

Entender la Producción del Cemento



Módulo 3
Una Alianza Público-Privada GTZ-Holcim
gestionada por FHNW

Versión	v2.0	E-mail de contacto	theodor.lang@solnet.ch
Fecha	10.07.2009		

Introducción

El uso de materias primas y combustibles "alternativos", derivados de residuos, puede constituir un gran aporte para la conservación de los recursos en la industria y para la implementación de un sistema eficiente de gestión de residuos en una economía nacional. La industria del cemento, en particular, debido a su presencia casi global y sus ventajas inherentes al proceso, se presta de forma óptima para el co-procesamiento de tales materiales.

Por lo tanto, este módulo del kit de entrenamiento entrega una breve introducción a los aspectos básicos de la química del cemento, la tecnología de su proceso productivo, y a aquellas características especiales del proceso que le dan a la opción de los hornos cementeros un carácter casi único en esta aplicación.

Objetivos de Aprendizaje

Los grupos de interés del sector público tendrán un conocimiento básico de la producción del cemento (químico, tecnológico y aspectos ambientales).

También tendrán el conocimiento básico para entender y discutir el comportamiento ambiental de un sistema moderno de horno cementero.

Contenidos

1 El cemento se produce a partir de "materias primas"

→ lámina 4

Esta lámina introduce el término de "materias primas del cemento" en un sentido más amplio. Básicamente, las materias primas se pueden subdividir en materias primas para la producción de clinker y materias primas para la producción de cemento (desde clinker y.....). Se requieren materiales correctivos para ajustar la composición de una mezcla de materiales para los valores objetivo.



2 Ejemplos de materias primas

→ láminas 5 y 6

Para todas las “materias primas” existen opciones naturales y alternativas (derivadas de residuos). Se dan algunos ejemplos junto con las imágenes.

3 Las materias primas también incluyen naturalmente elementos menores y elementos traza

→ lámina 7

La química clásica del cemento distingue entre elementos principales, elementos menores y elementos traza que contribuyen a la composición del crudo (*raw mix*), del clinker o del cemento. Se entregan rangos de composición, particularmente también de elementos traza (o metales pesados), que demuestran que los metales pesados son una parte natural de los minerales y, de este modo, también del cemento.

4 Para convertir las materias primas en clinker, éstas necesitan pasar por varios tratamientos

→ láminas 8 y 9

Estas láminas describen los pasos de proceso necesarios para llegar a “clinker fabricado”, en particular los principales pasos del proceso que ocurren dentro del sistema de horno.

5 Fabricación de cemento hoy: el diagrama de flujo del proceso

→ lámina 10

Explica la tecnología estándar para la fabricación de cemento utilizada hoy en día, o sea, un proceso incluyendo un horno pre-calcinador y molinos de rodillo para la molienda de las materias primas y el cemento, así como la tecnología de filtrado – *principalmente por filtros de mangas* – para el polvo del proceso.

Se describen otros procesos (históricos, pero aún en uso) en los anexos.

6 Producción de clinker hoy: el diagrama de flujo del horno

→ lámina 11

Entrega una mirada más cercana al equipamiento principal de cualquier proceso de cemento, el sistema de horno, e introduce la respectiva terminología.



7 Operando un horno cementero: alimentando flujos continuos de materiales combustibles de calidad uniforme

→ lámina 12

Esta lámina explica las principales características deseables para los combustibles convencionales y alternativos, y demuestra que cada uno de los combustibles, antes del uso (co-procesamiento) tiene que pasar por un proceso de preparación (pre-procesamiento), a fin de dejarlo en condiciones óptimas para la combustión.

8 Punto de alimentación de combustible en los sistemas de hornos cementeros

→ lámina 13

Entrega los puntos de alimentación aplicables para los combustibles en un sistema de horno cementero.

9 Producción de cemento y concreto

→ lámina 14

Entrega un diagrama de bloques de la fabricación de clinker, cemento y concreto, junto con datos aproximados del flujo de materiales, a fin de entregar una impresión de aquellos flujos importantes de material asociados al cemento y al concreto.

10 N° 1: temperaturas de sistema, desde altas hasta muy altas

→ lámina 16

Muestra los perfiles de temperatura para gases y materiales en el sistema de horno. Resultan de particular importancia las temperaturas de gas en la llama principal, las cuales bordean los 2000 °C, las temperaturas en el pre-calcinador, de entre 850 y 1100 °C, las temperaturas en la salida del sistema, de alrededor de 100 °C, los respectivos tiempos de retención y la atmósfera oxidante en el sistema de horno. Las temperaturas de los materiales coinciden con las temperaturas de gas en las zonas de pre-calentador/pre-calcinador, y alcanzan los 1450 °C en la zona de sinterización del horno rotativo.

