

The seal of the University of Complutense of Madrid is a circular emblem. It features a central shield with a red and yellow checkered pattern, topped with a golden crown. The shield is flanked by two white wings. Above the shield is a white swan with a red beak. The entire emblem is enclosed in a circular border with the Latin text 'UNIVERSITAS COMPLUTENSIS' and '1469'.

**TEMA 3.3**  
**“EL CEMENTO Y LOS**  
**CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS.**  
**LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA”**

**INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**CURSO 14/15**



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## CONTENIDO

1. Aprovechamiento industrial de la caliza.
2. Obtención de cal química.
3. Industria del cemento.
  1. Proceso de fabricación.
  2. Dosificación de materias primas.
  3. Tipos de cemento y propiedades.
  4. Datos estadísticos.
4. Fabricación y aplicaciones del yeso.



## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

#### APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LA CALIZA

#### DEFINICIÓN Y COMPOSICIÓN

##### 1. Roca caliza.

Rocas sedimentarias formadas por depósitos de los productos de alteración química y física de rocas primitivas, como el feldespato cálcico.

Su componente fundamental es el  $\text{CaCO}_3$  (calcita generalmente).

##### 2. Componentes e intervalos de composición (%):

- |                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| 1. $\text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3$ : | 97%     |
| 2. $\text{CaO}$ :                    | 30-56%  |
| 3. $\text{MgO}$ :                    | 0,2-21% |
| 4. Otros óxidos arcillosos:          | 3%      |



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LA CALIZA

### ORIGEN Y TIPOS

#### ORIGEN

QUÍMICO: Descomposición de bicarbonato  $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$ :  $\text{Ca}^{2+} + 2(\text{HCO}_3^-)$   
 $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  (ALABASTRO o TRAVERTINO)

MECÁNICO: Por sedimentación de carbonato cálcico.

ORGÁNICO: Formadas por acumulación de restos de seres marinos.

#### TIPOS:

- MÁRMOL: cambio de su estructura primitiva por metamorfismo motivado por altas T y p: cristalización (calcita o dolomita).
- CALIZAS DOLOMÍTICAS: contenido de carbonato magnésico.
- CALIZAS ARCILLOSAS Y SILÍCEAS: contienen arcilla o sílice:
  - <15% de arcilla: caliza margosa
  - 15-30% de arcilla: marga
  - 31-75% de arcilla: arcilla margosa-marga arcillosa



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LA CALIZA

### INDUSTRIAS Y VÍAS

#### INDUSTRIAS

##### INDUSTRIA QUÍMICA

- Obtención de compuestos de calcio
- Obtención de  $\text{Ca(OH)}_2$  en disolución

##### INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

- Obtención de cal conglomerante (aérea o hidráulica)
- Obtención de cementos portland (mezclas caliza-arcilla)

#### VÍAS DE APROVECHAMIENTO:

- Descomposición por ácidos:  $\text{CaCO}_3 + \text{RH} \longrightarrow \text{R}_2\text{Ca} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- Descomposición térmica (por efecto del calor)  
CAL QUÍMICA o VIVA:  $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{CaO} - 42,5 \text{ Kcal}$



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

- Proceso de calcinación (900-1000° C) (tras extracción y molienda):



- Apagado de la reacción (150-450° C):



En el apagado:

- El hidróxido obtenido se calienta, hincha y pulveriza debido a que la reacción es muy exotérmica (1,51 Kcal/mol CaO).
- La cal apagada se tamiza para separar los productos indeseados (silicatos y aluminatos). Se ensaca y se expende (granel).
- Las disoluciones de Ca(OH)<sub>2</sub> en agua (agua de cal) y las suspensiones de Ca(OH)<sub>2</sub> en agua saturada (lechada de cal) se utilizan como fuente de ion Ca<sup>2+</sup> y como producto alcalinizante de bajo coste (industria carbonato sódico).



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

### RECARBONATACIÓN DE CAL QUÍMICA: PUESTA EN OBRA

- Cuando la cal se amasa con agua para su puesta en obra, se recarbonata al absorber CO<sub>2</sub> atmosférico, según:  $\text{Ca (OH)}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 
  - La cal apagada primero fragua por cristalización del Ca(OH)<sub>2</sub> y luego se endurece al carbonatarse los cristales por el CO<sub>2</sub> y trabarse unos con otros.
  - El proceso es muy lento y produce un CONGLOMERANTE AÉREO que tarda mucho en desarrollar su resistencia potencial que no es muy alta.
  - Normalmente esta cal se utiliza como MORTERO, mezclada con arena en la proporción adecuada para que el conglomerante rellene los huecos que dejan entre sí los granos de arena (Si – Al).



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

CICLO DE LA CAL QUÍMICA







**TEMA 3.3**  
**EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.**

**OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA**

**CAL QUÍMICA A PARTIR DE CALIZA CON IMPUREZAS**

- $\text{CaCO}_3$  (>5-6% arcilla)  $\longrightarrow$   $\text{CaO} + \text{CO}_2$  (1200° C)
- $\text{CaO} + \text{arcilla}$  (>5-6%)  $\longrightarrow$  silicatos, aluminatos, ferritos
  
- Cuando se amasa con agua en su puesta en obra, se obtiene una cal **CONGLOMERANTE HIDRAÚLICO** (fragua en ambiente húmedo e, incluso, bajo el agua).
  - Las propiedades hidráulicas del material obtenido son atribuidas a los silicatos, aluminatos y ferritos formados.
  - La hidraulicidad crece con el contenido en arcilla.
  - Con un contenido de arcilla del 22% se obtiene ya un cemento: Intermedio entre las cales aéreas y los cementos.



## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

#### OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

#### CAL QUÍMICA A PARTIR DE CALIZA CON IMPUREZAS

- $\text{CaCO}_3$  (>5-6% arcilla)  $\longrightarrow$   $\text{CaO} + \text{CO}_2$  (1200° C)
- $\text{CaO} + \text{arcilla}$  (>5-6%)  $\longrightarrow$  silicatos, aluminatos, ferritos
- Cuando se amasa con agua en su puesta en obra, se obtiene una cal CONGLOMERANTE HIDRAÚLICO (fragua en ambiente húmedo e, incluso, bajo el agua).
- EL COEFICIENTE DE HIDRAULICIDAD  $\text{CH} = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) / \text{CaO}$ 
  - Varía entre 0,1 (cales poco hidráulicas) y 0,52 (productos de alta hidráulicidad).
  - Como consecuencia de las variaciones de composición de la roca de partida pueden obtenerse una serie de cales, que varían desde las cales muy puras (altamente cálcicas), hasta las altamente hidráulicas, con contenidos de  $\text{CaO}$  de un 50 % o menos.

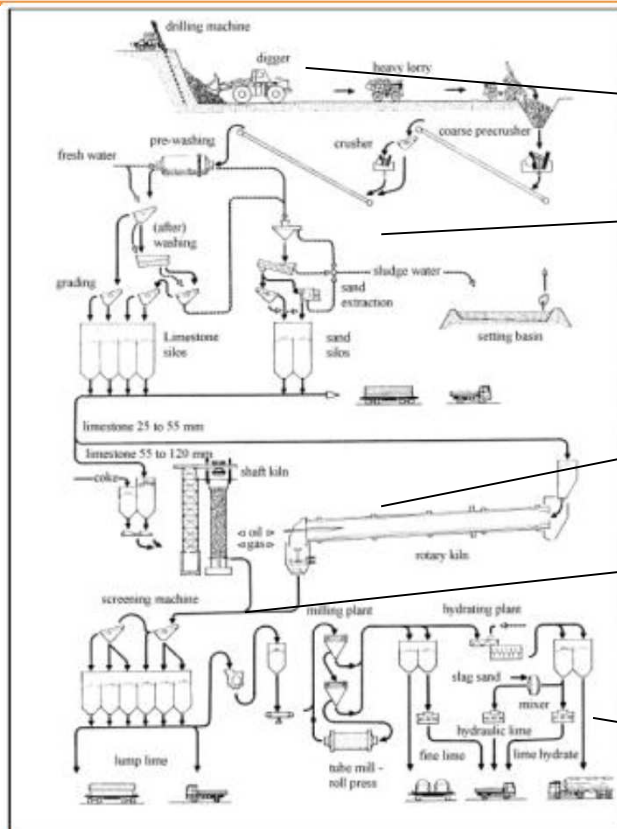


### TEMA 3.3

## EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

### OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

### PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA



■ EXTRACCIÓN

■ MOLIENDA

■ **CALCINACIÓN**

■ MOLIENDA DE LA CAL

■ APAGADO

- Suministrar suficiente calor ( $>800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para provocar la descomposición del carbonato.
- Mantener la caliza durante el tiempo necesario a una T entre  $1200\text{-}1300\text{ }^{\circ}\text{C}$  para ajustar la reactividad.
- Influencia de la presión:  $P > P_{\text{atm}}$ , Aumenta T



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

### PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: TIPOS DE HORNOS

- **Discontinuos**
  - Rudimentarios
  - De cuba
  
- **Continuos**
  - Rüdersdorf
  - De llama corta
  - Vertical
  - Rotatorio
  - Lecho fluidizado

#### Zona de precalentamiento:

La caliza se calienta desde la T ambiente hasta 800° C por contacto con los gases que abandonan la zona de calcinación (CO<sub>2</sub> y gases de combustión).

#### Zona de calcinación:

El combustible se quema con aire precalentado de la zona de enfriamiento o con aire fresco. Se alcanzan T superiores a 900 °C y provoca la descomposición del carbonato en cal y CO<sub>2</sub>.

#### Zona de enfriamiento:

La cal que abandona la zona de calcinación se enfría por contacto directo con aire de enfriamiento.

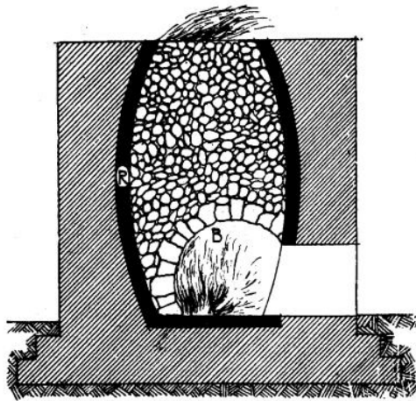


TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

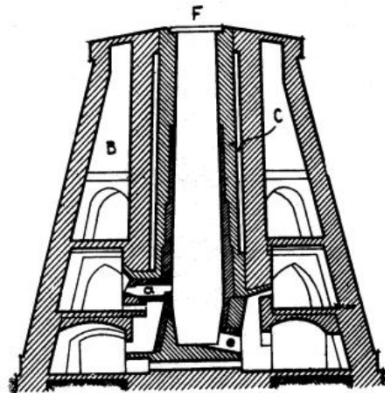
OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: TIPOS DE HORNOS

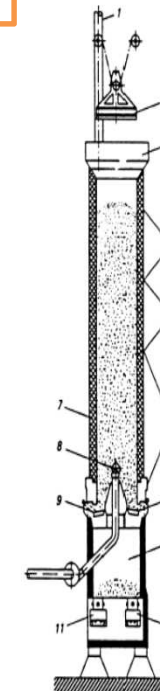
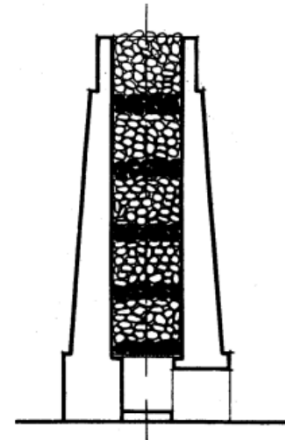
Discontinuo  
de cuba



Rüdersdorf



De llama corta



1. Exhaust gas
2. Charging bucket with raw material and fuel
3. Gas seal bell
4. Preheating zone
5. Calcining zone
6. Cooling zone
7. Kiln lining
8. Combustion air inlet
9. Lime discharge
10. Intermediate hopper
11. Discharge channels

