Los finos son arrastrados por aire a un tamaño de -400 mallas y depositados en silos que alimentan los procesos de embarque y venta ya sea a granel o ensacado.