Esto debe ser tomado en relación con el hecho de que ni siquiera el compuesto orgánico más estable puede soportar temperaturas apenas superiores a los 800 °C, que la Directiva de Incineración de Residuos de la Unión Europea requiere una temperatura mínima de 850 °C para la incineración de residuos, y de 1200 °C para la incineración de residuos peligrosos.



11 N° 2: tecnología de cama fluidizada, multi-etapa, para limpieza de gas, inherente al proceso → lámina 17

Algunos elementos menores y traza se evaporan (volatilizan) en el horno caliente y viajan con los gases del horno de vuelta hasta el pre-calentador de ciclón. Allí, son recondensados (y solidificados), adheridos al crudo pulverizado y traídos de vuelta al horno rotativo. Finalmente, abandonan el horno o sistema de producción de cemento con el clinker y cemento, y no son emitidos al ambiente (con excepción de la parte correspondiente al mercurio).

12 N° 3: enorme capacidad de retención para SO₂ y Cl

→ lámina 18

Cualquier azufre, importado a la zona de alta temperatura del sistema de horno, será incorporado al producto (clinker y cemento) y no será emitido debido a la formación de yeso en la etapa de calcinación. El vapor de SO₂, emitido desde los compuestos volátiles de azufre en las materias primas, se calcina durante el pre-calentamiento.

13 N° 4: emisiones atmosféricas ampliamente causadas por la calcinación de los componentes volátiles de las materias primas

→ lámina 19

Esta lámina demuestra claramente que todas las emisiones de un sistema de horno cementero vienen de los componentes volatilizables (por calor) de las materias primas (con la excepción de los NO_x, que vienen de la combustión a alta temperatura de combustibles naturales y alternativos).

La necesidad de regular las emisiones de los hornos cementeros modernos es, por lo tanto, independiente de los tipos de combustibles utilizados.

14 N° 5: toda la alimentación de minerales convertida en producto

→ lámina 20

Todos los elementos principales, menores y traza incorporados con los materiales alternativos (ej., cenizas de carbón) se convierten en parte de las materias primas y aportan al producto final. No existe necesidad de depositar las cenizas en rellenos.

15 N° 6: todos los elementos traza (metales pesados) fusionados con seguridad en el producto final

→ láminas 21 y 22

También los metales pesados quedan fusionados con seguridad en el clinker, cemento y concreto, y no lixivian hacia fuera del concreto (o sea, no viajan de vuelta hacia el ambiente). El concreto podría, por lo tanto, ser usado (¿abusado?) como destino final



de almacenamiento de los metales pesados. Esto es perjudicial para los intereses de la industria del cemento, la cual apunta a preservar la reciclabilidad del concreto.

16 N° 7: alta eficiencia térmica del proceso

→ lámina 23

Los hornos cementeros modernos han alcanzado un alto nivel de eficiencia térmica. De este modo, también los combustibles alternativos se pueden quemar, en la mayoría de los casos, con factores de utilización térmica considerablemente más altos que en otras industrias de incineración o co-incineración.

17 N° 8: reducción de las emisiones de CO₂ del país a través de la utilización de combustibles alternativos (*Alternative Fuels / AF*)

→ lámina 24

Los combustibles alternativos / derivados de residuos son combustibles de biomasa o incluyen componentes de biomasa, contribuyendo de este modo a la reducción de las emisiones de CO₂ y ayudando así efectivamente a los esfuerzos de una nación por reducir tales emisiones.

18 Procesos históricos de fabricación de cemento (aún en uso)

→ láminas 27 a 29

Estas láminas exhiben los diagramas de flujo de dos procesos históricos, pero aún en uso a nivel local: el proceso húmedo y el proceso semi-seco. En la lámina 29 se indican tipos adicionales de proceso (principalmente de importancia local), para efectos de completar la información.

19 Emisiones

→ láminas 30 a 34

A modo de breve introducción al tema, se entrega información general acerca de los efectos, características, casos históricos y origen, dentro de la industria del cemento, de varios contaminantes del aire.

20 Medición de emisiones desde un horno cementero

→ lámina 35

Entrega un breve resumen acerca del esquema de Monitoreo y Reporte de Emisiones de Holcim (*Holcim Emissions Monitoring and Reporting Scheme*). Se espera que todas las fábricas de cemento de Holcim utilicen combustibles y materias primas alternativas, y que de este modo implementen equipamiento de medición continua de emisiones para polvo, SO₂, NO₂ y COVs, y que midan otros componentes de las emisiones, al menos una vez por año.