Vertical

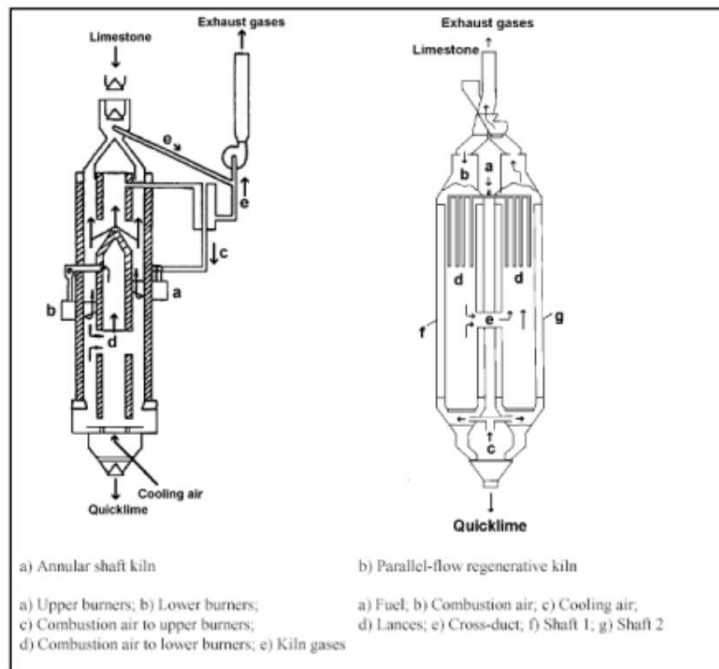


## TEMA 3.3 EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

### OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

### PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: TIPOS DE HORNOS

#### Variantes Vertical



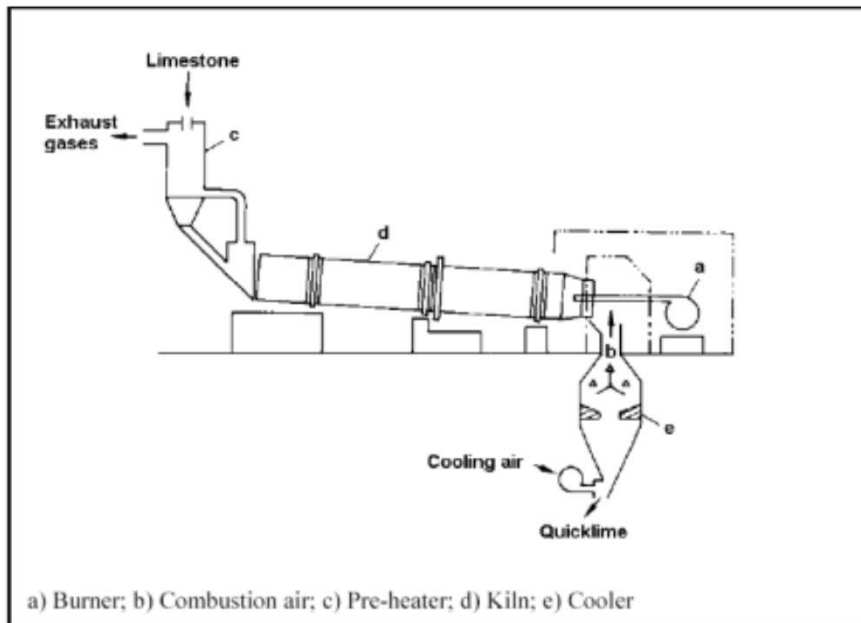


TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: TIPOS DE HORNOS

Rotatorio



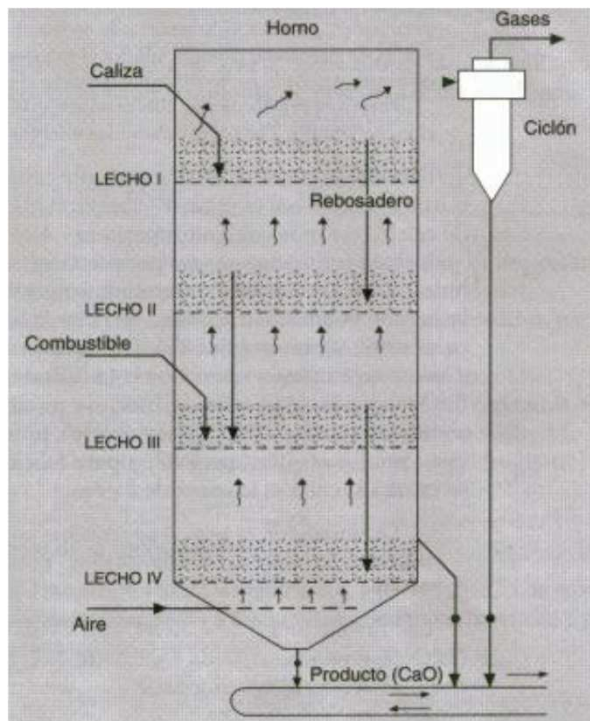


TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: TIPOS DE HORNOS

De lecho fluidizado







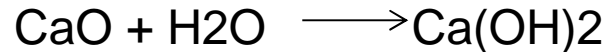
## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

#### OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

#### PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: APAGADO DE LA CAL

El CaO se combina con el agua dando lugar al hidróxido cálcico:



- Desprende calor.
- Provoca un aumento de volumen (entre 250-300%).

La velocidad de hidratación depende de:

- Las condiciones físicas de la cal viva: aumenta cuanto más finamente dividida se obtenga la cal. Presenta gran superficie a la acción del agua.
- La composición química de la cal viva (aumenta cuanto más pura sea la cal). Impurezas de Mg, frenan.
- La temperatura de cocción de la caliza (aumenta si está bien cocida). Fragmentos poco cocidos o sobrecocidos, poca capacidad de hidratación.



## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

#### OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

#### PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: APAGADO DE LA CAL

##### Características del proceso:

- 56 partes (en peso) de cal viva, requieren para su apagado 18 partes de agua: 32,1% (en la práctica esta cantidad se ve reducida debido a las impurezas).
- El volumen final es un 250-300% del primitivo: Esto ocurre con cales puras (Mg disminuye el aumento).
- El apagado es un fenómeno complejo debido a los silicatos y aluminatos que contiene:
  - Se humedece la cal hidráulica con suficiente cantidad de agua, apilándola en montones y cubriéndolos con arena para conservar la T.
  - La naturaleza de los silicatos y aluminatos presentes en la cal hidráulica es incierta. Depende de: composición de las calizas empleadas, rapidez de cocción, T del horno, etc.
  - Estas sales, silicatos y aluminatos, son las que proporcionan a la cal su carácter hidráulico. Pero los silicatos se alteran fácilmente por el agua en estado líquido o de vapor, por debajo de los 120 °C; y los aluminatos, por debajo de los 140°C. Hay que conseguir, aun por calefacción artificial, que la T no baje de este último límite, porque, de lo contrario, el producto final perdería sus propiedades hidráulicas.



## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

#### OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

#### PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: SISTEMAS DE APAGADO

##### AL AIRE

- La cal viva expuesta al aire absorbe la humedad y se pulveriza por efecto del aumento de volumen.
- Proceso lento y tiene el grave inconveniente de que se produce el proceso de recarbonatación: Pérdida de propiedades aglomerantes.
- No obstante, a veces se emplea este sistema cuando se trata de conservar por algún tiempo la cal antes de utilizarla. Se prepara, entonces, en montones grandes; la reacción con el  $\text{CO}_2$  tiene lugar tan sólo en la superficie, en la que se forma una delgada capa de carbonato que protege todo el material del interior

##### POR ASPERSIÓN

- La cal viva, dispuesta en capas de no mucho espesor, se riega con agua y se reduce a polvo por sí misma.
- Si se va a usar rápidamente, puede envasarse con o sin cribado previo.
- Si se va a almacenar, suele cubrirse con arena hasta el momento oportuno.



## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

#### OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

#### PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: SISTEMAS DE APAGADO

##### POR FUSIÓN

- Este procedimiento consiste en añadir agua a la cal viva en un estanque o excavación en el terreno.
- Por este sistema se obtiene la cal apagada en pasta.
- Es preciso cuidar mucho la cantidad de agua añadida, por inconvenientes que se pueden producir:
  - Cocción: adición insuficiente de agua produciéndose una elevación de temperatura grande.
  - Inundación: excesiva cantidad de agua que retarda la hidratación por mantener la T demasiado baja.

##### HIDRATADORES MECÁNICOS

- Conseguir una perfecta dosificación de la mezcla de cal viva y agua.
- Se logra material de alta calidad.
- Debe controlarse la T para evitar grandes evaporaciones de agua por proceso exotérmico.
- Mezclar la cal viva con un exceso de agua para que, por evaporación, se pueda eliminar el sobrante de calor.



## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

#### OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

#### PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: CLASIFICACIÓN DE LA CAL

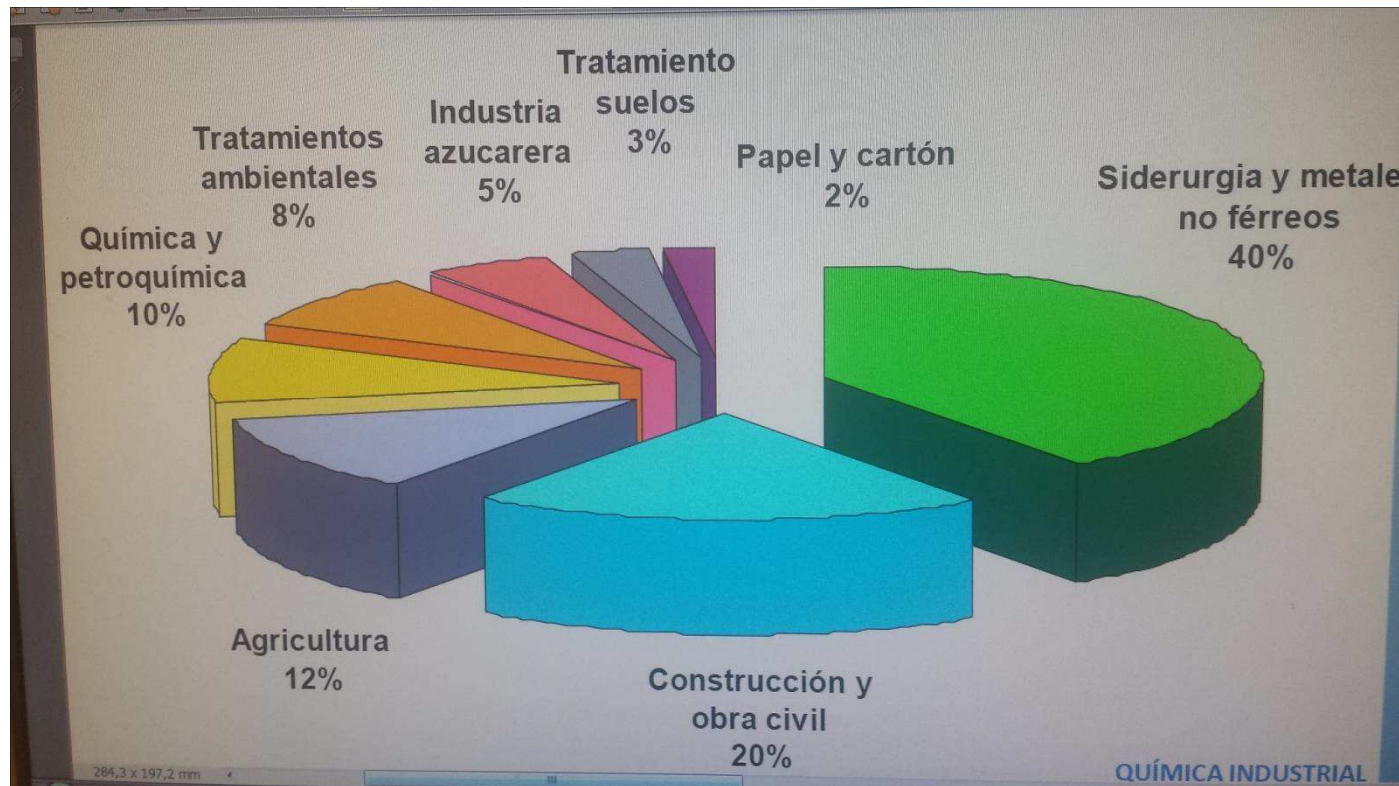
- Cal aérea. Producida a partir de calizas más o menos puras. Sólo fraguan al aire:
  - Cal aérea I:  $(\text{CaO} + \text{MgO}) > 90\%$ ,  $\text{CO}_2 < 5\%$  (uso en blanqueos, acabados y morteros de albañilería).
  - Cal aérea II:  $(\text{CaO} + \text{MgO}) > 60\%$ ,  $\text{CO}_2 < 5\%$  (uso en trabajos toscos y morteros para asentar fábricas).
- Cal hidráulica Material obtenido al calcinar calizas que contienen sílice y arcillas. Fragua en ambientes húmedos, incluso bajo el agua:
  - Cal hidráulica I:  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 20\%$ ,  $\text{CO}_2 < 5\%$ .
  - Cal hidráulica II:  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 15\%$ ,  $\text{CO}_2 < 5\%$ .
  - Cal hidráulica III:  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 10\%$ ,  $\text{CO}_2 < 5\%$ .
- Según el contenido en MgO:
  - Cal grasa o de bajo contenido en magnesia: máximo 5%.
  - Cal dolomítica, gris, magra o de alto contenido en magnesia:  $> 5\%$ .



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA

PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL QUÍMICA: APLICACIONES





## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### PROCESO FABRICACIÓN: FASES Y VÍAS

- **Molienda-mezclado** de materias primas: (calizas y arcillas) (cenizas de tostación de piritas, arenas) para ajustar la composición deseada del clínquer.
- En la **cocción** se calcinan las materias primas, provocando su descomposición. Los constituyentes reaccionan a mayores T para dar las especies mineralógicas propias del cemento.
- El clínquer obtenido se somete a **enfriamiento**, aprovechándose el calor.
- Finalmente el clínquer se somete a **molienda** con adiciones de yeso y otros aditivos para dar el cemento final. Los aditivos pueden molerse por separado y mezclarse después con el clínquer.

**Proceso seco:** las materias primas se muelen hasta dar un polvo que se alimenta a un precalentador, precalcinador o directamente al horno.

•**Proceso semiseco:** las MP secas se pelletizan con agua y se alimentan a un precalentador de cinta o al horno

•**Proceso semihúmedo:** se trabaja con MP de alto grado de humedad. Se forma una papilla que se concentra en filtros prensa. Las tortas se extruyen para dar pellets y se alimentan a una precalentador de cinta o a un equipo de secado.

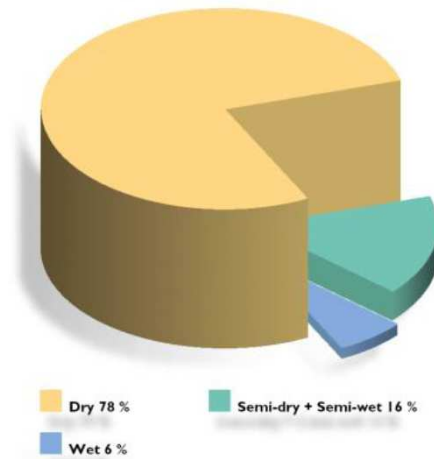
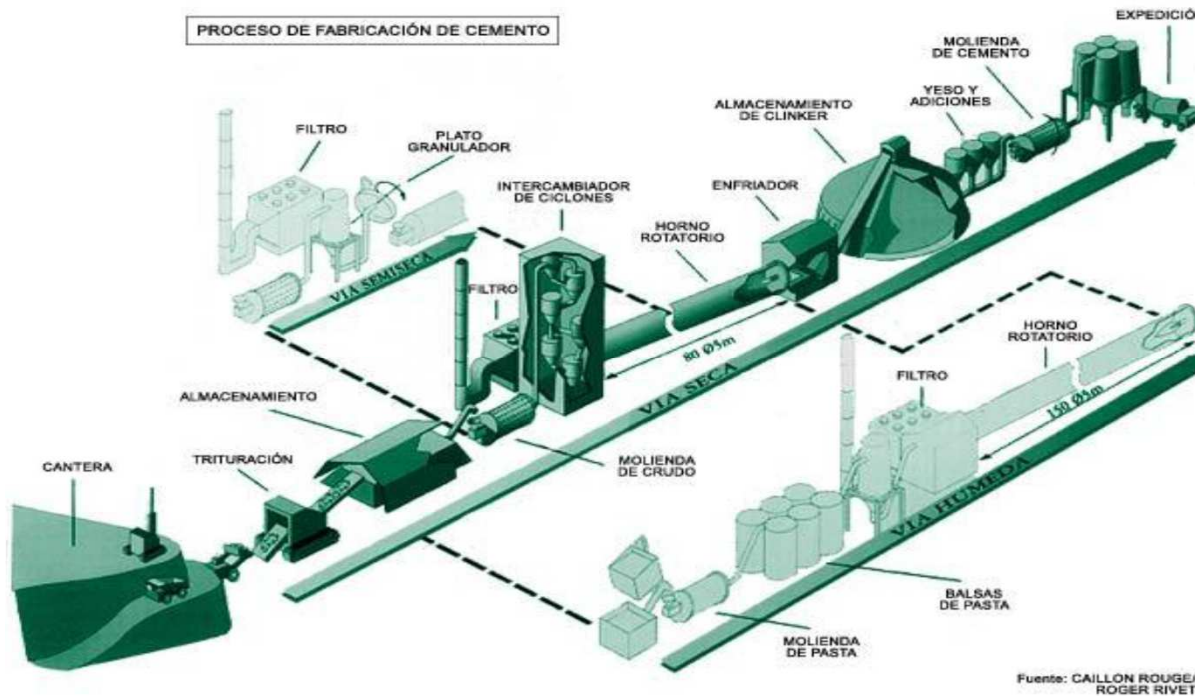
•**Proceso húmedo:** las MP, con una alta humedad, se muelen en húmedo para formar una papilla bombeable. Esta papilla se alimenta directamente al horno o se lleva primero a un secado



# TEMA 3.3 EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### PROCESO FABRICACIÓN: ESQUEMA







## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### PROCESO FABRICACIÓN: MOLIENDA

#### Características generales de la molienda

- Las MP en proporciones controladas se muelen y mezclan para dar una mezcla homogénea con la composición requerida.
- En los procesos secos y semisecos (más comunes), las MP se muelen y se secan (usando de los gases agotados o el aire de los enfriadores) para obtener un polvo fino. Para las MP con alta humedad se pueden usar hornos auxiliares.
- La finura y la distribución de tamaños del producto de la molienda son de gran importancia para el siguiente tratamiento térmico.
- Los molinos típicos son los de bolas y los de rulos.

#### Características generales de la separación

- Separadores de aire
- Separadores centrífugos



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### PROCESO FABRICACIÓN: COCCIÓN

#### Reacciones

- 900 °C:
  - Deshidratación de la arcilla y descomposición a metacaolín ( $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ )
  - El hierro queda en forma de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .
  - Descomposición de la caliza a  $\text{CaO}$  y  $\text{CO}_2$
  
- >1.000 °C: reacciones de composición:
  - 1ª. Formación de AF4C ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$ )
  - 2ª: Relaciones molares:
    - a) Si  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 > 1$  Formación A3C ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$ ) (más frecuente)
    - b) Si  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1$  Formación F2C ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$ )
  - 3ª. Formación de S2C ( $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$ )
  - 4ª. Formación de S3C ( $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$ ) (a partir de S2C y cal libre).



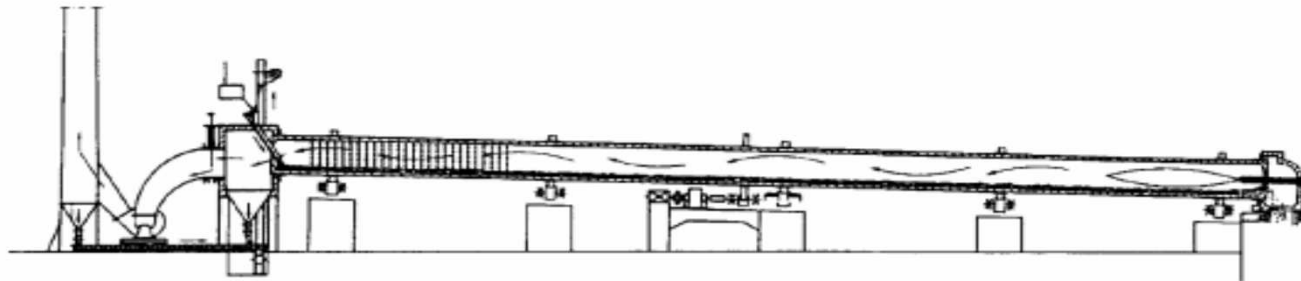
## TEMA 3.3 EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

### INDUSTRIA DEL CEMENTO

#### PROCESO FABRICACIÓN: . COCCIÓN. HORNOS ROTATORIOS LARGOS

##### Características de diseño

- Usados en los sistemas más antiguos y en los procesos en húmedo.
- La razón longitud/diámetro puede llegar a ser de 38:1, siendo la mayor longitud de 200 m. Estas producen hasta 3.600 Tm/día por el método húmedo.
- Para poder disminuir la longitud de los hornos se emplean cadenas de hierro que forman un enrejado capaz de tomar el calor de los gases y cederlo a la pasta. Esto acorta la zona de desecación y produce un crudo granulado fino que se cuece bien sin segregaciones de composición y da un clínquer uniforme.