21 Calidad del aire

→ láminas 37 a 40

Básicamente, un país define sus valores objetivo de calidad de aire (o inmisión) – por ejemplo, según lo propuesto por la OMS – y los mide de forma continua mediante una red de observación de calidad del aire (estaciones de medición).

Si no se logran los valores objetivo, las autoridades establecen valores límite de emisión al aire para diferentes tipos de emisores, y para los varios componentes de emisión. Las autoridades también definen los métodos de medición y evaluación de emisiones.

Si, luego de algunos años (ej., 10), se alcanzan los objetivos de calidad del aire, los valores límite de emisiones pueden mantenerse como estaban. Si no, se ajustan en función de los requerimientos y en acuerdo con los grupos de interés.

Preguntas Frecuentes

P: ¿Qué requerimientos necesitan los combustibles y materias primas alternativas en la producción del cemento para ser adecuados?

R: Las materias primas alternativas y cenizas provenientes del combustible alternativo deben calzar químicamente en el crudo existente, o sea, no cambiar su composición (y de este modo las características de calidad del producto) hasta un grado intolerable.

Los contenidos de las materias primas de componentes volatilizables (azufre pirítico, orgánicos, mercurio, etc.) no deberían hacer que los gases de escape sobrepasen los valores límite de emisión o, en el caso de los materiales alternativos, que sobrepasen de forma importante las líneas base para las emisiones, o sea, las emisiones sin materiales alternativos. Los combustibles alternativos deberían ser bajos en cloros y cercanos a cero en contenido de mercurio.

Todos los materiales (y todo el equipamiento respectivo de manipulación y proceso) deben cumplir con las normas aplicables de Seguridad y Salud Ocupacional (especial énfasis en los combustibles alternativos peligrosos).

Ningún material debería impedir la estabilidad operacional del horno y su disponibilidad.

P: ¿Son las emisiones de metales pesados un problema en la industria del cemento? ¿Qué factores son responsables por los cambios en las emisiones de metales pesados desde las chimeneas de hornos cementeros?

R: Con la excepción de unos pocos casos aislados de mercurio (si se comparan con los límites Europeos), no existe problema conocido con las emisiones de metales pesados desde hornos cementeros modernos.

Por razones de salud, se debería mantener baja la alimentación de cromo para la aplicación del producto final (concreto).

Los metales pesados son componentes naturales de las materias primas y



Preguntas Frecuentes

combustibles. Los que se volatilizan en el sistema de horno quedan atrapados (adsorbidos) por las materias primas pulverizadas en el pre-calentador / pre-calcinador / sistema de molienda, y son realimentados al proceso a través del equipamiento de filtración de polvo del horno.

El 80% de los análisis de metales pesados en los polvos de gas limpio se mantiene debajo de los límites de detección.

Los cambios en las emisiones de metales pesados se deben principalmente a cambios en la eficiencia de la filtración de polvo.

P: ¿En qué difieren los procesos de producción de cemento históricos, pero aún en uso, con respecto al proceso estándar de hoy en día (tecnología de proceso, consumo de energía, compatibilidad con el medio ambiente)?

R: Algunos procesos utilizan preparación húmeda de materias primas o preparación seca con granulación del crudo en base agua. Todos estos procesos tienen menor eficiencia térmica. Además, ninguna de sus soluciones de pre-calentador puede igualar al sistema de pre-calentador / pre-calcinador de ciclón, en cuando a la capacidad de retención de los componentes de emisión. La tecnología estándar de producción de cemento de hoy en día es, claramente, la mejor tecnología disponible (*Best Available Technology / BAT*).

P: ¿Qué se debe entender por adecuado pre-procesamiento de los combustibles? ¿Por qué es tan importante?

R: Los hornos cementeros necesitan operar con una atmósfera oxidante, pero para minimizar las pérdidas térmicas de gas de escape, el contenido de oxígeno debe ser lo más bajo posible. Esto requiere de combustibles que se puedan medir de manera confiable y con exactitud. Nuevamente, esto requiere de una adecuada preparación del combustible, en la cual también los contenidos de agua y cenizas son de importancia.

Mientras más alta la participación de un tipo de combustible en la mezcla total de combustibles, mejor necesita ser la preparación (pre-procesamiento).

P: ¿Existen otras ventajas, en el uso de los hornos cementeros para los flujos de residuos seleccionados para co-procesamiento, más allá de las ya mencionadas? A propósito, ¿cuáles son las desventajas?

R: No se ha mencionado un aspecto importante: la ventaja económica de utilizar equipamiento ya existente para realizar una nueva actividad.