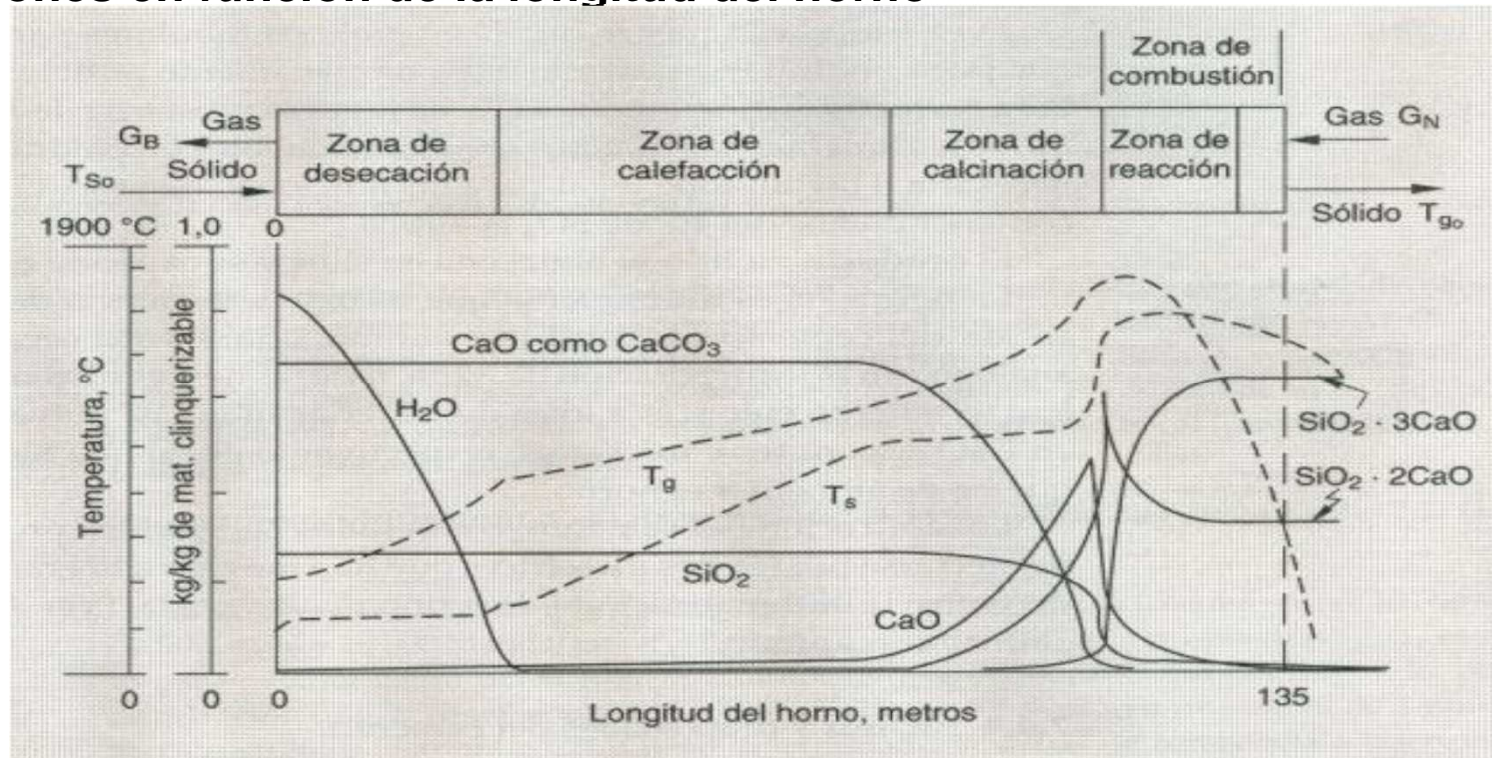


TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

INDUSTRIA DEL CEMENTO

PROCESO FABRICACIÓN: COCCIÓN. HORNOS ROTATORIOS LARGOS

Reacciones en función de la longitud del horno





## TEMA 3.3 EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

### INDUSTRIA DEL CEMENTO

#### PROCESO FABRICACIÓN: COCCIÓN. HORNOS ROTATORIOS LARGOS

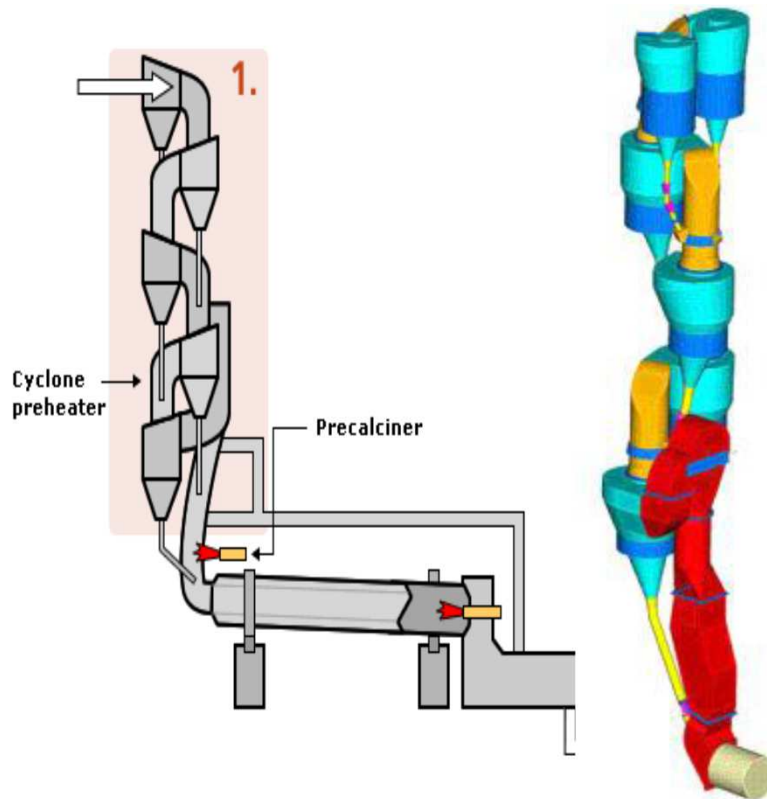
##### Reacciones en función de la longitud del horno

- Por la boca del horno salen unos 4000 m<sup>3</sup> de gas por tonelada de clínquer.
- Las reacciones de clinquerización (zona de reacción) ocupan poco trecho del horno. La razón de tan grandes longitudes de los hornos es por la rigurosa recuperación del calor del combustible (carbón pulverizado, residuos o fuelóleo) por ahorro de costes.
- La T de la carga alcanza 1400-1500° C, mientras que la de los gases es de 2000° C. Se necesitan condiciones oxidantes, por lo que la cocción se hace en presencia de exceso de aire.



## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### PROCESO FABRICACIÓN: COCCIÓN. HORNOS ROTATORIOS CORTOS



#### Características

- La entrada de calor se divide en dos puntos:
  - Combustión primaria: en zona de combustión del horno.
  - Combustión secundaria: en una cámara especial de combustión entre el horno y el sistema ciclónico (precalciner). En esta cámara se puede quemar hasta el 60 % del combustible. Esta energía se consume en la calcinación de las MP, que casi se completa totalmente cuando entra en el horno rotatorio.
- El aire caliente se toma del enfriamiento del clínquer.
- A pesar de que los materiales llegan calcinados en un 75 a 95% al horno rotatorio, estos siguen teniendo zona de calcinación, lo que lleva a unas razones L/D entre 13:1 y 16:1.

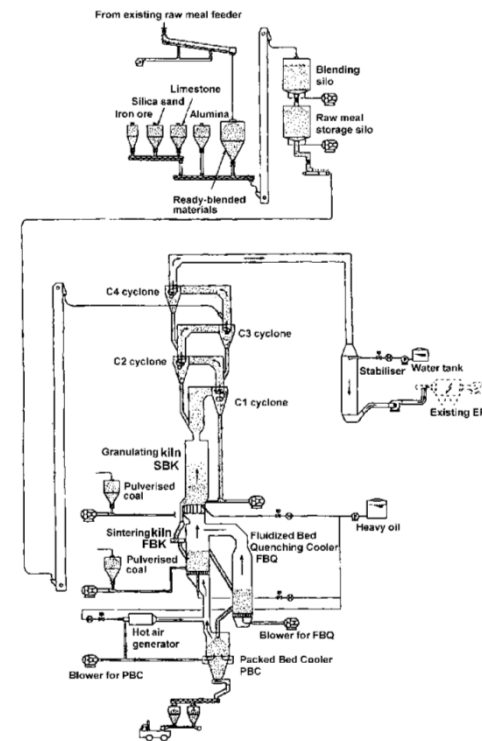
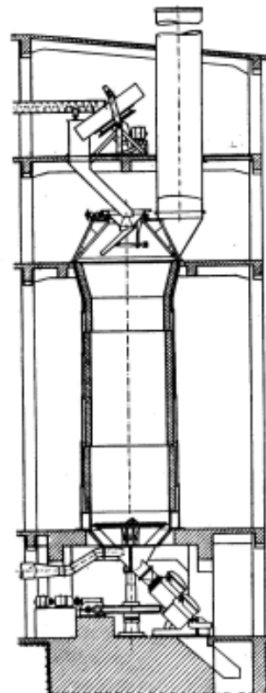


### TEMA 3.3

## EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

### INDUSTRIA DEL CEMENTO

### PROCESO FABRICACIÓN: COCCIÓN. HORNOS VERTICALES Y FLUIDIZADOS





## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### PROCESO FABRICACIÓN: COCCIÓN. TIPOS DE COBUSTIBLES

- Combustible habitual: carbón o coque (fuelóleo o gas natural, en menor medida)
- Uso de residuos (entre un 10-50% de necesidades totales de combustibles en Europa):
  - Neumáticos gastados
  - Aceites usados
  - Lodos de depuradora
  - Cauchos
  - Maderas gastadas
  - Plásticos
  - Residuos de la industria papelera
  - Disolventes agotados
- Ventajas del uso de combustibles alternativos:
  - Reducción del uso de combustibles no renovables y, consecuentemente, reducción del impacto de su extracción en mina.
  - Reducción de las emisiones de GEI.
  - Maximización de la recuperación de energía del combustible.
  - Maximización de la recuperación de la parte no combustible y eliminación de la necesidad de llevar las cenizas y escorias a vertedero





## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### PROCESO FABRICACIÓN: COCCIÓN. TIPOS DE COBUSTIBLES

#### VENTAJAS DEL USO DE RESIDUOS

- Altas temperaturas y largos tiempos de residencia (5-10 segundos de residencia del gas a 2000° C en el horno y más de 3 segundos en el precalcinador a 1100° C); además de atmósfera oxidante: Condiciones ideales para destruir sustancia orgánicas.
- Proceso continuo con alta inercia térmica. No son posibles cambios en la T del horno durante breves períodos de tiempo.
- Ambiente alcalino que evita la formación de gases ácidos. Si el combustible contiene cloro/azufre no se producen emisiones ácidas ya que los gases se adsorben y neutralizan en la cal formada.
- Retención de las cenizas en el clínquer:
  - Las cenizas de los combustibles alternativos pueden proporcionar componentes del clínquer (Ej.: Neumáticos usados: hierro).
  - La mayoría de los metales de los residuos se incorporan al clínquer, aunque Hg o Tl pueden volatilizarse, lo que obliga al control de la composición del gas de salida.
- Suministro continuo de combustible y facilidad de cambio del mismo. En cualquier momento el combustible puede volver a ser convencional.

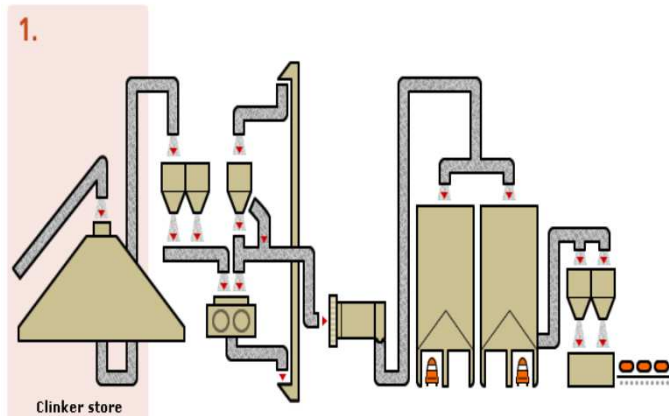


## TEMA 3.3 EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

### INDUSTRIA DEL CEMENTO

### PROCESO FABRICACIÓN: ENFRIAMIENTO Y MOLIENDA DEL CLINQUER

#### ESQUEMA



#### ENFRIAMIENTO

- Mediante corriente de aire; uso como precalentador.
- El enfriador del clínquer tiene dos misiones:
  - Recuperar tanto calor como sea posible del clínquer caliente ( $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y devolverlo al proceso (el calor se recupera por precalentamiento del aire que se usa posteriormente en la combustión de los combustibles)
  - Reducir la T del clínquer hasta niveles permisibles para las siguientes etapas.



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### PROCESO FABRICACIÓN: ENFRIAMIENTO Y MOLIENDA DEL CLINQUER

#### TIPOS DE ENFRIADORES: ENFRIADORES TUBULARES

- Usan un principio parecido al horno rotatorio, pero para un cambio inverso de calor.
- Se conecta a la salida del horno pero con una disposición inversa.
- Tras la descarga del horno, el clínquer pasa a un alimentador intermedio y entra en el segundo tubo rotatorio, el enfriador.
- El flujo de aire frío en contracorriente se determina en función del aire requerido para la combustión (recordar que se trabaja en exceso).

#### TIPOS DE ENFRIADORES: ENFRIADORES DE CINTA

- El enfriamiento en estos equipos se consigue pasando una corriente de aire a través de una cinta que porta una capa de clínquer.
- En este caso el aire no se usa para posteriores combustiones, sino para el secado de materias primas



## TEMA 3.3 EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

### INDUSTRIA DEL CEMENTO

#### PROCESO FABRICACIÓN: ENFRIAMIENTO Y MOLIENDA DEL CLINQUER

##### MOLIENDA Y ADICIÓN DE YESO Y DE OTROS ADITIVOS

Aditivos típicos para otorgar características al cemento:

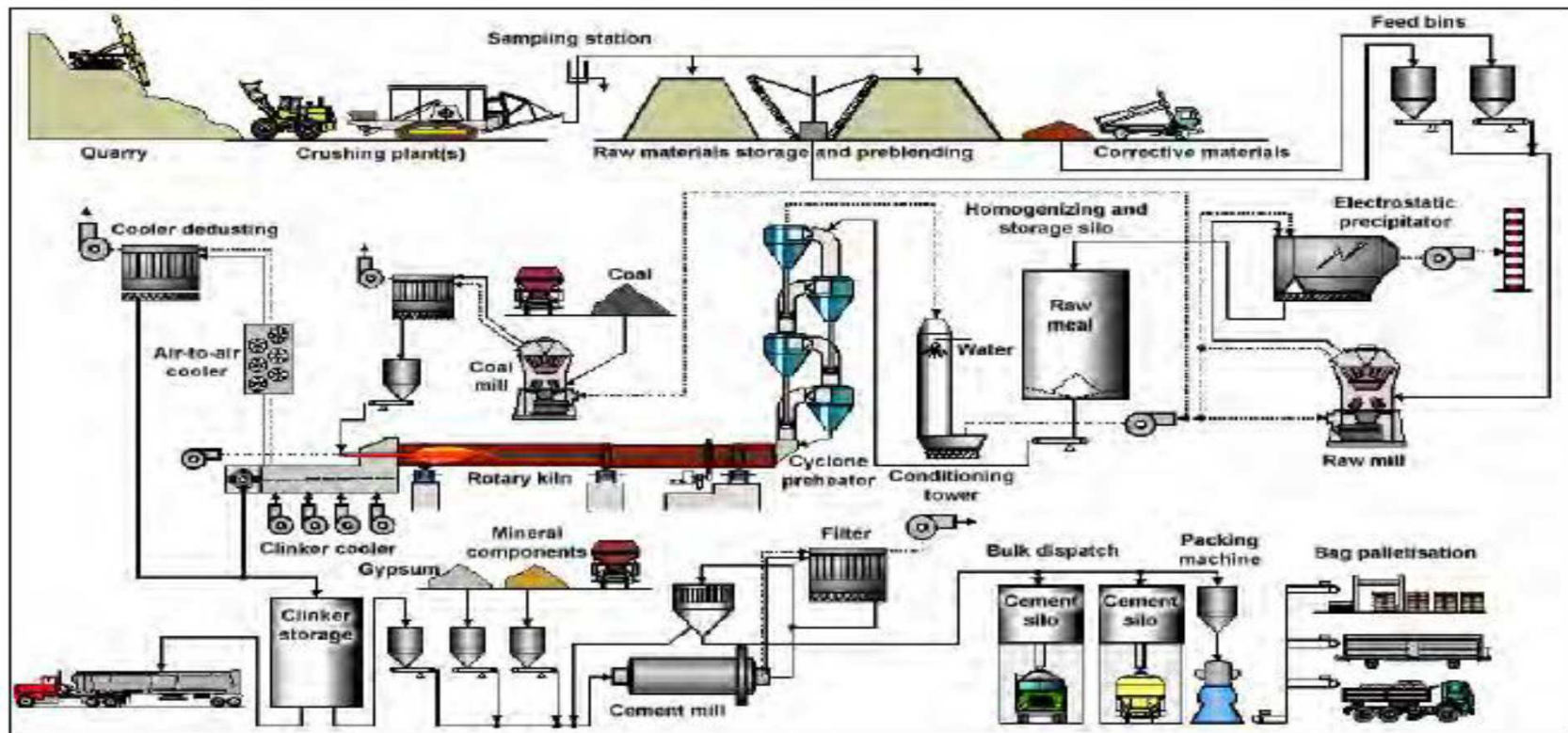
- Agentes inclusores de aire (jabones derivados de la colofonia, alquilarilsulfonatos, lignosulfonato cálcico...).
- Aceleradores (silicato cálcico, cloruro cálcico, formiato cálcico, carbonatos potásico y sódico).
- Retrasadores y agentes reductores (lignosulfonatos de Ca, Mg, Na, NH<sub>4</sub>, carbohidratos, óxido de zinc...).
- Plastificantes (lignosulfonato, agentes tensoactivos...).
- Colorantes (óxidos ferroso y de cromo, negro de humo).
- Impermeabilizantes (oleatos, siliconas).
- Anticongelantes (etilenglicol, cloruro cálcico...).
- Fungicidas.
- Inhibidores de la corrosión (nitrato y cromato sódicos).



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

INDUSTRIA DEL CEMENTO

PROCESO FABRICACIÓN: ESQUEMA GENERAL





TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

#### Constituyentes del clínquer

- Entre el 60-80% SILICATOS Según reacciones en la cocción.
- AF4C ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$ ): Aluminoferrito tetracálcico
- A3C ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$ ): Aluminato tricálcico, ó F2C ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$ ): Ferrito dicálcico (dependiendo de relación molar entre ferrito y alúmina)
- S2C ( $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$ ): Silicato bicálcico
- S3C ( $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$ ): Silicato tricálcico

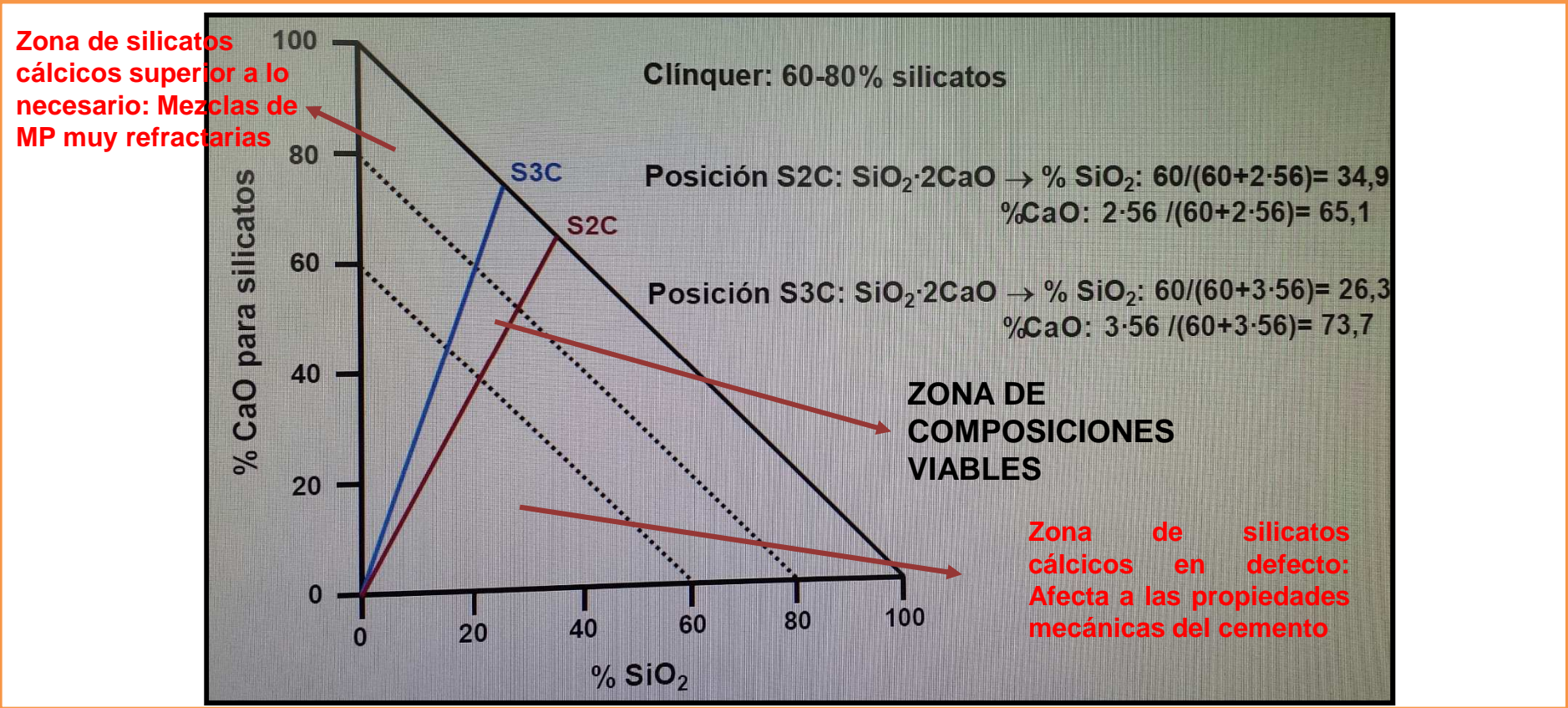


TEMA 3.3

EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

INDUSTRIA DEL CEMENTO

DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS. FORMA GRÁFICA





TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS. FORMA GRÁFICA

**Dosificación: Cálculo de CaO para silicatos (eje 'y' gráfico).**

Relaciones molares de los compuestos:

**1º: Formación de AF4C:**

CaO necesario para formar AF4C:

$$4 \cdot \text{CaO} / \text{Fe}_2\text{O}_3 = 4 \cdot 56 / 159,7 = 1,40$$

Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) consumida en la formación de AF4C:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 = 102 / 159,7 = 0,64$$

**2º: Formación de A3C ó F2C:**

Si  $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 > 1$ : Formación A3C (más habitual)

$$\text{CaO necesario: } 3 \cdot \text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3 = 3 \cdot 56 / 102 = 1,65$$

Si  $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 < 1$ : Formación F2C

$$\text{CaO necesario: } 2 \cdot \text{CaO} / \text{Fe}_2\text{O}_3 = 2 \cdot 56 / 159,7 = 0,70$$





TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

**INDUSTRIA DEL CEMENTO**

**DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS. FORMA GRÁFICA: EJEMPLO**

Cálculo de la dosificación de MP cuya composición se muestra en la tabla, para obtener un **clínquer** con un 70% de silicatos con una proporción  $S2C/S3C = 1$

%	Arcilla	Caliza
SiO <sub>2</sub>	75,0	3,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,2	1,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,2	0,6
CaO	0,2	94,4
Otros	0,4	0,2
Pérdidas al fuego*	12,1	42,3

\*Pérdidas al fuego: cantidad de masa que se pierde tras calcinación  
**Hay que considerarlas en la dosificación de MP**



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

**INDUSTRIA DEL CEMENTO**

**DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS. FORMA GRÁFICA: EJEMPLO**

Hay que representar las coordenadas de SiO<sub>2</sub> (X) y de CaO (Y) para cada MP.

**COORDENADAS DE LA ARCILLA:**

Xa (% SiO<sub>2</sub>) = 75 (Dato directo de la tabla)

Ya (% CaO) Hay que calcularlo

AF4C:

•CaOAF4C = 1,4 (rel. mol) · 6,2 (tabla) = 8,8 partes de CaO

•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AF4C consumida = 0,64 · 6,2 = 4 partes de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

A3C (ya que relación Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 1):

•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> resto = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inicial – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AF4C = 18,2 – 4 = 14,2 partes de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

•CaOA3C = 1,65 · 14,2 = 23,4 partes de CaO

Por tanto,

CaOsilicatos = CaOinicial – CaOAF4C – CaOA3C

CaOsilicatos = 0,2 – 8,8 – 23,4 = -32 Ya



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

**INDUSTRIA DEL CEMENTO**

**DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS. FORMA GRÁFICA: EJEMPLO**

**COORDENADAS DE LA CALIZA**

**$X_c$  (% SiO<sub>2</sub>) = 3,5** (dato directo de la tabla)

**$Y_c$  (% CaO)** Hay que calcularlo:

AF4C:

- $\text{CaOAF4C} = 1,4 \cdot 0,6 = 0,84$  partes de CaO
- $\text{Al}_2\text{O}_3$  AF4C consumida =  $0,64 \cdot 0,6 = 0,384$  partes de  $\text{Al}_2\text{O}_3$

A3C (ya que relación  $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Fe}_2\text{O}_3 > 1$ ):

- $\text{Al}_2\text{O}_3$  resto =  $\text{Al}_2\text{O}_3$  inicial –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  AF4C =  $1,3 - 0,384 = 0,916$  partes de  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- $\text{CaOA3C} = 1,65 \cdot 0,5 = 0,825$  partes de CaO

Por tanto,

$$\text{CaOsilicatos} = \text{CaOinicial} - \text{CaOAF4C} - \text{CaOA3C}$$

$$\text{CaOsilicatos} = 94,4 - 0,84 - 0,5 = 93,06 \quad Y_c$$

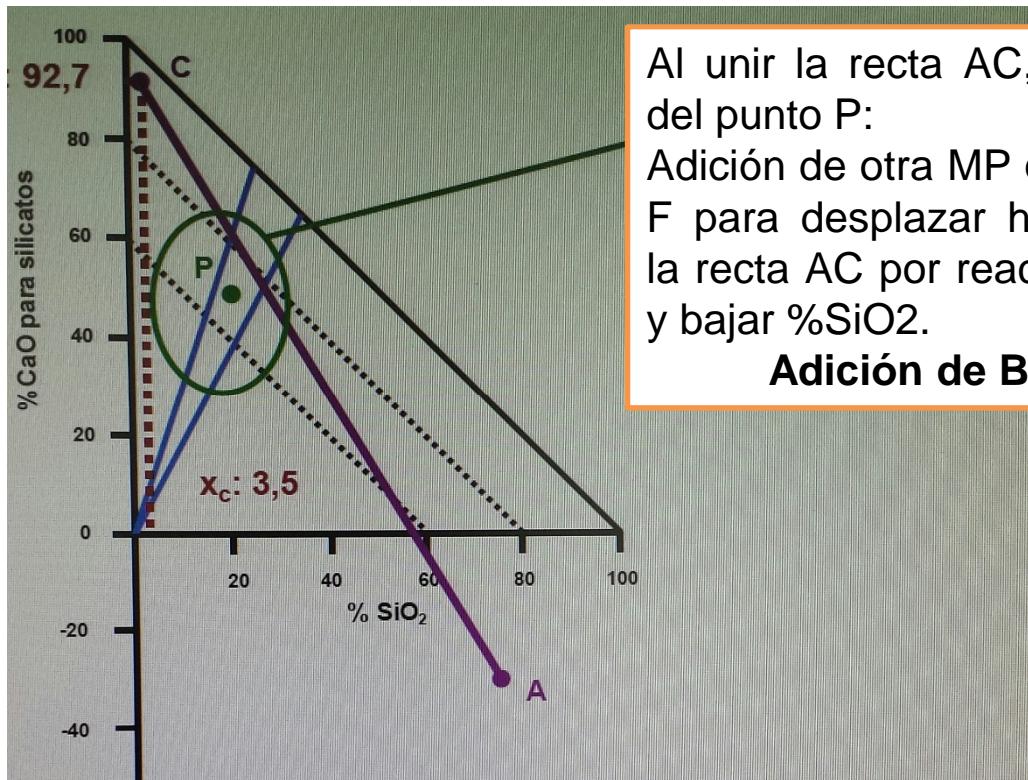


### TEMA 3.3

## EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

### INDUSTRIA DEL CEMENTO

### DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS. FORMA GRÁFICA: EJEMPLO



Al unir la recta AC, pasa alejada del punto P:  
Adición de otra MP que aporte A y F para desplazar hacia izquierda la recta AC por reacción con CaO y bajar %SiO<sub>2</sub>.