¿Desventajas? Casi ninguna, según nuestra percepción. Sin embargo, algunas personas temen que una solución para residuos seleccionados, mediante horno cementero, no sería la mejor tecnología disponible (BAT), sería operada de forma irresponsable / no profesional por el encargado de la planta cementera, o demoraría



Preguntas Frecuentes

la total solución para todos los flujos de residuos.

P: Resulta difícil de creer que las emisiones no empeorarán, incluso si se hace todo de forma correcta. ¿Existen casos en que se tuvo que discontinuar el uso de AFR por alguna razón, o casos en que se negaron o no renovaron los permisos?

R: Sí, se conocen unos pocos casos. Éstos usualmente resultan de la oposición de la gente que vive en los alrededores de plantas cementeras con un registro ambiental deficiente (chimeneas, edificios o caminos sucios) y con el correspondiente comportamiento comunicacional deficiente.

P: ¿Por qué algunas personas están en contra de la incineración, en general, y en contra del co-procesamiento, en particular?

R: Los residuos constituyen materias primas, pero en el lugar equivocado y, a menudo, también en la forma incorrecta. Es preferible que se reutilicen como materias primas (ver "jerarquía de residuos"). Por ende, algunas personas aceptan la incineración solamente como el último eslabón en la cadena de gestión de residuos, y exigen una implementación que priorice los eslabones más altos. Éstas perciben el co-procesamiento como una forma de abrir puertas a la incineración directa, saltándose de este modo la jerarquía de residuos deseada.

P: A veces el término de "tecnología de bypass" se encuentra junto con el co-procesamiento/co-incineración/co-quema. ¿A qué viene todo esto?

R: En la industria del cemento, se distinguen dos tipos de sistemas de "bypass": el bypass de horno y el bypass tipo "polvo de MOD a molino de cemento" (*nota: MOD = Modo de Operación Directa*).

El sistema bypass de horno guía parte del polvo y gases del horno rotativo hasta un sistema de saturación y filtración de polvo. Por razones operacionales, el objetivo es limitar la circulación de cloro y azufre en el sistema del horno hasta niveles que no causen perturbaciones.

El polvo extraído es enriquecido principalmente en los cloros y el azufre, y es agregado al molino de cemento (producto final) o depositado en rellenos.

El bypass tipo polvo de MOD (como el nombre implica) extrae el polvo de "modo de operación directa" desde el equipamiento principal de filtración de polvo, y alimenta con éste al molino de cemento. El objetivo es limitar el enriquecimiento de elementos volátiles (principalmente metales pesados y compuestos orgánicos) en la fracción de polvo fino (por razones de potenciales emisiones y temas de seguridad y salud ocupacional).

P: ¿Cómo puede contribuir la utilización de combustibles alternativos a la



Preguntas Frecuentes

reducción de CO2 de la industria o de un país?

R: Algunos combustibles alternativos son combustibles alternativos renovables, o sea, su contenido de carbono se origina desde el CO2 de la atmósfera (biomasa como, por ejemplo, madera de residuo, cáscara de arroz, cáscara de nuez, comida animal, etc.). Además, actualmente tampoco se cuentan el CO2 y otros gases invernadero derivados de la disposición e incineración de residuos en los balances nacionales de CO2. Por lo tanto, el uso de biomasa y combustibles alternativos derivados de residuos contribuye a bajos (calculados) valores de emisiones.

P: Si las emisiones de hornos cementeros "no cambian" al utilizar AFR, ¿por qué las autoridades a menudo regulan las emisiones junto con la entrega de un respectivo permiso?

R: Hay países con una legislación ambiental de desarrollo aún deficiente. Luego, las autoridades pueden desear profitar de la oportunidad de corregir tales defectos (a lo menos de forma parcial). Además, éstas pueden creer que un esquema de co-procesamiento de combustibles alternativos iría inevitablemente acompañado de un aumento en las emisiones, o pueden sentir la presión pública de los grupos de interés, en el sentido de jugar un rol activo.

Finalmente, también el operador de la planta cementera puede desear adherirse a los valores límite de emisión, a fin de demostrar el cumplimiento con la legislación responsable y eficiente.

Referencias e Información Adicional

- Curso de Fabricación de Cemento de Holcim (*Holcim Course on Cement Manufacturing*)
- Curso sobre Medio Ambiente de Holcim (*Holcim Course on Environment*)
- Guías de GTZ-Holcim para el Co-Procesamiento de Residuos en la Producción de Cemento (*GTZ-Holcim Guidelines on Co-Processing Waste Materials in Cement Production*)
- Otros documentos internos de Holcim