**Adición de BAUXITA**

%	Bauxita
SiO <sub>2</sub>	10,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,3
Otros	2,8
Pérdidas al fuego	0,7



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS. FORMA GRÁFICA: EJEMPLO

#### COORDENADAS DE LA BAUXITA

$X_b$  (% SiO<sub>2</sub>) = 10,3 (dato directo de la tabla)

$Y_b$  (% CaO) Hay que calcularlo:

AF4C:

•CaOAF4C = 1,4 · 24,3 = 34,02 partes de CaO

•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AF4C consumida = 0,64 · 24,3 = 15,6 partes de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

A3C (ya que relación Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 1):

•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> resto = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inicial – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AF4C = 62,6 – 15,6 = 47 partes de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

•CaOA3C = 1,65 · 47 = 77,55 partes de CaO

Por tanto,

CaOsilicatos = CaOinicial – CaOAF4C – CaOA3C

CaOsilicatos = 0 – 34,02 – 77,55 = -111,6  $Y_b$

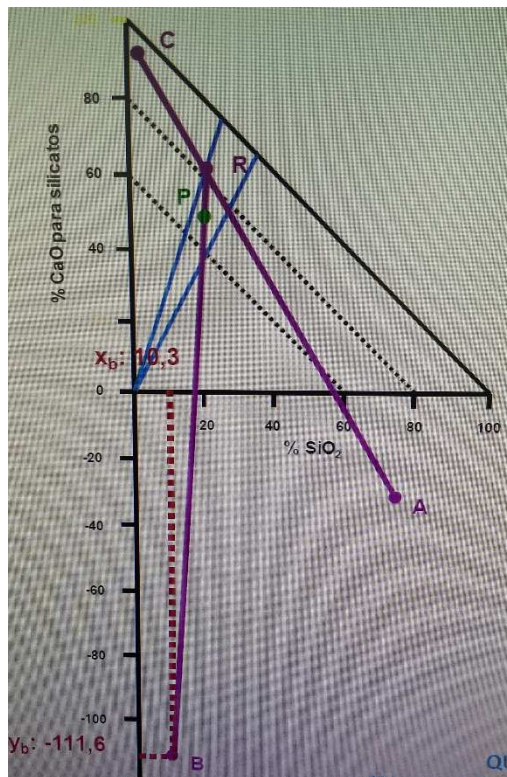
Se une el punto ( $X_b$ ,  $Y_b$ ) con el P, obteniendo R



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

INDUSTRIA DEL CEMENTO

DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS. FORMA GRÁFICA: EJEMPLO



**Cálculo de dosificaciones: regla de la PALANCA**

Caliza calcinada: **recta AR**

Arcilla calcinada: **recta CR**

Bauxita calcinada: **recta (AR+CR) · (PR/BP)**

Medidas: •AR = 104 •CR = 37 •PR = 11 •BP = 160

**Cálculo de la dosificación final:**

•104 partes de caliza

•37 partes de arcilla

• $(104+37) \cdot (11/160) = 9,7$  partes de bauxita

**Hay que considerar las pérdidas al fuego:**

**Caliza** →  $104 / (1 - 0,423) = 180$  partes → **77,6%**

**Arcilla** →  $37 / (1 - 0,121) = 42$  partes → **18,1%**

**Bauxita** →  $9,7 / (1 - 0,007) = 10$  partes → **4,3%**



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

INDUSTRIA DEL CEMENTO

TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

Propiedades de los cementos

Fundamental: **RESISTENCIA MECÁNICA.**

Otras:

- **Resistencia química:** reacciones con agua de mar, aguas carbónicas.
- **Velocidad de hidratación** (previa a su aplicación).
- **Calor desprendido en hidratación** (si es elevado, puede dificultar cierto tipo de construcciones, como hormigón de grandes masas).

	S3C	S2C	AF4C	A3C	F2C
Velocidad de hidratación	Alta	Baja	Alta	Alta (instant.)	Alta
Calor de hidratación	Alta	Baja	Baja	Alta	Baja
Resistencia mecánica	Alta (ráp)	Alta (lenta)	Muy baja	Muy baja	Muy baja
Resistencia química	Aceptable	Alta	Alta	Muy baja	Alta



## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

#### Análisis de constituyentes: Silicatos cálcicos (S2C y S3C)

- Materiales deseables en un cemento por elevada resistencia mecánica: 60-80%.
- No obstante, un cemento a base de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{CaO}$  es difícil obtenerlo por medios actuales por:
  - Escasa fusibilidad (mezclas muy refractarias): necesidad de elevadas  $T$  ( $>2000$  °C).
  - Lentitud de reacciones entre los sólidos.
  - Necesidad de molturación más fina: Mayores costes energéticos.
- Por ello se adicionan fundentes ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) por lo que aparece fase líquida que disuelve y combina cal-sílice a menores temperaturas
- A veces es necesario adiciones de pirita o bauxita.
- Si  $\text{S3C} > \text{S2C}$ : aumenta velocidad de hidratación. Desarrollo más rápido de resistencia. Se puede poner antes la obra en servicio (al mes de amasado, el S3C toma casi toda su resistencia mecánica).
- Si  $\text{S3C} < \text{S2C}$ : disminuye velocidad de hidratación. Tarda más en desarrollar resistencia (varios meses).





TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

#### Análisis de constituyentes: Aluminato cálcico (A3C)

•En obra (hidratarse) →  $A_4C \cdot 12H_2O$

•**Mala resistencia química** obliga, a veces, a **forzar la dosis de  $Fe_2O_3$**  en los crudos de forma que toda la alúmina pueda pasar a AF4C → Este exceso de  $Fe_2O_3$  puede pasar a formar F2C.

•**Rapidez de hidratación** → los cementos con este constituyente **fragan enseguida**, casi de forma instantánea (antes de dar tiempo para su puesta en obra, inutilizándose) → **Incorporación de yeso** al cemento para retrasar el fraguado.



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

**Cemento Pórtland (más común) está formado por Clínquer + Yeso (< 2%)**

- Componentes del **clínquer**:
  - S3C: 40-50%
  - S2C: 20-30%
  - A3C: 10-15%
  - AF4C: 5-10%
- Función del **yeso**: **Regulador del fraguado.**
- Composición del cemento Pórtland:
  - 64-65% óxido de calcio**
  - 20-21% óxido de silicio**
  - 5-6% óxido de aluminio**
  - 4-5% óxido de hierro**
  - 2-3% óxido de magnesio (impurezas)
  - 1-2% sulfatos (del yeso)
  - 1% otros (agua, CaO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SrO, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, etc.)

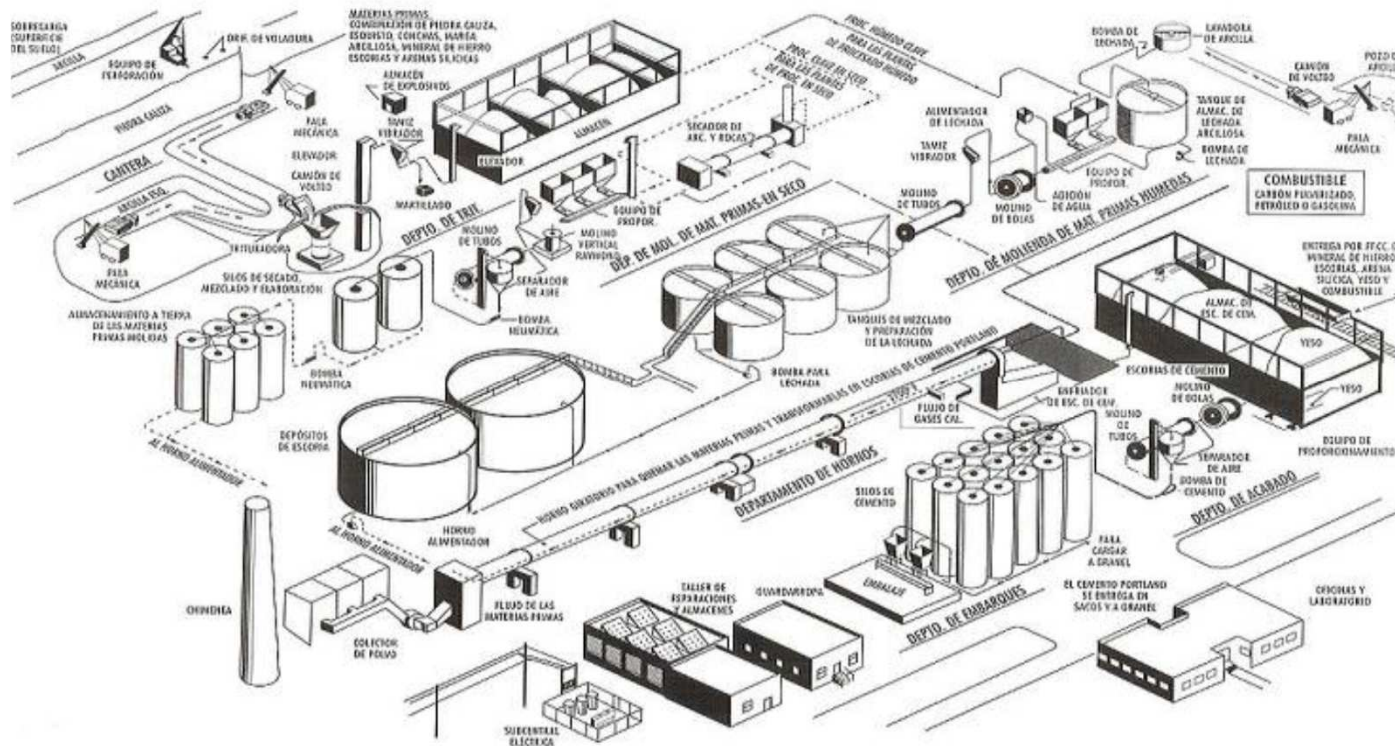


# TEMA 3.3 EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

#### CEMENTO PORTLAND





## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

#### CEMENTO PORTLAND: Resistencia mecánica

- Cuando es mezclado con agua da un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas después y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica: Proceso de FRAGUADO.
  - Endurecimiento inicial: reacción del agua, yeso y A3C --- estructura cristalina de calcio-aluminio-hidrato.
  - Sucesivo endurecimiento y el desarrollo de fuerzas internas de tensión: reacción más lenta del agua con el S3C formando una estructura amorfa llamada calcio-silicato-hidrato.
- Mezclas:
  - Cemento Pórtland + arena : MORTERO
  - Cemento Pórtland + piedra: HORMIGÓN



## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

#### **CEMENTO PORTLAND. FRAGUADO: Efecto de la adición de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )**

Retarda el fraguado inicial del cemento:

- A3C en presencia del yeso, no se hidrata de inmediato sino que reacciona con el yeso produciendo con ello un sulfoaluminato:  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  llamado ETRINGITA. La concentración de A3C está por debajo de la precisa para que empiecen a separarse sus hidratos cristalinos.
- La adición de yeso debe ser  $< 2\%$  por posibles dilataciones dentro del cemento fraguado y evitar fisuras.



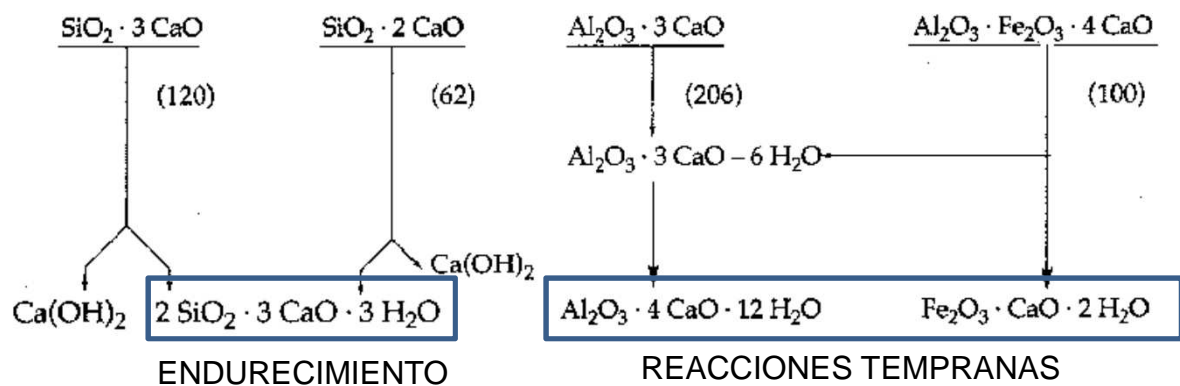
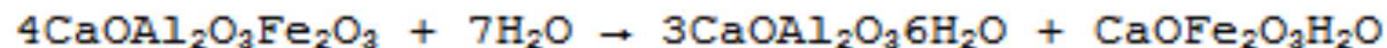
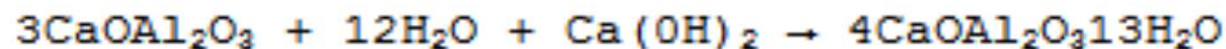
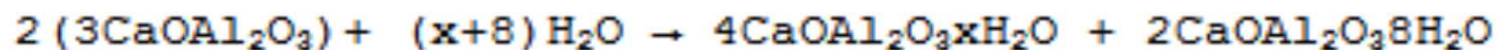
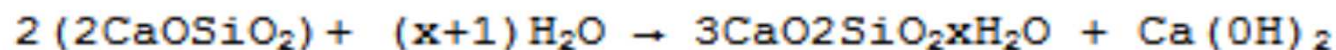
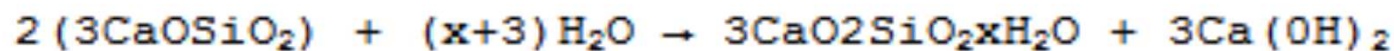
### TEMA 3.3

## EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

### INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

#### CEMENTO PORTLAND. FRAGUADO: REACCIONES DE HIDRATACIÓN





## TEMA 3.3 EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

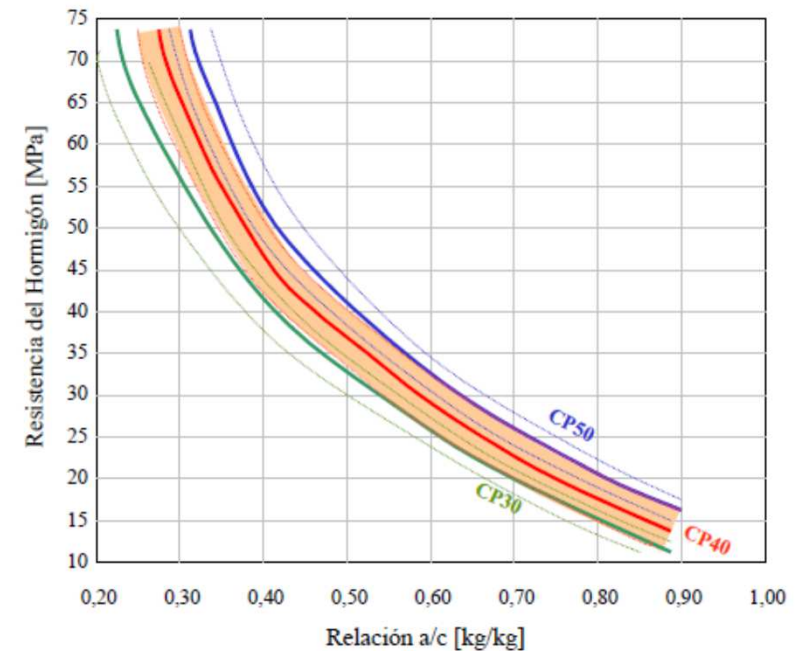
### INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

#### CEMENTO PORTLAND. FRAGUADO: ENDURECIMIENTO

##### Gel de tobermorita: Relación agua-cemento (A/C)

- En primer lugar, se forman los hidratos de aluminato y de ferrito, y después los de silicato sobre gránulos de cemento.
- La **cal** liberada en la hidratación pasa a disolución embebiendo los geles coloidales y provocando su hinchamiento. **Interpenetración del gel** de unos granos con otros y su soldadura. Fuerzas responsables de las propiedades de este aglomerante.
- Las **partículas de gel se unen entre sí por fuerzas moleculares**, y por lo mismo son capaces de **adherirse a los restantes elementos del hormigón** (arena, grava, incluso hierro) **cementándolos**.





TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

#### CEMENTO PORTLAND. FRAGUADO: POROSIDAD DEL GEL DE TOBERMORITA $S_2C \cdot 2H_2O$

- Estabilidad física:

- Peligro por congelación de agua retenida en los poros  $\square$  fracturas.
- Permeabilidad del hormigón, absorbe agua, la incorpora al gel: hinchamiento.

- Estabilidad química:

- Acceso de agresivos a la masa del cemento.

Reducción de porosidad:

- Hormigones de aire: adición de jabones que provocan millones de burbujitas que absorben las variaciones interiores de presión.
- Vibración : aumento de la compacidad.
- Recubrir las superficies con películas (pinturas bituminosas, resinas sintéticas).
- Aplicación de silicatos alcalinos que forman in situ gel de sílice.





## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

#### OTROS CEMENTOS: CEMENTO BLANCO

•Fabricación similar al Pórtland, pero con dos diferencias:

•**De composición:** Consta de A3C, S2C y S3C y exento de compuestos férricos (colorea el cemento). En la práctica se buscan materias primas (calizas y caolines) con la menor proporción posible de impurezas ferruginosas o de manganeso.

•**De fabricación:** operaciones (trituración-molienda, homogeneización, cocción, molienda final) se hacen en condiciones que eviten cualquier contaminante.

•Al no haber  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (fundente) se utilizan **criolita** y **fluorita** ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  y  $\text{CaF}_2$ , poseen mecanismo de reacción que tiende a activar la sílice y facilitar su reacción con la cal).

#### OTROS CEMENTOS: CEMENTO ALUMINOSO

•MP principales: **Bauxita** y **Caliza** (sin adiciones)

•Componentes mineralógicos:

•**Principal:** AC, acompañado de 3C5A y 5C3A.

•**Secundarios:** S2C, ASC2 y compuestos ferruginosos.

•**Reacción:** AC se hidrata y produce A2C y alúmina hidratada, no dejando cal libre por lo que tiene mayor resistencia química. No obstante el S2C al hidratarse su deja una cierta cantidad de cal libre como se vio para el cemento Pórtland.

•Características:

•Vertido en **lingoteras** (control de enfriamiento para regular el fraguado).

•**Rapidez** en la que adquiere **resistencia mecánica**.

•Problema de la **aluminosis**: el aluminato cálcico hidratado que se forma al fraguar cristaliza en el sistema hexagonal y en forma metaestable, que por el tiempo y la T puede pasar a cúbica, más estable y de menor volumen. El hormigón pierde resistencia y aumenta su porosidad, lo que hace vulnerables las armaduras a la acción de los gases



## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

#### OTROS CEMENTOS: CEMENTO SIDERÚRGICO

•Se obtienen por **molturación conjunta de cemento Pórtland (20-80%) y escoria de horno alto (80-20%)** en las proporciones: SiO<sub>2</sub>: 30-40%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 8-20%; CaO: 40-55%; MgO: 0-18%; MnO: 1,6%; FeO: 0,6%; S:1,7%.

•Normativa española tiene 3 tipos:

•**Siderúrgico I:** 70-80% Cemento - 30-20 % escoria

•**Siderúrgico II:** 50-70% Cemento - 50-30 % escoria

•**Siderúrgico III:** 20-50% Cemento - 80-50 % escoria

•Reacción:

•La escoria al hidratarse da A2C y SC hidratados y S2C hidratados que **contribuyen al fraguado**.

•La ausencia de A3C y S3C en la escoria provoca un **menor desprendimiento de calor**, dependiente del contenido en cemento Pórtland.

•La **resistencia química es mayor**, puesto que hay menos cal libre, pero el **desarrollo de resistencia mecánica es más lento**.

#### OTROS CEMENTOS: CEMENTO PUZOLÁNICO

**PUZOLANAS:** rocas naturales o artificiales de **naturaleza silícea que pueden combinarse con cal** en presencia de agua a T ambiente para dar **productos aglomerantes**:

•Las **naturales** son rocas de naturaleza volcánica o sedimentaria.

•Las **artificiales** derivan de rocas o subproductos industriales con posterior tratamiento térmico o químico (arcillas y pizarras calcinadas, cenizas volantes, residuos de destilación de pizarras bituminosas, etc.) **CEMENTOS PUZOLÁNICOS:**

•Molturación de **cemento Pórtland (<80%) y puzolanas (>20%)**.

•Dos tipos:

•Puzolánico I: sin cenizas volantes.

•Puzolánico II: con cenizas volantes.

•Reacción:

•Liberan **menos calor en la hidratación**, siendo tanto mayor cuanto más alto sea el contenido en Pórtland.

•La puzolana reacciona con la cal que libera el Pórtland durante el fraguado, dando **productos de mayor resistencia química**.

•La **resistencia mecánica es equivalente a la del Pórtland**.



## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

### TIPOS DE CEMENTO Y PROPIEDADES

Main types	Notation of the 27 products (types of common cement)		Composition (proportion by mass %)										Mncr additional constituents	
			Main constituents											
			Clinker K	Blastfurnace slag S	Silica fume D, Z	Natural Pozzolana		Fly ash		Burnt shale T	Limestone*			
			natural P	calced Q	siliceous V	calcareous W		L	LL					
CEM I	Portland cement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portland-slag cement	CEM III/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-silica fume cement	CEM III/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-pozzolana cement	CEM III/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-fly ash cement	CEM III/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
CEM II/B-W		65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
Portland-burnt shale cement	CEM III/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
	CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
Portland-limestone cement	CEM III/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
	CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
	CEM III/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
	CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
Portland-composite cement	CEM III/A-M	80-94	----- 6-20 -----						-----				0-5	
	CEM II/B-M	65-79	----- 21-35 -----						-----				0-5	
CEM III	Blastfurnace cement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Pozzolanic cement	CEM IV/A	65-89	-	<----- 11-35 ----->					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	<----- 36-55 ----->					-	-	-	0-5	
CEM V	Composite cement	CEM V/A	40-64	18-30	-	<----- 18-30 ----->			-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	-	<----- 31-50 ----->			-	-	-	-	0-5	



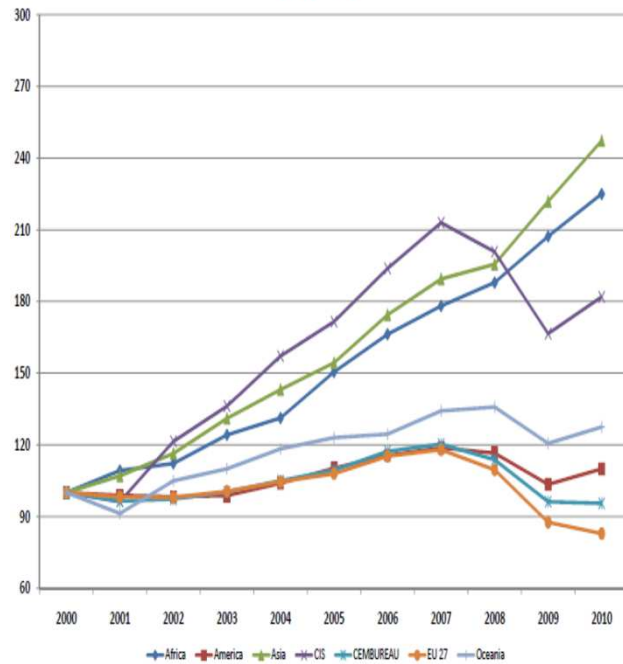
### TEMA 3.3

## EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

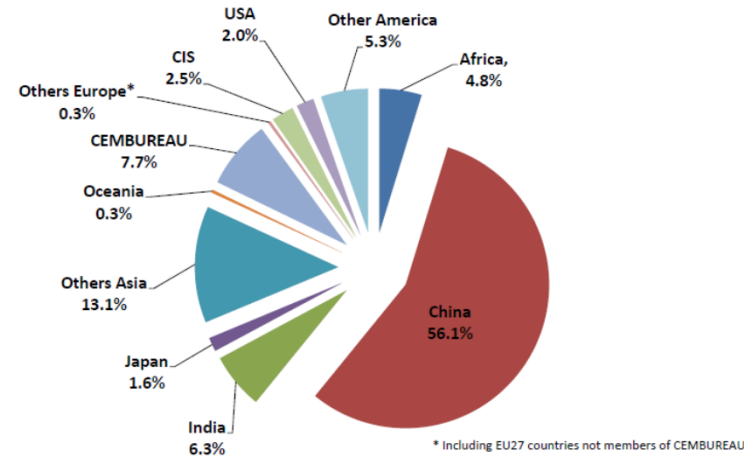
# INDUSTRIA DEL CEMENTO

## DATOS ESTADÍSTICOS

World Cement Production by Region - Evolution 2000-2010  
Index 2000 = 100



World cement production 2010, by region and main countries  
3.3 billion tonnes



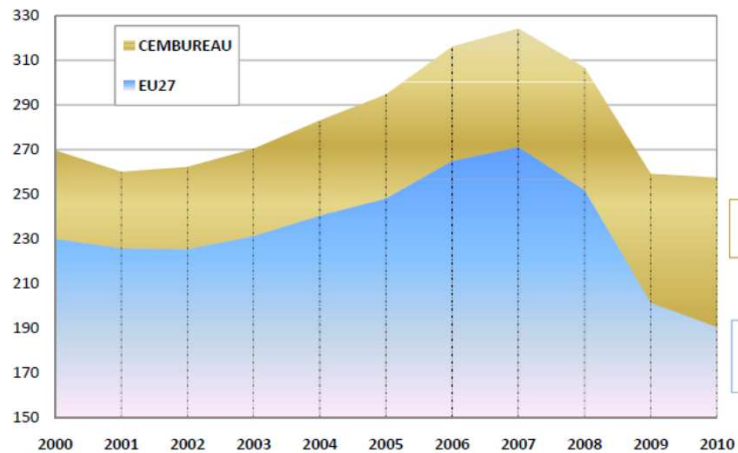


## TEMA 3.3 EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

### INDUSTRIA DEL CEMENTO

### DATOS ESTADÍSTICOS

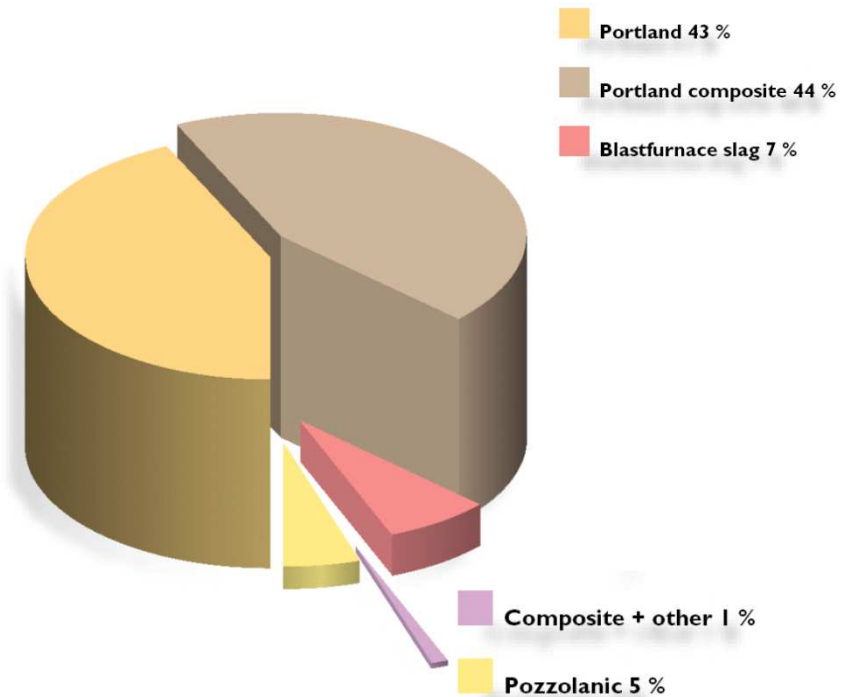
Cement production in CEMBUREAU and EU27 countries  
Million tonnes



Var 2010/09  
-0.7%

Var 2010/09  
-5.4%

Note: Cement production includes cement produced with imported clinker





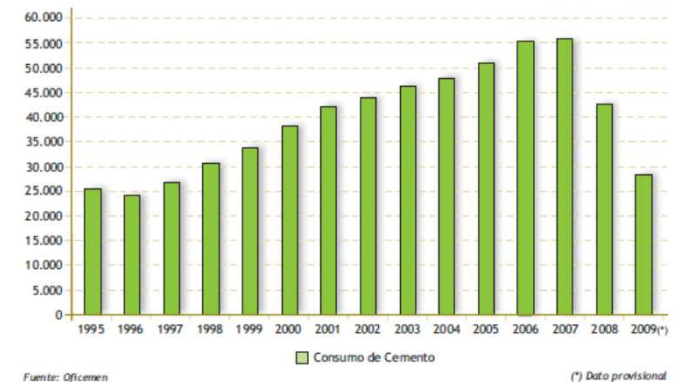
# TEMA 3.3 EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## INDUSTRIA DEL CEMENTO

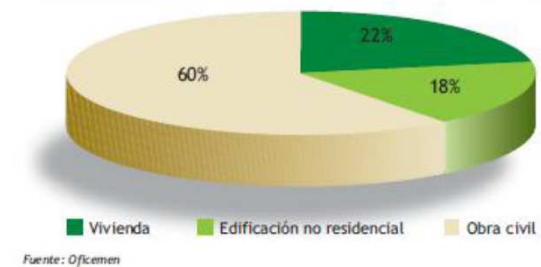
## DATOS ESTADÍSTICOS



**Evolución del consumo de cemento en España**  
Miles de toneladas



**Destino final consumo de cemento**  
2009





TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## FABRICACIÓN Y APLICACIONES DEL YESO

### CARACTERÍSTICAS DEL YESO

- El yeso o algez está muy difundido en la litosfera.
- Fórmula:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Materias primas: piedra de yeso o algez ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ).
- Como producto industrial, hemihidrato:  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
- Su aspecto externo puede ser netamente cristalino o amorfo; en este caso los cristales son irregulares y están entremezclados de tal forma que le dan un aspecto no cristalino.
- Se presenta en las siguientes variedades:
  - Laminar: formación casi transparente, dura y muy pura.
  - Fibrosa: muy pura, formada por fibras cristalinas que dan un aspecto sedoso.
  - Ordinaria o común: muy compacta y sin señales aparentes de cristalización, que es la más frecuente.



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## FABRICACIÓN Y APLICACIONES DEL YESO

### PROCESO DE FABRICACIÓN Y TIPOS

Si se aumenta la T hasta lograr el desprendimiento total de agua, fuertemente combinada, se obtienen diferentes yesos

<b>T ordinaria</b>	Piedra de yeso o algez
<b>107° C</b>	Yeso hemihidrato: $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ : capacidad de fraguar y endurecerse por rehidratación a dihidrato (conglomerante aéreo)
<b>107-200° C</b>	Yeso para estuco (deseccación del hemihidrato, fraguado más rápido)
<b>200-300° C</b>	Yeso con ligero residuo de agua: fraguado lentísimo y gran resistencia
<b>300-400 ° C</b>	Yeso de fraguado aparentemente rápido, pero muy baja resistencia
<b>500-700° C</b>	Yeso anhidro o extra cocido, de fraguado lentísimo o nulo . Yeso muerto
<b>750-800° C</b>	Empieza a formarse el yeso hidráulico
<b>800-1000° C</b>	Yeso hidráulico normal, de pavimento o Estrich
<b>1000-1400° C</b>	Yeso hidráulico con proporción de cal libre y fraguado más rápido





## TEMA 3.3

### EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## FABRICACIÓN Y APLICACIONES DEL YESO

### COCCIÓN

#### HORNOS DE CONTACTO

##### ▪ Hornos de cuba

- Forma cilíndrica, de eje vertical, de unos 5 m. de altura, y están realizados en mampostería.
- Se cargan por la parte superior y se vacían por puertas de descarga situadas en la parte inferior.
- El mineral en bloques de 10 a 20 cm de diámetro, se mezcla con capas alternadas de combustible.
- No es precisa una selección exagerada del yeso ni del combustible, de modo que son utilizables tanto lignitos como otros combustibles muy pobres.

##### ▪ Hornos rotatorios

- Gran perfeccionamiento sobre los anteriores por la agitación constante a que se somete la masa.
- Sistema rotatorio cilíndrico, de eje ligeramente inclinado para facilitar la salida del material.
- Gases son enviados al interior del horno a elevada temperatura.



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## FABRICACIÓN Y APLICACIONES DEL YESO

### COCCIÓN

#### HORNOS SIN CONTACTO

##### Tipo caldera

- Calderas son características de la industria yesera: cuerpo cilíndrico de acero (1-1,25 cm. espesor; 2,5-4,5 m. diámetro; 1,8-4,2 m. altura).
- En la parte superior de la caldera hay una trampilla para la introducción de la piedra de yeso y un tubo de ventilación que conduce los vapores desprendidos a un colector de polvo.
- Calefacción corre a cargo de unos tubos horizontales que atraviesan la caldera de parte a parte.
- Un agitador de eje vertical evita que se produzcan sobrecalentamientos en la masa.

##### Hornos rotatorios

- Análogos en su fundamento a los hornos con contacto con gases, pero con menor rendimiento
- Difieren en su sistema de calefacción: gases van por la periferia. Menor gasto que en calderas y más control del producto durante el cocido.



TEMA 3.3  
EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.

## FABRICACIÓN Y APLICACIONES DEL YESO

### APLICACIONES

#### OTRAS APLICACIONES

- Fabricación de cemento pórtland (agente de fraguado).
- Enyesado de vinos.
- Rectificador de suelos (disminución de acidez).
- Carga en industria del papel.
- Medicina: odontología (moldes) y uso quirúrgico (inmovilización de huesos).
- Tizas.
- Moldes para esculturas.
- Moldes para moldeo de arcillas por colado.



**TEMA 3.3**  
**EL CEMENTO Y LOS CONGLOMERANTES HIDRAÚLICOS. LA CALIZA COMO MATERIA PRIMA.**

---

**FABRICACIÓN Y APLICACIONES DEL YESO**

**BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES**

1. Arredondo, F. Estudio de Materiales. Tomo I. Revista de Obras Públicas, Madrid, 1983.
2. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries. Documento pdf. [www.jrc.es](http://www.jrc.es), diciembre 2001.
3. National Lime Association. [www.lime.org](http://www.lime.org). Página web de la asociación estadounidense y canadiense de fabricantes de caliza que recoge información sobre los procesos productivos y aplicaciones.
4. Vián Ortuño, A. Introducción a la Química Industrial 2ª Ed. Reverté, Barcelona, 1994.
5. [http://www.cembureau.be/sites/default/files/Activity\\_Report\\_2010.pdf](http://www.cembureau.be/sites/default/files/Activity_Report_2010.pdf)